



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

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN HABITÁCULO
ERGONÓMICO PARA UN PROTOTIPO SOLAR, MEDIANTE EL
MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS QUE CUMPLA CON LOS
REQUERIMIENTOS DE DISEÑO”**

JEFFERSON ALFREDO SARANGO CAMPOVERDE
JEFFERSON STALIN SALINAS TUBA

TRABAJO DE TITULACIÓN
TIPO: PROPUESTA TECNOLÓGICA

Previo a la obtención del Título de:
INGENIERO AUTOMOTRIZ

RIOBAMBA – ECUADOR

2018

ESPOCH

Facultad de Mecánica

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

2018-05-03

Yo recomiendo que el trabajo de Titulación preparado por:

JEFFERSON ALFREDO SARANGO CAMPOVERDE

Titulada:

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN HABITÁCULO ERGONÓMICO PARA UN
PROTOTIPO SOLAR, MEDIANTE EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS QUE
CUMPLA CON LOS REQUERIMIENTOS DE DISEÑO”**

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

INGENIERO AUTOMOTRIZ

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

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Bolívar Alejandro Cuaical Angulo.
DIRECTOR

Ing. Luis Fernando Buenaño Moyano.
MIEMBRO

ESPOCH

Facultad de Mecánica

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

2018-05-03

Yo recomiendo que el trabajo de Titulación preparado por:

JEFFERSON STALIN SALINAS TUBA

Titulada:

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN HABITÁCULO ERGONÓMICO PARA UN
PROTOTIPO SOLAR, MEDIANTE EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS QUE
CUMPLA CON LOS REQUERIMIENTOS DE DISEÑO”**

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

INGENIERO AUTOMOTRIZ

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

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Bolívar Alejandro Cuaical Angulo.
DIRECTOR

Ing. Luis Fernando Buenaño Moyano.
MIEMBRO

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: JEFFERSON ALFREDO SARANGO
CAMPOVERDE

TITULO: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN HABITÁCULO ERGONÓMICO PARA UN PROTOTIPO SOLAR, MEDIANTE EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS QUE CUMPLA CON LOS REQUERIMIENTOS DE DISEÑO”

Fecha de Examinación: 18-12-2018

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Bolívar Alejandro Cuaical Angulo. DIRECTOR			
Ing. Luis Fernando Buenaño Moyano. 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.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: JEFFERSON STALIN SALINAS TUBA

TÍTULO: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN HABITÁCULO ERGONÓMICO PARA UN PROTOTIPO SOLAR, MEDIANTE EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS QUE CUMPLA CON LOS REQUERIMIENTOS DE DISEÑO”

Fecha de Examinación: 18-12-2018

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Bolívar Alejandro Cuaical Angulo. DIRECTOR			
Ing. Luis Fernando Buenaño Moyano. 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.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DEDICATORIA

Este presente trabajo va dedicado a Dios por haberme dado inteligencia y la fuerza para trabajar y estudiar a la vez, también a mis queridos padres Pedro y Lilia quienes me dieron la vida y siempre estuvieron apoyándome y aconsejándome para poder cumplir con mi objetivo.

A mis queridos hermanos Cristian, Nixon, Viviana, Jessica y Josephlin por animarme con cada una de sus ocurrencias en los momentos difíciles y por su apoyo incondicional durante estos años, Como también a mis amigos más cercanos, por el apoyo moral en los momentos de mayor dificultad de mi carrera.

Jefferson Sarango Campoverde.

Este presente trabajo va dedicado a Dios por haberme dado inteligencia y la fuerza para trabajar y estudiar a la vez, también a mis queridos padres Manuel y Consuelo quienes me dieron la vida y siempre estuvieron apoyándome y aconsejándome para poder cumplir con mi objetivo.

A mis queridos hermanos por animarme con cada una de sus ocurrencias en los momentos difíciles de mi carrera, en especial a mi esposa María Belén por su amor, apoyo y comprensión que fueron importantes para mi superación, a mi amada hija Scarleth Salinas por ser lo más maravillosos que uno puede pedir en la vida.

Jefferson Salinas Tuba.

AGRADECIMIENTOS

Gratifico enormemente a mis padres, PEDRO OVIDIO SARANGO CASTILLO y LILIA JANE CAMPOVERDE CHAMORRO, y a mi tía ROSA MARILÚ CAMPOVERDE CHAMORRO, quienes han sabido apoyarme, aconsejarme, guiarme y más que nada por haberme concedido su confianza durante todos estos años para culminar mis estudios con éxito.

De igual manera, un agradecimiento muy especial a todos aquellos familiares, amigos, compañeros, profesores y demás familiares, que estuvieron presentes en las etapas más difíciles a lo largo de mi carrera universitaria.

Agradezco también al Ing. Bolívar Cuaical y Luis Buenaño, tutor y asesor del proyecto de titulación, quienes han sabido guiarnos durante todo el desarrollo del mismo para alcanzar nuestro cometido.

Jefferson Sarango Campoverde

Mi más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En especial a la Carrera de Ingeniería Automotriz por darme la oportunidad de obtener una profesión que posteriormente me ayudara a dar una mejor vida a mi familia.

De igual manera, un agradecimiento muy especial a mis padres, MANUEL SALINAS Y CONSUELO TUBA, quien a través de sus palabras de motivación que estuvieron presentes en las etapas más difíciles a lo largo de mi carrera universitaria y a mí esposa MARÍA BELEN MARTÍNEZ.

Agradezco infinitamente al Ing. Bolívar Cuaical y Luis Buenaño, tutor y asesor del proyecto de titulación, quienes han sabido apoyarnos durante el desarrollo del mismo para lograr nuestro objetivo.

Jefferson Salinas Tuba

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN

ABSTRACT

CAPÍTULO I

1	INTRODUCCIÓN.	1
1.1	Generalidades.	1
1.2	Antecedentes.	1
1.3	Justificación.	3
1.4	Objetivos.	4
1.4.1	<i>Objetivo general.</i>	4
1.4.2	<i>Objetivos específicos.</i>	4

CAPÍTULO II

2	ANÁLISIS PARA LA ELABORACIÓN DE UN HABITÁCULO ERGONÓMICO EN UN VEHÍCULO SOLAR DE COMPETENCIA.	5
2.1	Carrera solar	5
2.1.1	<i>Carrera Solar Atacama.</i>	5
2.2	Regulaciones técnicas con respecto al Habitáculo.	7
2.2.1	<i>Habitáculo.</i>	7
2.2.2	<i>Asiento.</i>	8
2.2.3	<i>Espacio del ocupante.</i>	9
2.2.4	<i>Cinturón de seguridad.</i>	10
2.2.5	<i>Evacuación.</i>	11
2.2.6	<i>Visión delantera, lateral y trasera.</i>	11
2.3	Habitáculo.	13
2.4	Asiento.	13
2.4.1	<i>Tipos de asientos de competición.</i>	14
2.4.1.1	<i>Según su estructura.</i>	14
2.4.2	Ergonomía en la industria automotriz.	15
2.4.3	Antropometría.	18
2.5	Arnés de seguridad.	22
2.5.1	Partes.	23

2.5.2	Tipos.....	24
2.6	Cubierta del habitáculo.....	25
2.6.1	Acrílico en la cubierta del habitáculo.....	26
2.6.2	Ventajas con respecto al vidrio.....	27
2.6.3	Ventajas con respecto al policarbonato.....	27
2.7	Variables que intervienen en el análisis aerodinámico para la validación del diseño.....	27
2.7.1	Número de Reynolds.....	27
2.7.2	Número de match.....	28
2.8	Coefficiente de arrastre y sustentación.....	29
2.8.1	Coefficiente de resistencia aerodinámico.....	30
2.8.2	Coefficiente de sustentación aerodinámica.....	30
2.9	Fuerzas de Arrastre y sustentación.....	31
2.9.1	Fuerza de arrastre o Resistencia aerodinámica.....	31
2.9.2	Fuerza de sustentación o Carga aerodinámica.....	32
2.10	Fineza.....	32

CAPÍTULO III

3	DISEÑO DEL ASIENTO Y CUBIERTA PARA EL HABITÁCULO DEL VEHÍCULO SOLAR.....	33
3.1	Diseño del asiento.....	33
3.1.1	Características de diseño de un asiento.....	33
3.1.2	Parámetros de diseño del asiento.....	34
3.1.3	Desarrollo de las fases de diseño.....	35
3.1.4	Análisis estático estructural del asiento.....	37
3.1.5	Condiciones de contorno del asiento.....	40
3.1.6	Simulación.....	49
3.1.7	Análisis de resultados.....	49
3.2	Diseño de la cubierta del habitáculo.....	52
3.2.1	Parámetros de diseño de la Cubierta del habitáculo.....	53
3.2.2	Variables de diseño.....	53
3.2.3	Diseño CAD de la cubierta del habitáculo.....	54
3.2.4	Cálculos Aerodinámicos.....	65

CAPÍTULO IV

4	CONSTRUCCIÓN DEL ASIENTO Y LA CUBIERTA DEL HABITÁCULO.	69
4.1	Presupuesto	69
4.1.1	<i>Costos directos.</i>	69
4.1.2	Costos indirectos	70
4.1.3	Costos totales.	71
4.2	Construcción del asiento	71
4.2.1	<i>Manufactura del asiento ergonómico.</i>	71
4.2.2	<i>Método y manufactura del asiento.</i>	74
4.2.3	<i>Proceso de manufactura del asiento ergonómico.</i>	74
4.2.4	<i>Anclaje del asiento al chasis.</i>	78
4.3	Construcción de la cubierta del habitáculo.	79
4.3.1	<i>Proceso de manufactura para la cubierta del habitáculo del vehículo CSA 2018.</i>	80
4.3.2	<i>Anclaje de la cubierta del habitáculo al chasis.</i>	83

CAPÍTULO IV

5	PRUEBAS	85
5.1	Control de calidad y evaluación de ergonomía del habitáculo.	85
5.1.1	<i>Control de calidad del habitáculo</i>	85
5.1.2	<i>Evaluación de ergonomía.</i>	85
5.2	Ensayos de pruebas mecánicas de la fibra de carbono	86
5.2.1	<i>Ensayo de tracción.</i>	86
5.2.2	<i>Ensayo de flexión</i>	88
5.2.3	<i>Ensayo de impacto</i>	89
5.3	Verificación del cumplimiento de las restricciones según la CSA.	90

	CONCLUSIONES.	92
--	----------------------------	-----------

	RECOMENDACIONES.	94
--	-------------------------------	-----------

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla. 1-2: Medidas anatómicas generales.	18
Tabla. 1-3: Dimensiones estructurales combinadas del cuerpo de hombres y mujeres adultos en centímetros.	34
Tabla. 2-3: Datos estadísticos para la aceptación del análisis.	40
Tabla. 3-3: Coordenadas del centro de masa.	41
Tabla. 4-3: Coeficiente de Arrastre y Sustentación.	55
Tabla. 5-3: Fuerza de Arrastre y Sustentación.....	55
Tabla. 6-3: Parámetros para el análisis aerodinámico.	58
Tabla. 7-3: Parámetros para realizar el mallado de la geometría.	59
Tabla. 8-3: Parámetros para realizar el análisis aerodinámico.	60
Tabla. 9-3: Coeficiente de Arrastre y Sustentación.	61
Tabla. 10-3: Fuerza de Arrastre y Sustentación.....	62
Tabla. 11-3: Propiedades del Aire a 1 atm de presión.	65
Tabla. 12-3: Coeficientes de arrastre y sustentación de las dos cubiertas del habitáculo.	67
Tabla. 1-5: Resultados del control de calidad del habitáculo.	85
Tabla. 2-5: Resultados de la encuesta para la evaluación de la ergonomía.	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2: Posición y espacio para el asiento.	10
Figura 2-2: Visión del piloto para vehículo solar.	12
Figura 3-2: habitáculo de un prototipo solar.	13
Figura 4-2: asiento de competición.	14
Figura 5-2: Relación sistema piloto vehículo.	17
Figura 6-2: Circuito entre piloto y vehículo.	18
Figura 7-2: Antropometría estática.	20
Figura 8-2: Espacio funcional.	21
Figura 9-2: Datos informativos del cuerpo humano.	22
Figura 10-2: cinturones de 4 puntos instalados en asientos de competición.	23
Figura 11-2: cinturón de seguridad de 4 puntos.	23
Figura 12-2: 1) De dos puntos. 2) torácico. 3) De tres puntos 4) De cuatro puntos.	25
Figura 13-2: cúpula de un prototipo solar.	26
Figura 14-2: Fuerza de resistencia aerodinámica y sustentación.	29
Figura 15-2: Fuerza de resistencia aerodinámica y sustentación.	31
Figura 1-3: Bosquejo del asiento.	35
Figura 2-3: Restricciones del perfil del asiento.	36
Figura 3-3: Croquis del perfil del contorno del asiento.	36
Figura 4-3: Diseño final del asiento realizado en software CAD.	37
Figura 5-3: Asignación de las propiedades del material en Ansys.	38
Figura 6-3: Método de mallado Tetraédrico del modelo geométrico.	39
Figura 7-3: Calidad del mallado del asiento ergonómico.	40
Figura 8-3: Cargas externas generadas en el vehículo CSA.	41
Figura 9-3: Coordenadas del centro de masa del asiento.	42
Figura 10-3: Asignación de la fuerza de frenado.	43
Figura 11-3: Asignación de la fuerza centrífuga.	44
Figura 12-3: Asignación del peso del conductor.	46
Figura 13-3: Asignación de la presión ejercida por el piloto.	47
Figura 14-3: Asignación del momento torsor.	48
Figura 15-3: Asignación del momento flector.	49
Figura 16-3: Resultado de la deformación total en el asiento.	50
Figura 17-3: Resultado del esfuerzo de Von Mises en el asiento.	51
Figura 18-3: Resultado del esfuerzo máximo sobre el asiento.	51
Figura 19-3: Resultado del factor de seguridad en el asiento.	52
Figura 20-3: Diseño inicial de la cubierta del habitáculo.	54
Figura 21-3: Animación de partículas de aire sobre la carrocería del vehículo.	55

Figura 22-3: Animación de partículas de aire en la sección de la cubierta del habitáculo.....	56
Figura 23-3: Análisis de la presión ejercida por la fuerza de aire sobre la carrocería. .	57
Figura 24-3: Velocidad del aire sobre la superficie de la carrocería.	57
Figura 25-3: Diseño final de la cubierta del habitáculo.	58
Figura 26-3: Túnel de viento.	59
Figura 27-3: Mallado de la carrocería del vehículo CSA.....	60
Figura 28-3: Métrica del mallado.	60
Figura 29-3: Gráfica del coeficiente de arrastre Cd.	61
Figura 30-3: Gráfica del coeficiente de sustentación Cl.	61
Figura 31-3: Gráfica de la fuerza de arrastre Fd.....	62
Figura 32-3: Gráfica de la fuerza de sustentación Fl.....	62
Figura 33-3: Animación de partículas de aire, Vistas lateral.	63
Figura 34-3: Animación de partículas de aire vista isométrica.	63
Figura 35-3: Animación de las partículas de aire.....	63
Figura 36-3: Análisis de presión de aire sobre la carrocería.	64
Figura 37-3: Análisis de la velocidad en la carrocería del vehículo.....	65
Figura 1-4: Mock-up para la construcción del molde en fibra de vidrio para el asiento.	72
Figura 2-4: a) Relleno de espuma de poliuretano, b) Posición de confort del piloto, c)72	
Figura 3-4: a) Molde frágil en espuma de poliuretano, b) Molde reforzado con yeso..	73
Figura 4-4: a) Superficie con capa de masilla automotriz, b) Superficie con fondo	73
Figura 5-4: Aplicación de betún y cera desmoldante al molde.....	74
Figura 6-4: Resina epoxi para la saturación de la fibra de carbono.	75
Figura 7-4: Saturación de la fibra de carbono.	75
Figura 8-4: Aplicación de la fibra de carbono sobre el molde del asiento, b) Moldeado de la fibra de carbono.....	76
Figura 9-4: Secado de la fibra de carbono.	76
Figura 10-4: Mecanizado del asiento.	77
Figura 11-4: Base con rieles de un vehículo convencional.	77
Figura 12-4: Instalación final del asiento ergonómico y cinturón de seguridad.	78
Figura 13-4: Proceso de manufactura del pre-molde de la cubierta del habitáculo.	79
Figura 14-4: Pre-molde cubierto con papel cartón.	79
Figura 15-4: Proceso de lijado y masillado del molde.	80
Figura 16-4: Molde en fibra de vidrio para la matriz de la cubierta del habitáculo.	80
Figura 17-4: Aplicación de betún y cera desmoldante al molde.	81
Figura 18-4: Saturación de la fibra de carbono.	81
Figura 19-4: Aplicación de la fibra de carbono al molde de la cubierta del habitáculo.	82
Figura 20-4: Curado de la fibra de carbono.....	82
Figura 21-4: Mecanizado de las secciones para mejorar la visibilidad del piloto mediante una caladora.	83

Figura 22-4: Mecanizado final de la cubierta del habitáculo.	83
Figura 23-4: Instalación final de la cubierta del habitáculo.	84
Figura 1-5: Probeta para el ensayo de impacto.	87
Figura 2-5: Máquina de ensayo universal.	87
Figura 3-5: Resultado de los ensayos de tracción.	87
Figura 4-5: Ensayo de flexión.....	88
Figura 5-5: Resultados del ensayo de flexión.....	88
Figura 6-5: Probeta para ensayo de impacto.	89
Figura 7-5: Máquina de ensayo de impacto Charpy.....	89
Figura 8-5: Ubicación del asiento ergonómico al chasis y ángulo de inclinación de la posición ergonómica.	90
Figura 9-5: Ubicación del cinturón de seguridad de 4 puntos al chasis.	91
Figura 10-5: Visión periférica del piloto.	91

SIMBOLOGÍA

Ff	Fuerza de Frenado	N
m	Masa	Kg
a	Aceleración	m/s ²
Fc	Fuerza Centrífuga	N
v	Velocidad del Vehículo	km/h
r	Radio de la Curva de la Pista	m
W	Peso	N
g	Gravedad	m/s ²
K	Factor de Aceleración Máximo	Adimensional
We	Peso Sobre el Asiento	N
Wa	Peso sobre el Respaldo del Asiento	N
Pe	Presión sobre el Espaldar	Pa
Ae	Superficie del Espaldar	m ²
X	Coordenada del Centro de Masa	m
Y	Coordenada del Centro de Masa	m
Z	Coordenada del Centro de Masa	m
MfFf	Momento de Flexión	N.m
MtFc	Momentos de Torsión	N.m
Cl	Coeficiente de sustentación	Adimensional
Cd	Coeficiente de Arrastre	Adimensional
Fl	Fuerza de sustentación	N
Fd	Fuerza de Arrastre	N
Re _L	Número de Reynolds	Adimensional
Ma	Número de Match	Adimensional
L	Longitud del Vehículo	m
μ	Viscosidad de aire	[kg/m * s]
ρ	Densidad del aire.	[kg/m ³]

LISTA DE ABREVIACIONES

CSA	Carrera Solar Atacama.
ESPOCH	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
ANSYS	Computer-Aided Engineering Software.
MEF	Métodos de elementos finitos.
CAD	Computer-Aided Desing and Drafting.
CAE	Computer-Aided Engineering
CFRP	Carbon Fiber Reinforced Plastic

LISTA DE ANEXOS

- A** Reglamento de la Carrera Solar Atacama 2018.
- B** Propiedades mecánicas de la fibra de carbono (Centro carroceros).
- C** Planos del asiento ergonómico y de la cubierta del habitáculo.
- D** Lista de chequeo para el control de calidad del habitáculo.
- E** Encuesta para la evaluación de ergonomía.

RESUMEN

El presente trabajo de titulación se basa en diseñar un habitáculo ergonómico mediante el método de elementos finitos y manufactura de materiales compuestos, para reducir el peso y consumo energético de un prototipo Solar, el mismo que participará en las diferentes competencias a nivel internacional. El desarrollo del habitáculo contiene una serie de parámetros y normativas internacionales dadas por importantes organizaciones de este tipo de eventos, siendo los más relevantes la World Solar Challenge y la Competencia Solar Atacama. Todos los parámetros como la ergonomía, la aerodinámica, antropometría, estructura de los vehículos, materiales, procesos y sobre todo el uso de las normativas y restricciones, se emplearon modelos computacionales y herramientas informáticas, permitiendo establecer un diseño y un análisis estructural adecuado a las especificaciones técnicas. Para la manufactura del habitáculo se utilizó materiales compuestos los cuales se predefinió mediante una selección de materiales, el objetivo principal es mantener su resistencia y disminuir el peso de los elementos diseñados ayudando en el comportamiento aerodinámico del vehículo y el comportamiento aerodinámico del vehículo. Terminado el proceso de manufactura y de acuerdo con los datos obtenidos del análisis computacional, se concluyó que el habitáculo cumplía con todos los parámetros de diseño, generando el grado de seguridad y confort necesario para el usuario, resolviendo todos los inconvenientes presentados durante la construcción e implementación. Para obtener una mejor precisión en los resultados computacionales se recomienda realizar el análisis en equipos de altas prestaciones. Como también seguir un curso de manufactura de materiales compuestos para obtener mejores resultados en el proceso de construcción, y saber qué equipo de protección usar debido a que las partículas que se desprenden de la fibra de carbono, aditivos y agentes químicos pueden afectar al sistema respiratorio causando daños en la salud.

PALABRAS CLAVE: <TECNOLOGÍA Y CIENCIA DE INGENIERÍA>, <CARRERA SOLAR>, <MATERIALES COMPUESTOS >, <DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADORA (CAD)>, <INGENIERÍA ASISTIDA POR COMPUTADORA (CAE)>, <ASIENTO ERGONÓMICO >, < AERODINÁMICA>, <ANTROPOMETRÍA EN EL DISEÑO>.

ABSTRACT

The current research is based on the design of an ergonomic limited space by means of the finite elements method and manufacturing of compound materials in order to reduce weight and energy consumption of a solar prototype. This design will participate in the different international competitions. The development of the limited space contains a series of parameters and international standards offered by important organizations related with these type events, the most relevant are the World Solar Challenge and the Atacama Solar Competition. All the parameters as comfortability, aerodynamics, anthropometrics vehicle structure, materials processes and specially the use of regulations and restrictions used computing models and informatics models, this allowed establishing a design and a structural analysis adapted to the technical specifications. For manufacturing the limited space, some compound materials were used, the ones that were predefined through a selection, the main purpose is to maintain its resistance and diminish the design elements weight to improve the aerodynamic performance of the vehicle. Once the manufacturing processes ended according to the computational analysis, it was concluded that the limited area fulfils all the design parameters, this causes a safety level as well as comfort for the user solving all the problems reflected during its construction and implementation. To obtain accuracy in the computing results it is recommended to carry out the analysis in high performance equipment, as well as training on a compound materials to obtain better results during the training process, in this way, it will possible to know the kind of protection to be used due to the particles from the carbon fiber, additives and chemicals agents can affect the respiratory system causing health damage.

KEYWORDS: <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES>, <CAREER OF SOLAR POWER, <COMPOUND MATERIALS>, <COMPUTER AIDED DESIGN (CAD)>, <COMPUTER AIDED ENGINEERING (CAE)>, <ERGONOMIC SEAT>, <AERODYNAMIC>, <ANTHROPOMETRY IN THE DESIGN>

CAPÍTULO I

1 INTRODUCCIÓN.

1.1 Generalidades.

Durante la evolución que se ha producido en el campo automotriz el habitáculo o también conocido como espacio de supervivencia que es un componente esencial para la seguridad y confort del conductor y acompañantes durante diversas pruebas de manejo vehicular, ya sea por diferentes tipos de calzada y condiciones ambientales.

En el marco de la investigación planteada, refiriéndose al análisis del diseño e implementación de un habitáculo ergonómico para un prototipo solar siendo el diseño de la investigación la estrategia global en el cual se enfoca nuestro proyecto con la finalidad de cumplir todos los objetivos planteados.

El proyecto está basado en normas de diseño establecido por las diferentes organizaciones encargadas de realizar eventos de prototipos solares, estos requerimientos establecen que los vehículos cuenten con normas de confort, ergonomía, tipos de arnés de seguridad, posición del piloto con respecto al habitáculo, con la finalidad de obtener una construcción fiable utilizando materiales compuestos como fibra de carbono y acrílico.

1.2 Antecedentes.

Las carreras de prototipos solares están tomando lugar desde algunos años atrás, con la participación de diversas universidades, escuelas, y sector privado a nivel mundial, siendo quizá la más importante realizada en Australia denominada World Solar Challenge la cual se lleva a cabo cada dos años cubriendo una ruta especificada por la organización con lo cual cada competencia tiene sus propias reglas, en el caso de esta se permite seis metros cuadrados de paneles solares con una generación de 5 KW por hora de energía almacenad

La competencia más importante realizada en Latinoamérica desde el 2011 se da lugar en Chile específicamente en el desierto de atacama el cual es uno de los más áridos del mundo con un nivel de radiación solar muy elevado, cubriendo una ruta de 2000 Km.

Por ultimo tenemos la carrera realizada al norte de Estados unidos denominada American Solar Challenge la cual se celebra cada 2 años y principalmente con universidades de este país con un recorrido de casi 2900 Km.

La competencia de vehículos solares está diseñada para promover la investigación y desarrollo de nuevas alternativas para vehículos que funcionen solo con energía solara con el fin de contar con energía económica y amigable con el medio ambiente.

Es por tal razón que la ESPOCH con su carrera de ingeniería automotriz está enfocada en la construcción de un prototipo solar para la participación en dichas carreras siendo los estudiantes quienes aporten con sus conocimientos, recursos y medios disponibles con lo cual se ayudara a tener ideas claras, información apropiada y conocimiento del diseño de un habitáculo para dicho prototipo solar.

Este trabajo de titulación se basa en diseñar e implementar un habitáculo ergonómico utilizando softwares computacionales como el CAD y CAE que nos permita tener una simulación del comportamiento de nuestro habitáculo al momento de estar en pruebas de pista o en la competencia misma.

Con la evolución tecnológica a nivel mundial se busca el mejoramiento de conocimientos de los estudiantes, aportando la utilización de software, que permitan realizar planos de dibujo, modelados y simulaciones del comportamiento de los elementos a fabricar, con la investigación de materiales que cumpla con las propiedades físicas y mecánicas para obtener el mejor desempeño del vehículo en pista, siendo los materiales elegido la fibra de carbono para la butaca y acrílico para la cubierta del piloto.

Para la construcción de un habitáculo para un prototipo solar se debe tomar en cuenta varios parámetros de construcción dadas por las diferentes organizaciones, por lo tanto, es de suma importancia ser muy competitivos y mostrar los conocimientos adquiridos

durante la formación profesional y así obtener un reconocimiento a nivel nacional e internacional.

1.3 Justificación.

El campo automotriz está viviendo una evolución constante, la cual es dirigida hacia la eficiencia. El peso en vehículos de competencia esta normado por diferentes organizaciones encargadas de realizar competencias de vehículos eléctricos, por ende se busca materiales de construcción muy ligeros y de buenas prestaciones para cumplir con dichas normas y mejorar el rendimiento del vehículo (Bolufer, 2007).

Se ha optado por la utilización de la fibra de carbono, también conocida como CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastic) y láminas de acrílicos transparentes, son materiales que cumplen con los requisitos que los fabricantes buscan en la construcción de nuevos elementos automotrices. Es un material que resulta difícil de adquirir y elaborar. (Lausin, 2015)

El presente trabajo de titulación se basa en diseñar un habitáculo ergonómico de bajo peso y alta resistencia que cumplan los requerimientos planteados por diferentes organizaciones encargadas de realizar competencias de vehículos eléctricos, utilizando programas computacionales CAD/CAE (Solidworks y Ansys Workbench) para el modelado y análisis, que permitan determinar los esfuerzos a los cuales están sometidos, para poder analizar los resultados de manera realista.

Además, aportar a la fabricación de un vehículo eléctrico para la Carrera de Ingeniería automotriz con la utilización de materiales compuestos reforzados por fibra de carbono, resina y acrílico.

1.4 Objetivos.

1.4.1 Objetivo general.

Diseñar un habitáculo ergonómico mediante el método de elementos finitos y manufactura de materiales compuestos, para reducir el peso y consumo energético de un Prototipo Solar.

1.4.2 Objetivos específicos.

- Recopilar información sobre los parámetros de diseño, emitidos en el reglamento de organizaciones encargadas de realizar competencias de vehículos solares, para tener un mejor conocimiento y facilitar la elaboración del proyecto.
- Diseñar el habitáculo mediante el método de elementos finitos y software computacionales CAD/CAE, para reducir costos en el proceso de manufactura.
- Construir el habitáculo con materiales compuestos emitidos en el reglamento de la competencia, mediante un proceso de manufactura, para garantizar un adecuado desempeño del piloto dentro de la pista.
- Adaptar el habitáculo al chasis verificando que cumpla con las especificaciones emitidas por la organización de la carrera, para la aprobación del vehículo.

CAPÍTULO II

2 ANÁLISIS PARA LA ELABORACIÓN DE UN HABITÁCULO ERGONÓMICO EN UN VEHÍCULO SOLAR DE COMPETENCIA.

Para la elaboración de un habitáculo ergonómico para un vehículo solar, se toma como referencia los parámetros establecidos en el reglamento emitidos por las diferentes organizaciones encargadas de realizar este tipo de competencias, para la elaboración de este trabajo de titulación nos basamos en la normativa de la COMPETENCIA SOLAR ATACAMA y WORLD SOLAR CHALLENGE 2018. Donde, se establecen los materiales de construcción y una serie de normativas o reglamentaciones que cada uno de los equipos participantes debe cumplir. Concerniente al habitáculo, corresponde el asiento, arnés de seguridad, cubierta del habitáculo, etc., para un vehículo de competencia, lo que requiere trabajar en ergonomía, confort y seguridad para el piloto, durante pruebas o ciclos de conducción.

2.1 Carrera solar

Las carreras más importantes realizadas a nivel mundial son la Carrera Solar Atacama que se lleva a cabo en Latinoamérica y la World Solar Challenge la cual se lleva a cabo en Australia.

2.1.1 Carrera Solar Atacama.

Esta carrera es la primera con vehículos solares que se realizó en Latinoamérica la cual toma lugar en el desierto más herido del mundo con niveles de radiación muy altos pero con impresionantes paisajes, El primer lanzamiento oficial que se llevó a cabo en América latina fue en octubre del 2009 en el “Salón del Automóvil” Chile, liderado por Leonardo Valencia director de la ruta solar. (Atacama, 2017).

2.1.1.1 *Primera Versión (2011).*

Esta versión se realizó el 30 de septiembre del 2011 con una distancia recorrida de 1060 km con 11 equipos divididos en la categoría híbrido y evolución coronándose campeón en la categoría evolución el equipo Antakari y en la categoría híbrido el equipo los Andes Mining Parts Team. (Atacama, 2017).

2.1.1.2 *Segunda Versión (2012)*

Esta versión se realizó con una distancia recorrida de 1200 km con el equipo Antakari comandado por Universidad de La Serena y Minera Los Pelambes coronándose nuevamente campeón en la categoría evolución y en la categoría híbrido fue campeón el equipo ACAPOMIL, de la academia politécnica nacional. El tour se dividió en 4 etapas completando una etapa por día. (Atacama, 2017).

2.1.1.3 *Tercera versión (2014).*

En la tercera edición de rally ecológico Chile la organización propone montar un campamento en el parque Loá Calama con el propósito de mejorar la logística y la comunicación entre los equipos y así tener una mayor acogida del público en general, para que los mismos puedan observar los diferentes vehículos. (Atacama, 2017).

En esta versión se aumentó la distancia 200 km más que la versión pasada siendo 1400km, haciendo de esta una competencia más exigente ya que no todos los equipos pudieron terminar la carrera, en esta versión se coronó en la categoría solar al dos veces campeón del mundo Tokay de Japón y en la categoría híbrido Geminis Eco Racing Equipo de Chile. (Atacama, 2017).

2.1.1.4 *Cuarta versión (2016).*

La principal novedad en esta versión es la incorporación de estaciones de carga externas eliminando así los paneles solares en los vehículos híbridos. En esta cuarta edición la

competencia se llevó en abril del 2016 recorriendo una distancia de 2300 km desde Iquique hasta Diego de Almagro. (Atacama, 2017).

La competencia tuvo un campeón, el equipo solar Ka Antu Newen, de la universidad de concepción en la categoría de evolución, mientras que el equipo Bolivia se coronó campeón en la categoría híbridos. (Atacama, 2017).

2.1.1.5 *Quinta versión (2018).*

Esta edición de la carrera solar atacama será la más difícil y larga de todas las versiones pasadas, con una distancia de 2500 km desde Santiago hasta Arica, esta versión contará con las categorías solar la misma que presentara las subcategorías como son CRUISER y CHALLENGER mientras que la categoría HIBRIDA presentara las subcategorías URBANA y CLÁSICA. (Atacama, 2017).

2.2 Regulaciones técnicas con respecto al Habitáculo.

Las regulaciones técnicas dan a conocer la información, procedimientos, requisitos, especificaciones y metodología que permiten a las distintas escuderías en su respectiva categoría establecer parámetros evaluables para evitar riesgos en la competencia solar, estas normas son dadas por los organizadores de las carreras.

2.2.1 *Habitáculo.*

- Los ocupantes de un vehículo solar deben estar sentados en un habitáculo diseñado para protegerlos de lesiones. (Solar, 2017, p. 26).
- Los equipos deben proporcionar documentación que especifique qué partes de su vehículo solar constituyen el habitáculo de cada ocupante. (Solar, 2017, p. 26).
- Cuando los ocupantes estén sentados en posición normal, con los cinturones de seguridad y los cascos puestos, ninguna parte de cualquier ocupante o su casco

puede tocar la cubierta convexa del habitáculo de cada ocupante. (Solar, 2017, p. 26).

- Ninguna parte del casco de cualquier ocupante puede estar a menos de 50 mm de la cubierta convexa. Imagine estirar una tela elástica alrededor del habitáculo; Ninguna parte de cualquier ocupante puede tocar dicha tela, y los cascos deben estar a más de 50 mm de la misma. (Solar, 2017, p. 26).
- Cada equipo debe proporcionar una memoria de cálculo, firmada por el ingeniero mecánico certificador del equipo, para demostrar que el habitáculo no se deformará en más de 25 mm y no fallará en ningún momento. (Solar, 2017, pp. 26-27).
- La carrocería del vehículo solar y el habitáculo de cualquier ocupante debe ser diseñada de tal modo que las piezas, tales como el colector solar, no puedan separarse y dañar a los ocupantes. Para reducir el riesgo de lesión por impactos, el exterior del habitáculo de un ocupante adyacente a su pelvis, abdomen, tórax y hombros debería cubierto con un material capaz de absorber la energía de impactos, de al menos 50 mm de grosor y con una fuerza de compresión de entre 500 - 1000 kPa. (Solar, 2017, p. 27).

2.2.2 Asiento.

- Los vehículos de la categoría Cruiser deben ser diseñados para más de un ocupante. (Solar, 2017, p. 27).
- La estructura del asiento debe ir anclada a la misma estructura o chasis donde se anclan las ruedas o ejes del vehículo. (Solar, 2017, p. 27).
- Cada ocupante de un vehículo solar debe tener un asiento con un ángulo de inclinación inferior a 10° medido desde la dirección de avance del recorrido. (Solar, 2017, p. 27).

- El vehículo debe disponer de un asiento compuesto por al menos una base y un respaldo que permita al piloto apoyar toda la espalda y que no lo sobrepase en altura en posición de conducción (para lograr esto con pilotos de diferentes alturas, se sugiere un apoyacabeza ajustable). Para los asientos traseros del vehículo se debe disponer un apoya cabeza de al menos 750 mm desde el eje de cadera (distancia r en el diagrama) y para los asientos delanteros se debe disponer del apoya cabeza a no menos de 800 mm desde el eje de cadera. (Solar, 2017, p. 27).
- Los talones de cada ocupante deben estar debajo de su eje de cadera. (Solar, 2017, p. 28).
- El ángulo formado entre los hombros, cadera y rodillas de cada ocupante, debe ser mayor a 90° . (Solar, 2017, p. 28).

2.2.3 Espacio del ocupante.

El espacio del ocupante debe cumplir con lo especificado en el siguiente diagrama. El brazo de radio de 835 mm debe ser capaz de moverse 45° hacia adelante, 25° hacia atrás y 7° a ambos costados. La estructura del vehículo solar, incluyendo el parabrisas, debe estar completamente fuera del espacio de los ocupantes. La dirección, los espejos, los asientos traseros y los apoyacabezas deben estar dentro del espacio del ocupante, pero deben estar diseñados para minimizar el riesgo de lesiones en un accidente. (Solar, 2017, p. 28)

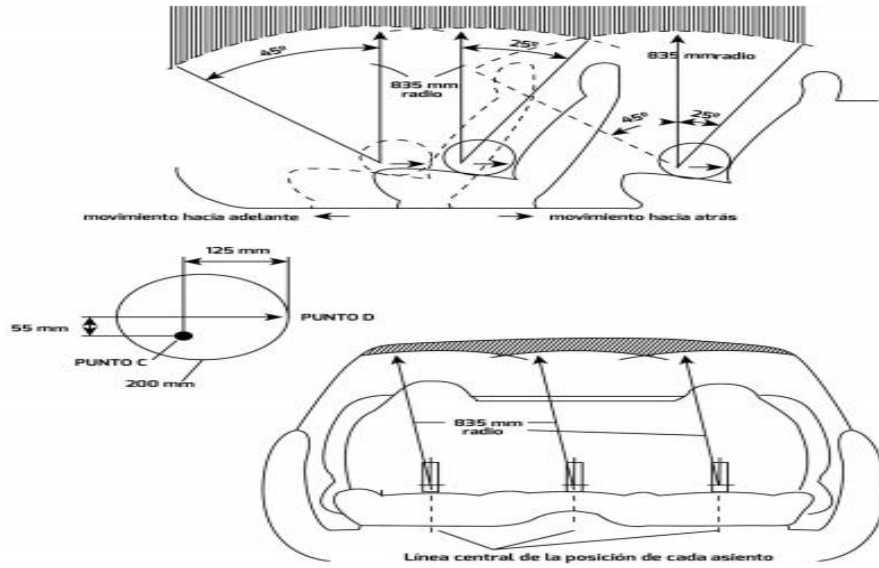


Figura 1-2: Posición y espacio para el asiento.

Realizado por: (Atacama, 2017).

2.2.4 Cinturón de seguridad.

1. Cada asiento del vehículo debe tener su propio cinturón de seguridad. Los cinturones de seguridad deben cumplir con al menos uno de los siguientes estándares de seguridad. (Solar, 2017, p. 29).
 - UNECE Regulation 16.
 - US FMVSS 571.209.
 - SFI 16.1.
 - SFI 16.5
 - FAI 8853/98.
2. Los cinturones de seguridad deben tener al menos 4 puntos de sujeción a la estructura. (Solar, 2017, p. 29).
3. Los cinturones de seguridad deben estar ajustados y ser usados de acuerdo a las instrucciones del fabricante. (Solar, 2017, p. 29).
4. Los anclajes de los cinturones de seguridad deben cumplir la intención de la regulación 14 de la UNECE, en particular:

- Los anclajes superiores de cada asiento deben soportar una fuerza de 13,5 kN aplicada a las correas superiores del cinturón de seguridad.
 - Los anclajes inferiores de cada asiento deben soportar una fuerza de 13,5 kN aplicada a las correas inferiores del cinturón de seguridad.
 - La ubicación de los puntos de anclaje deben cumplir con las instrucciones del fabricante del cinturón de seguridad. (Solar, 2017, p. 29).
5. El cumplimiento de los requisitos anteriores debe ser confirmado por el ingeniero mecánico certificador del proyecto. (Solar, 2017, p. 29).

2.2.5 Evacuación.

1. Los equipos deben demostrar que todos los ocupantes pueden salir del vehículo sin asistencia en menos de 15 segundos. (Solar, 2017, p. 30).
2. Las puertas deben poder abrirse y cerrarse desde dentro y fuera del vehículo. (Solar, 2017, p. 30).
3. Las salidas de emergencia y los métodos de apertura deberán indicarse claramente en el exterior del vehículo. (Solar, 2017, p. 30).
4. Los ocupantes deben salir del vehículo solar sin asistencia durante el evento, excepto en caso de emergencia. (Solar, 2017, p. 30).

2.2.6 Visión delantera, lateral y trasera.

1. El piloto en posición de conducción, con el cinturón de seguridad y casco puestos, debe tener visión delantera clara. Debe poder identificar letras de 75 mm de alto ubicado en todas las posiciones adelante y al costado que estén a 4m desde los ojos del piloto, y entre 0.4 m bajo el nivel de los ojos y 0.7 m sobre el nivel de los ojos, y entre 100° a la izquierda y 100° a la derecha. (Solar, 2017, p. 31).

2. La visión delantera y de los costados debe ser realizada sin la ayuda de espejos, lentes o sistemas de visión electrónicos. (Solar, 2017, p. 31).
3. El parabrisas usado para la visión delantera y de los costados debe tener una transmitancia óptica de más de 75%. (Solar, 2017, p. 31).
4. Los colores de las luces de semáforos y otros elementos de tránsito deben ser distinguibles a través del parabrisas. (Solar, 2017, p. 31).
5. El vehículo solar debe tener un sistema de visión trasera que permita que el conductor, sentado en posición normal de conducción, vea el piso en las áreas sombreadas de la imagen siguiente. (Solar, 2017, p. 32).

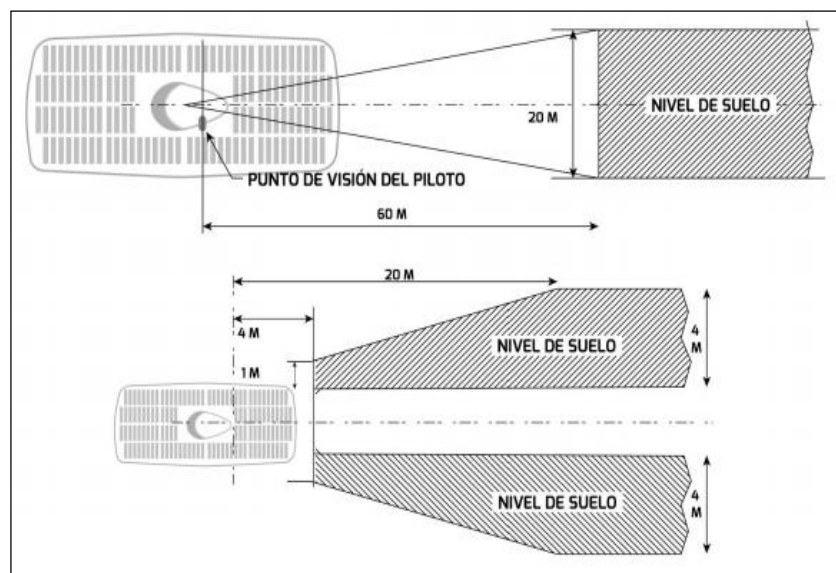


Figura 2-2: Visión del piloto para vehículo solar.

Realizado por: (Atacama, 2017).

6. Los sistemas de visión trasera pueden ser electrónicos, espejos o ambos. Deben operar siempre que el vehículo solar esté en movimiento impulsado por su motor. Las imágenes del sistema de visión trasera deben estar orientadas de tal manera que los elementos que estén a la derecha del vehículo solar deben estar a la derecha de la imagen. (Solar, 2017, p. 32).

2.3 Habitáculo.

Forma parte de la estructura de un automóvil destinada a la seguridad y conducción del piloto, en el sector automovilístico, el término habitáculo comprende todo el espacio habitable de un automóvil, éste término tiene origen aeronáutico y al principio indicaba un espacio bastante restringido reservado al piloto, pero en la actualidad el habitáculo está diseñado para albergar al piloto y cierto número de acompañantes. En la actualidad se ha trabajado mucho en mejorar la seguridad del habitáculo, desarrollando carrocerías con materiales compuestos que absorben mejor los impactos en caso de accidente, deformándose progresivamente las partes externas del vehículo sin que afecte al compartimento destinado a los pasajeros. El habitáculo está conformado por diferentes partes diferentes componente como lo son, asientos, arnés de seguridad y cubiertas.(RUTA 401, 2018).



Figura 3-1: Habitáculo de un prototipo solar.

Realizado por: (GANA, 2014).

2.4 Asiento.

Es un elemento que brinda comodidad y seguridad al conductor y sus ocupantes, el cual, permite la interacción directa entre ellos y el vehículo, siendo un elemento que ha pasado de ser una simple estructura, a un implemento de ergonomía y protección junto con el arnés de seguridad para los ocupantes, en caso de colisión llegan a ser el conjunto de seguridad pasiva en el habitáculo. (NAVARRO, 2010).

Los asientos de Autos pueden ayudar a reducir el consumo de combustible mediante la reducción de peso ya que un asiento convencional puede llegar a pesar entre 15 y 20 kilos, dependiendo del año, modelo y tipo de vehículo, los fabricantes han empezado a reducir los tamaños, los espesores del acolchado, materiales de mejor calidad y más ligeros o directamente a reducir su estructura en favor de piezas con inserciones de fibra carbono. (NAVARRO, 2010).



Figura 4-2: Asiento de competición.

Realizado por: (SPARCO, 2015).

2.4.1 Tipos de asientos de competición.

2.4.1.1 Según su estructura.

Básicamente se dividen en:

- Asientos individuales: Se denomina asientos individuales a los utilizados en la parte delantera (piloto y copiloto) de vehículos convencionales o de competencia.
- Asientos corridos: Se denomina asientos corridos a los utilizados en la parte posterior (pasajeros) de los vehículos convencionales o en serie. (NAVARRO, 2010).

2.4.1.2 Según su funcionalidad.

Están basados en obtener el mejor aprovechamiento del espacio interior del habitáculo se clasifican en:

- **Monocasco:** Se considera un asiento ultraligero, con tejido resistente al fuego, absorción de impactos y cojín antideslizante, utilizados específicamente para vehículos de competición. (NAVARRO, 2010).
- **Articulados:** Se considera a los que pueden plegarse para permitir el acceso ya sea de pasajeros o cosas aumentando el espacio de las plazas traseras y el espacio de maleteros del vehículo convencional. (NAVARRO, 2010).
- **Fijos:** Se considera asientos fijos a los que permiten ciertos movimientos de regulación, además están conformados por una estructura rígida, este tipo de asientos suelen incorporar cinturones de seguridad y son los tradicionales asientos delanteros. (NAVARRO, 2010).

2.4.1.3 *Según su confort:*

Según el acolchonamiento se dividen en:

- **Blandos:** Son aquellos que están empleados en todo vehículo de serie, donde se toma en consideración la comodidad, seguridad para el diseño y construcción. (NAVARRO, 2010).
- **Duros:** Son aquellos asientos que se emplean en vehículos de competición, donde no prima el confort, pero si la seguridad dotando de un perfecto agarre el cual influye directamente en la disminución de las oscilaciones producidas por el ciclo de conducción. (NAVARRO, 2010)

2.4.2 *Ergonomía en la industria automotriz.*

Comúnmente, en el desarrollo de interfaz de coches se toma en consideración una secuencia de causantes a lo largo de la construcción para conseguir transportes fiables y ergonómicos pertenece a las áreas en los que en este momento están rivalizando, y en busca de una virtud en el mercado.

El diseño basado en el usuario está en incremento en todas las áreas de diseño y adquisición de productos, la gente es cada vez más conscientes de los inconvenientes de ergonomía y muchísimo más riguroso sobre los productos que consiguen. Hace años varios de los primordiales desarrolladores de autos, no usaron ergónomos, pero en este momento todos ellos lo hacen. No obstante, aún hay parte de la industria del automóvil, cuyo conocimiento de ergonomía es increíblemente limitada, cada vez más, ergonomía, prácticas, utilidades y técnicas se emplean en una extensa variedad de formas durante la industria automotriz. (Manotoa Labre & García Calle, 2016, p. 35).

2.4.2.1 *Definición, enfoques y necesidad.*

Se puede encontrar una afinidad de definiciones sobre ergonomía por lo tanto resulta difícil definirla en alguna actividad humana y menos si se trata de un campo científico que tiene por objetivo partes que estén en constante movimiento, renovación, e innovación.

Etimológicamente se puede definir como a ergonomía a “Ergos: trabajo y Nomos: leyes naturales”. (Oborne, 1990).

“La ergonomía se define como el estudio científico de las relaciones entre el hombre y su medio ambiente laboral”. (MURRELL, 1963).

La ergonomía es la especialidad tecnológica que trata del diseño de sitios de trabajo, herramientas y tareas que encajan con las propiedades fisiológicas, anatómicas, psicológicas y las habilidades del trabajador.

Intentando encontrar la actualización de los tres elementos del sistema (humano-máquina-ambiente), para lo cual elabora procedimientos de estudio de la persona, de la técnica y de la organización. (ERGONOMÍA., 2017).

El Consejo de la International Ergonomics Association (IEA), que asocia a todas las sociedades científicas en todo el mundo estableció desde el año 2000 la siguiente definición, que comprende la interdisciplinariedad que fundamenta esta especialidad. (ERGONOMÍA., 2017).

2.4.2.2 Ergonomía entre el vehículo y el piloto.

La ergonomía moderna ha puesto énfasis en investigar al piloto y a su ambiente de conducción dentro del vehículo, en vez de examinar con detalles minúsculos a los componentes que constituyen el prototipo dentro del circuito. (Manotoa Labre & García Calle, 2016).

La ergonomía busca maximizar la seguridad, eficiencia, y el confort mediante el acoplamiento de las exigencias del vehículo y el piloto para demostrar sus habilidades durante las pruebas, si este se adapta a los requerimientos de su prototipo, se establece una relación entre ambos para un mejor desempeño, como se indica en la figura. (Manotoa Labre & García Calle, 2016).



Figura 5-2: Relación sistema piloto vehículo.

Realizado por: (troncoso, 2011).

El vehículo debe mostrar comodidad y disponibilidad para el accionamiento de sus controles durante la conducción. El ambiente puede interferir la eficacia de este circuito donde está claramente detallado los elementos a los cuales tiene acceso el conductor. (Manotoa Labre & García Calle, 2016)

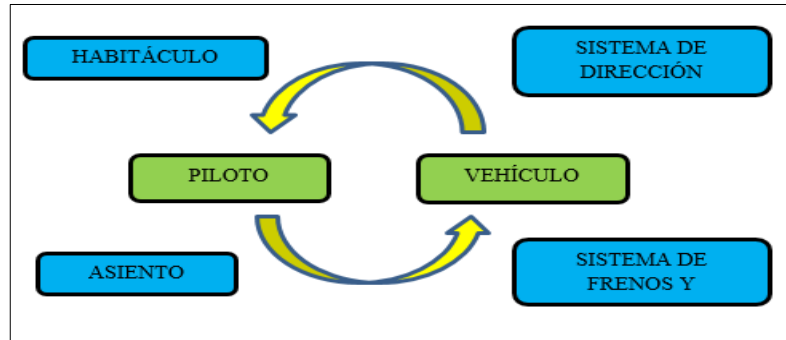


Figura 6-2: Circuito entre piloto y vehículo.

Realizado por: Autores.

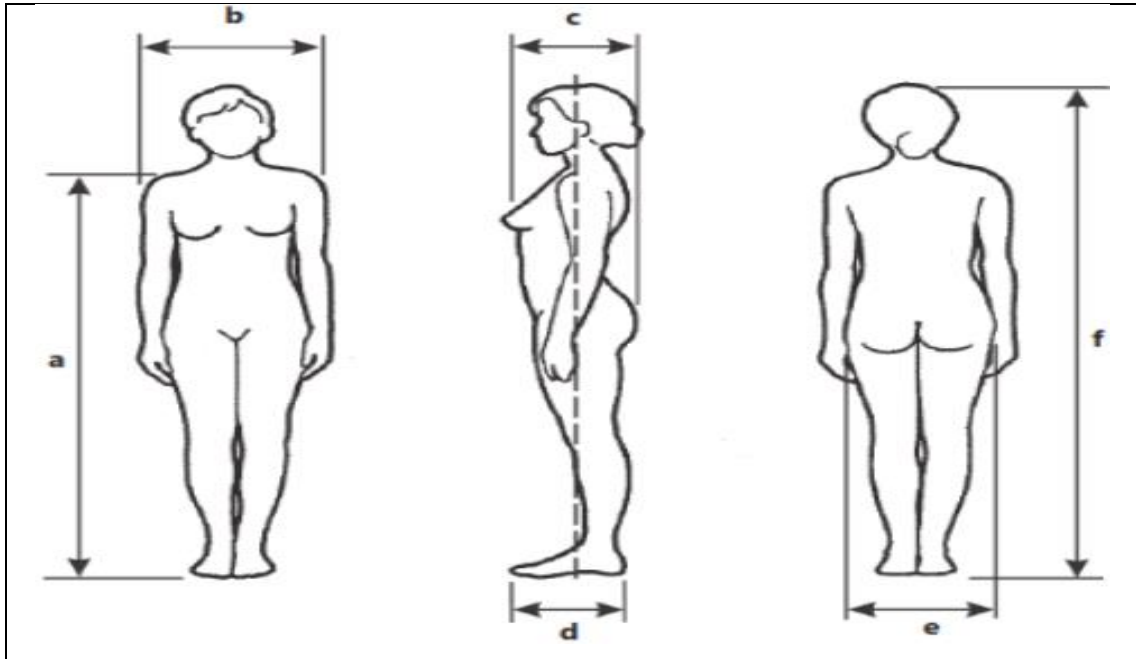
2.4.3 Antropometría.

Desde siglos atrás filósofos, diseñadores arquitectos y teóricos han mostrado interés sobre el cuerpo humano y sus dimensiones con el afán de conocerse así mismo siendo unas de las primeras medidas estandarizada de la época el pie, el codo, la pulgada, etc., que se utilizaron en la construcción de espacios de supervivencia y habitables. (Manotoa Labre & García Calle, 2016).

En el siglo XVIII la antropología física ya se utilizaba para el desarrollo de la antropometría racial comparativa, llevada a cabo por los antropólogos físicos: Buffon, Linneo y White, pero no fue hasta el año 1870 que se consideró a esta como una ciencia gracias al matemático Adolphe Quetlet. (Manotoa Labre & García Calle, 2016).

La antropometría ayudará para el propósito de construcción de diferentes partes del habitáculo con las cuales se va a determinar medidas importantes de los pilotos las cuales se detallan en la siguiente figura.(Manotoa Labre & García Calle, 2016).

Tabla. 1-2: Medidas anatómicas generales.



Las dimensiones anatómicas genéricas están encaminadas a establecer las características que conforman el genotipo.

a. Altura hombro	c. Profundidad	e. Ancho de cadera
b. Ancho máximo	d. Longitud del pie	f. Talla o estatura

Fuente: (CRUZ GOMEZ, 2010).

Realizado por: Autores.

2.4.3.1 *Importancia.*

En la actualidad la antropometría se ha convertido en una ciencia fundamental en el campo laboral tanto en relación con la ergonomía y la seguridad ya que permite la creación de entornos de trabajo adecuados permitiendo un correcto diseño geométrico de espacios de trabajo y herramientas de trabajo ya que estas están consideradas una extensión de la persona, permitiendo un trabajo conciso y evitando la fatiga de las mismas. (Manotoa Labre & García Calle, 2016, p. 31).

2.4.3.2 *Clasificación.*

Básicamente se dividen en las siguientes:

2.4.3.2.1 *Estática.*

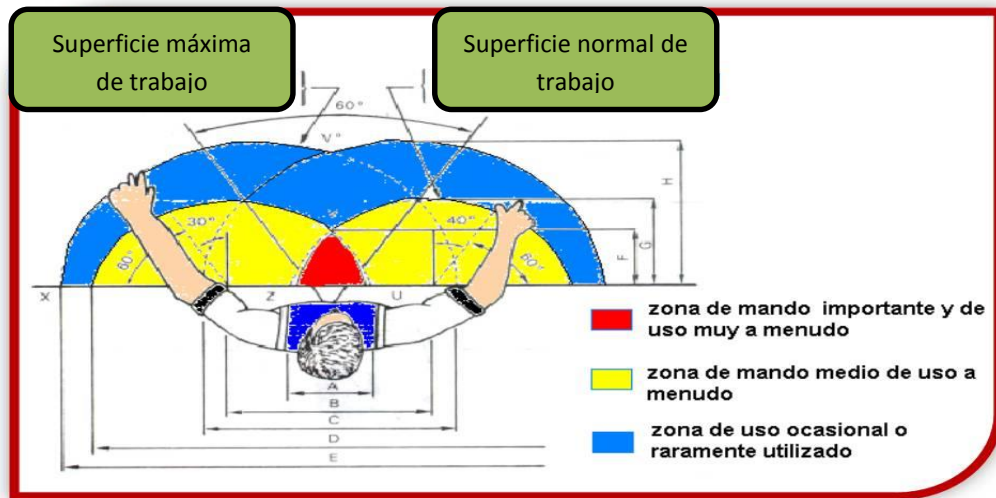


Figura 8-2: Espacio funcional.

Realizado por: (LEANDRO, 2006).

2.4.3.3 Criterios de espacio y ergonomía.

Lo más importante a tener en cuenta con respecto al espacio es la evacuación del piloto en caso de accidente, así como la previa evaluación de su estado dentro del habitáculo, siempre que se garantice seguridad y una relativa comodidad durante la conducción. Por lo tanto, en cuanto al diseño, se tendrá en cuenta lo siguiente. (Manotoa Labre & García Calle, 2016).

- Se debe garantizar la facilidad de acceso al interior del habitáculo del vehículo y demás componentes durante los ciclos de conducción. La ergonomía debe inferir directamente en la anatomía del conductor durante los movimientos que realice en los diferentes circuitos de la competencia.
- Los cinturones deben garantizar el espacio y seguridad suficiente para poder conducir con relativa facilidad.

En el diseño del asiento ergonómico y para determinar las necesidades de espacio que va a tener en el interior del habitáculo vamos a considerar la regla del percentil 95%. El percentil quiere decir que el 95% de los prospectos a pilotos es de tamaño menor que este

modelo, por lo tanto, que solo el 5 % es mayor, como se indica en la Figura 3-1. (Manotoa Labre & García Calle, 2016)

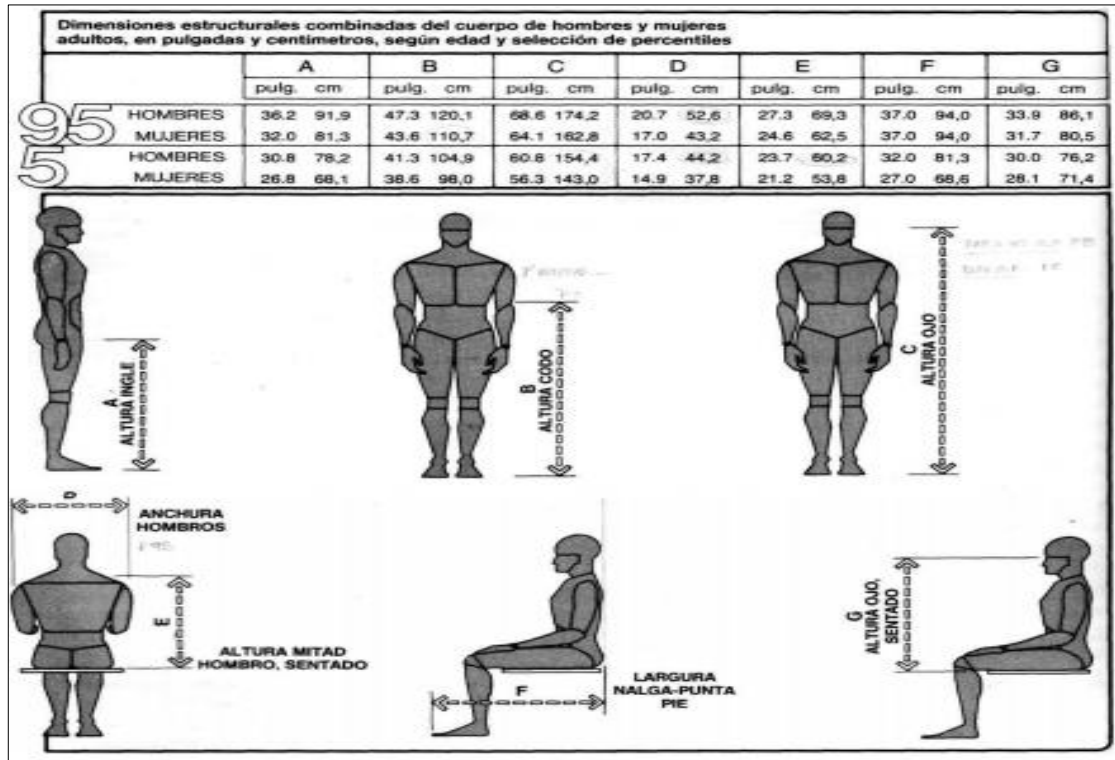


Figura 9-2: Datos informativos del cuerpo humano.

Realizado por: (PANERO, 1996, p. 96).

2.5 Arnés de seguridad.

El cinturón de seguridad es un elemento muy importante para la seguridad pasiva ya que actúa como freno del ocupante en caso de un accidente evitando que el conductor salga despedido contra la estructura del habitáculo.

Los cinturones de seguridad suelen estar conformados por 2 cintas o más, por norma de homologación el cinturón de seguridad debe soportar una carga de 1500 Kg el cual será sujeto mediante bridas a los anclajes convenientes que se encuentran en la carrocería. Una hebilla especial permite el enganche de manera rápida y sencilla a sí mismo el desenganche el cual es efectuado por un pulsador o una palanca comprendido en su la propia palanca. (Sierra, 2018).



Figura 10-2: Cinturones de 4 puntos instalados en asientos de competición.

Realizado por: (OZIEL2115, 2000)

Este dispositivo es uno de los inventos que más vidas ha salvado que más vidas ha salvado, Según un estudio realizado por la National Highway Traffic Safety Administration, el cinturón de seguridad salvaguardo la vida a cerca de diez mil personas en el año noventa y cinco, es decir, unas 27 vidas por día. Los cinturones de seguridad forman un conjunto de seguridad junto con otros dispositivos de retención dispositivos de retención infantil, los airbag, y reposa cabezas los cuales serán ineficaces si no se lleva abrochado el cinturón de seguridad (Ramos, 2016).



Figura 11-2: Cinturón de seguridad de 4 puntos.

Realizado por: (SALVADOR, 2017).

2.5.1 Partes.

El cinturón de seguridad consta de los siguientes sistemas:

- **Sistema de bloque angular**, este no permite la salida de la cinta cuando la inclinación del cinturón en el plano vertical paralelo a la dirección de la marcha excede un valor determinado este entra en acción en caso de un volcamiento. (ROSARIO, 2015, p. 14).
- **Sistema limitador de carga**. Además de la elasticidad propia de la cinta del cinturón de seguridad permiten que salga una cantidad controlada de cinta cuando la fuerza sobre pecho o pelvis ha alcanzado unos valores predeterminados, para causar el mínimo daño posible. (ROSARIO, 2015, p. 14).
- **Sistema de bloqueo por sensibilidad de cinta o de vehículo**, que impide la salida de cinta cuando el ocupante se mueve bruscamente hacia delante. Actúa sobre todo en choques frontales. (ROSARIO, 2015, p. 14).

2.5.2 Tipos.

En la actualidad existen 5 tipos de cinturones de seguridad vehicular los cuales vamos a describir a continuación:

- **De 2 puntos:** también llamados cinturones abdominales, son los que están ubicados sobre las caderas de los ocupantes, el uso de estos en la actualidad estos están dados en los asientos de aviones y autobuses, a este tipo de cinturón se le atribuyen separación de la espina lumbar y causando en ciertas ocasiones parálisis. (SALUD & FOUNDATION, 2009, pp. 9-10).
- **Torácicos:** estos cinturones constan de 2 puntos de anclaje, solo que estos se colocan a la altura del pecho, debido a que no protegían la parte baja del cuerpo ni el cuello se los ha dejado de utilizar. (SALUD & FOUNDATION, 2009, pp. 9-10).
- **De 3 puntos:** Son los cinturones de seguridad que vemos en la gran mayoría de los autos. Cuentan con tres puntos de anclaje. Se colocan con una banda que recorre el pecho iniciando a la altura de la clavícula y terminando en la cadera y una segunda banda que recorre la cadera de lado a lado. (SALUD & FOUNDATION, 2009, pp. 9-10).

- **De 4 puntos:** Son los cinturones que parecen chaleco ya que las bandas rodean ambos hombros y se sujetan en cuatro puntos. Pueden tener dos bandas más transversales con lo que serían de seis puntos de anclaje. Este tipo de cinturones, son utilizados en auto de carreras y competencias. (SALUD & FUNDATION, 2009, pp. 9-10).
- **De 5 puntos:** los cinturones de seguridad de cinco puntos más comunes son los que se utilizan para las sillas de bebés. Las bandas provienen de las cuatros esquinas y el quinto punto es el broche que sujeta a todas a la altura del abdomen del bebé. (SALUD & FUNDATION, 2009, pp. 9-10).

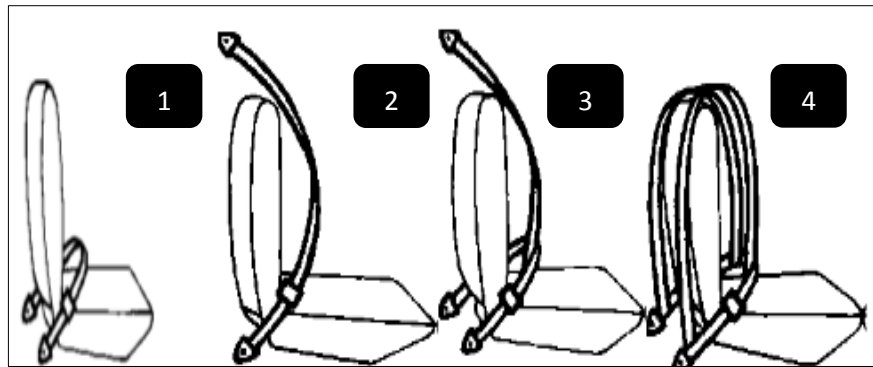


Figura 12-2: 1) De dos puntos. 2) torácico. 3) De tres puntos 4) De cuatro puntos.

Realizado por: (OCAMPO, 2011).

2.6 Cubierta del habitáculo.

La cubierta del habitáculo también conocida en su parte exterior como domo o es un elemento que se utiliza para cubrir un espacio de planta circular, cuadrada, poligonal o elíptica, mediante arcos de perfilaría semicircular, parabólico u ovoidal, respecto de un punto central de simetría. (MANUEL, 2014).

La construcción de la cúpula en un material translúcido como es el acrílico y con fibra de carbono da una destacable protección contra impactos, rayos solares y a su vez no perjudica la visibilidad.



Figura 13-2: cúpula de un prototipo solar.

Realizado por: (GANA, 2014)

2.6.1 Acrílico en la cubierta del habitáculo.

El acrílico es material noble, simple de trabajar, con una transparencia del 5% mejor que el vidrio común, buena resistencia al impacto, moldeable por calentamiento y con tolerancia aceptables a la radiación ultra violeta y los rigores de la intemperie, muchas láminas acrílicas se las conoce por su nombre comercial: Plexiglás o Lucite en EEUU y Perpex, en Inglaterra. (CIA.LTDA., 2016)

El acrílico es un material que presenta alta durabilidad ya que posee excelentes propiedades físicas como las que vamos a nombrar a continuación:

- **Resistencia a la intemperie:** El acrílico puede ser expuesto a la lluvia y luz solar sin perder sus propiedades físicas.
- **Claridad:** Se mantiene claro con el tiempo a diferencia del policarbonato o los acetatos que se tornan amarillos.
- **Peso liviano:** Solo la mitad del peso del vidrio y 43% del peso del aluminio.
- **Resistencia al impacto:** Es un material mucho más regido que los plásticos comunes y su resistencia al impacto le ofrece la seguridad que no le da el vidrio.
- **Transmisión de luz:** El acrílico es un excelente transmisor de luz, su transmisión luminosa es de 92%.
- **Propiedad aislante:** El acrílico tiene la particularidad de aislar el calor y el ruido. Una lámina acrílica de ¼" de espesor puede aislar el ruido tanto como una pared de concreto. (ARQUIGRAFICO, 2017).

2.6.2 Ventajas con respecto al vidrio.

- Una lámina de acrílico del mismo espesor que una de vidrio tiene la mitad de peso.
- El acrílico es mucho más sencillo de maquinar que el vidrio. El maquinado del acrílico es similar al de la madera dura o al del metal blando.
- El acrílico es fácilmente termoformable, mientras que el vidrio no.
- El acrílico tiene una resistencia al impacto 6 veces mayor que el vidrio a igual espesor.
- El acrílico tiene una mayor transparencia y cristalinidad que el vidrio, esta diferencia se hace más notoria al comparar espesores gruesos.
- El acrílico es mejor aislante térmico que el vidrio, y tiene una conductividad térmica 4 veces menor que este.
- Es más fácil reparar las ralladuras producidas en el acrílico que en el vidrio. (ACRÍLICOS, 2002)

2.6.3 Ventajas con respecto al policarbonato.

- El acrílico tiene mayor transparencia que el policarbonato.
- El acrílico es más fácil de limpiar que el policarbonato.
- El acrílico es más fácil de termo formar que el policarbonato.
- El acrílico tiene mayor resistencia a la intemperie que el policarbonato.

- El acrílico permite una gama de colores mayor que el policarbonato.
- El acrílico tiene un brillo de borde superior al del policarbonato.
- El acrílico es reciclable mientras que el policarbonato no.
- Las ralladuras producidas en la superficie del acrílico se pueden reparar mientras que en el policarbonato no. (ACRÍLICOS, 2002)

2.7 Variables que intervienen en el análisis aerodinámico para la validación del diseño.

2.7.1 Número de Reynolds.

En este punto, podemos definir uno de los números no dimensionales utilizados con mayor frecuencia; el número de Reynolds, llamado así por el famoso dinamizador de fluidos británico del siglo XIX, Osborne Reynolds (1842-1912). Para nuestro propósito, el número de Reynolds representa los efectos de escala y se puede usar para cuantificar el producto de la velocidad en función del tiempo. Su importancia se vuelve evidente al comparar los resultados de las pruebas de diferentes escalas de modelos o diferentes velocidades. Además, saber la magnitud del número de Reynolds puede indicar si el flujo es mayormente laminar o turbulento (al aumentar la velocidad, el flujo se vuelve más turbulento). (JOSEPH, 1995, p. 36).

El número de Reynolds, cuando se usa en el campo de la aerodinámica de los autos de carrera, puede cuantificar el producto de los tiempos de velocidad. Más precisamente, el número (Re) representa la relación entre las fuerzas inerciales y viscosas (fricción) creadas en el aire y se define mediante la siguiente fórmula. (JOSEPH, 1995, p. 36)

$$Re_L = \frac{\rho V L}{\mu}$$

Donde:

Re_L = Número de Reynolds basado en la longitud del vehículo.

ρ = Densidad del aire [kg/m^3].

V = Velocidad del vehículo [m/s].

L = Longitud del vehículo [m].

μ = Viscosidad de aire [$kg/m * s$].

2.7.2 Número de mach.

Es la relación entre la velocidad local de flujo con la velocidad local del sonido dentro del fluido es adimensional. Este número mach es muy dependiente de la temperatura, es comúnmente utilizado con relevación en la parte aeronáutica para corroborar el comportamiento del fluido. (RÍOS JÁTIVA & RODRÍGUEZ RAMÓN, 2017, pp. 45-46).

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

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

Donde:

Ma = Número de Mach.

V = Velocidad del vehículo [m/s].

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

K = Constante = 1,4.

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

T = Temperatura del lugar de estudio. [K]

2.8 Coeficiente de arrastre y sustentación.

Las fuerzas de arrastre y sustentación dependen de la densidad del fluido ρ , la velocidad corriente arriba V y el tamaño, forma y orientación del cuerpo, entre otras cosas, y no es práctico hacer una lista de estas fuerzas para una diversidad de situaciones. En vez de ello, es conveniente trabajar con parámetros adimensionales adecuados que representen las características de arrastre y sustentación del cuerpo. Estos parámetros son el coeficiente de arrastre C_d y el coeficiente de sustentación C_l . (JOSEPH, 1995, pp. 45-51)

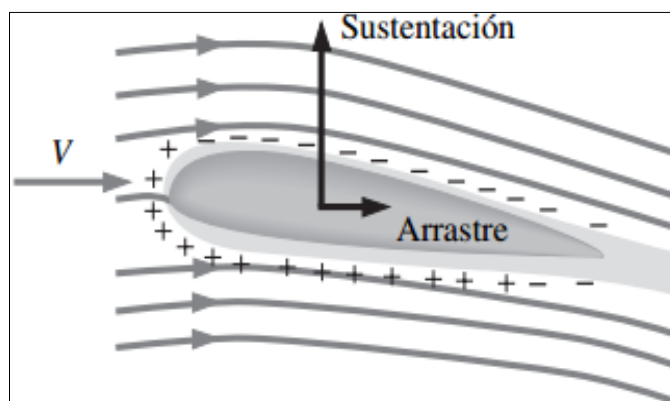


Figura 14-2: Fuerza de resistencia aerodinámica y sustentación.

Realizado por: (Cengel., 2006, p. 565)

2.8.1 *Coefficiente de resistencia aerodinámico.*

Es un número adimensional, dentro de la mecánica de fluido este se considera como la resistencia del objeto dentro de un fluido ya sean estos líquidos a gases. El coeficiente de arrastre se lo asocia mediante la siguiente expresión. (JOSEPH, 1995, pp. 45-51)

$$C_d = \frac{F_d}{\frac{1}{2} * \rho * V^2 * A}$$

Donde:

C_d = Coeficiente de resistencia aerodinámica.

F_d = Resistencia aerodinámica [N].

ρ = Densidad del aire [kg/m^3].

V = Velocidad del vehículo [m/s].

A = Área frontal del vehículo [m^2].

2.8.2 *Coefficiente de sustentación aerodinámica.*

Todos los elementos que estén en contacto o estén relacionados con el aire se ven muy involucrados con los coeficientes aerodinámicos, estos coeficientes son parámetros que analizan y determinan el comportamiento del vehículo u objeto que se vaya analizar. (JOSEPH, 1995, pp. 45-51).

$$C_l = \frac{F_l}{\frac{1}{2} * \rho * V^2 * A}$$

Donde:

C_l = Coeficiente de sustentación aerodinámica.

F_l = Resistencia aerodinámica [N].

ρ = Densidad del aire [kg/m^3].

V = Velocidad del vehículo [m/s].

A = Área frontal del vehículo [m^2].

2.9 Fuerzas de Arrastre y sustentación.

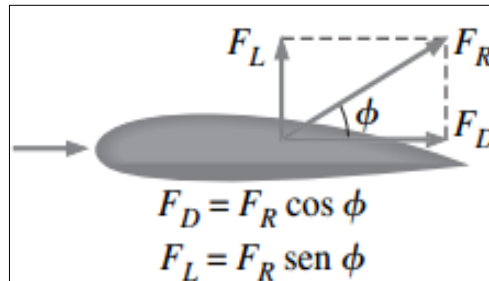


Figura 15-2: Fuerza de resistencia aerodinámica y sustentación.

Realizado por: (Cengel., 2006, p. 564).

2.9.1 Fuerza de arrastre o Resistencia aerodinámica.

La fuerza que un fluido que fluye ejerce sobre un cuerpo que circula a una velocidad determinada en la dirección del flujo se llama Fuerza de arrastre. (JOSEPH, 1995, pp. 45-51).

La resistencia aerodinámica se calcula con la siguiente expresión:

$$F_d = \frac{1}{2} C_d * \rho * V^2 * A$$

Donde:

F_d = Resistencia aerodinámica [N].

C_d = Coeficiente de resistencia aerodinámica.

ρ = Densidad del aire [kg/m^3].

V = Velocidad del vehículo [m/s].

A = Área frontal del vehículo [m^2].

La fuerza de arrastre también se puede medir de manera directa simplemente con unir el cuerpo sumergido a un flujo de fluido a un resorte calibrado y medir el desplazamiento en la dirección del flujo (tal como medir el peso con una báscula de resorte). Los dispositivos más modernos para medir arrastre, llamados balanzas de arrastre, usan vigas

flexibles fijas con extensómetros para medir el arrastre electrónicamente. (JOSEPH, 1995, pp. 45-51).

2.9.2 Fuerza de sustentación o Carga aerodinámica.

Las componentes de la presión y las fuerzas de corte en la dirección normal al flujo tienden a mover el cuerpo en dicha dirección; su suma se llama sustentación, y se puede calcular con la siguiente expresión. (JOSEPH, 1995, pp. 45-51).

$$F_l = \frac{1}{2} C_l * \rho * V^2 * A$$

Donde:

F_l = Resistencia aerodinámica [N].

C_l = Coeficiente de carga aerodinámica.

ρ = Densidad del aire [kg/m^3].

V = Velocidad del vehículo [m/s].

A = Área frontal del vehículo [m^2].

2.10 Fineza.

La fineza o eficiencia aerodinámica es la relación entre el coeficiente de sustentación y el coeficiente de resistencia, determina el valor de la eficiencia aerodinámica, su cálculo se realiza con la fórmula que se muestra a continuación. (RÍOS JÁTIVA & RODRÍGUEZ RAMÓN, 2017, p. 49).

$$f = \frac{F_l}{F_d} = \frac{C_l}{C_d}$$

Donde:

f = Fineza.

F_d = Resistencia aerodinámica [N].

F_l = Resistencia aerodinámica [N].

C_d = Coeficiente de resistencia aerodinámica.

C_l = Coeficiente de sustentación aerodinámica.

CAPÍTULO III

3 DISEÑO DEL ASIENTO Y CUBIERTA PARA EL HABITÁCULO DEL VEHÍCULO SOLAR.

3.1 Diseño del asiento.

Para comenzar a diseñar un asiento o butaca es muy importante tener en cuenta múltiples factores de construcción como son, por ejemplo: peso del conductor, fuerza de frenado del vehículo, material de construcción, puntos de anclaje del cinturón de seguridad, montaje, método de manufactura, etc. Es por ello que en éste trabajo de titulación se pretende desarrollar un análisis estático estructural de dicho asiento, para determinar el comportamiento del mismo al estar sometido a esfuerzos producidos durante los ciclos de conducción.

3.1.1 *Características de diseño de un asiento.*

El proyecto actual está enmarcado en el diseño y construcción de un asiento para un vehículo solar con un sistema de 4 puntos de sujeción, para el cual es necesario cumplir una serie de características:

- La estructura del asiento debe ir anclada a la misma estructura o chasis donde se anclan las ruedas o ejes del vehículo.
- El asiento debe tener su propio cinturón de seguridad el mismo que debe tener 4 puntos de sujeción a la estructura.
- El vehículo debe disponer de un asiento que permita al piloto apoyar toda la espalda.

- Cuando el piloto esté sentado en posición normal, con el cinturón de seguridad y el casco puestos, ninguna parte del piloto o su casco puede tocar la cubierta convexa del habitáculo.

3.1.2 *Parámetros de diseño del asiento.*

La naturaleza del vehículo, combinado con el peso y las restricciones de costo, requieren que el asiento cumpla con ciertos parámetros que se detallan a continuación.

- El asiento debe tener un ángulo de inclinación máximo de 30°.
- Los talones del piloto deben estar debajo de su eje de cadera.
- El ángulo formado entre los hombros, cadera y rodillas del piloto, debe ser mayor a 90°.
- Ninguna parte del casco del piloto puede estar a menos de 50 mm de la cubierta convexa.

3.1.2.1 *Criterios de espacio y ergonomía.*

En el diseño del asiento ergonómico y para determinar las necesidades de espacio que va a tener en el interior del habitáculo vamos a considerar la regla del percentil 95%, como se indica en la (Tabla 3-1).

Tabla. 1-3: Dimensiones estructurales combinadas del cuerpo de hombres y mujeres adultos en centímetros.

PERCENTIL	95%		5%	
	HOMBRES	MUJERES	HOMBRES	MUJERES
Altura ingle.	91,1	81,3	78,2	68,1
Altura codo.	120,1	110,7	104,9	98,0
Altura ojo.	174,2	162,8	154,4	143,0
Altura hombros	52,6	43,2	44,2	37,8
Altura mitad hombro sentado.	69,3	62,5	60,2	53,8
Largura nalga-punta pie.	94,0	94,0	81,3	68,6
Altura ojo sentado.	86,1	80,5	76,2	71,4

Fuente: (PANERO, 1996 pág. 96).

Realizado por: Autores.

3.1.3 Desarrollo de las fases de diseño.

3.1.3.1 Diseño conceptual.

En esta fase se realiza los primeros bosquejos del diseño, a través de dibujos a mano para obtener una idea clara del asiento para posteriormente ser modelado en el software.

Para empezar con el respectivo diseño, tomaremos los diferentes datos antropométricos y ergonómicos del piloto además de las restricciones que rige en el reglamento de la CSA, como son: ubicación de arnés de seguridad, posición del conductor, espacio del interior del habitáculo, posición del volante del sistema de dirección, etc.

Así también tomaremos el criterio de espacio, de acuerdo a las dimensiones reales del interior del habitáculo, dejando acceso para los diferentes accesorios del tablero de instrumentos y ubicación de cinturón de seguridad 4 puntos con sus respectivos anclajes al chasis. Luego de concretar las ideas y después de realizar correcciones en las formas geométricas de la superficie del asiento ergonómico llegamos a obtener un diseño que cumple con los requerimientos ergonómicos del reglamento CSA.



Figura 1-3: Bosquejo del asiento.

Realizado por: Autores.

3.1.3.2 Modelado del asiento asistido por software.

Una vez obtenido el diseño conceptual del asiento ergonómico según las dimensiones generales del espacio del habitáculo y en base a las restricciones del Reglamento CSA, se procede a realizar el modelado geométrico con la ayuda del software computacional. Ya

que el asiento es la base para la comodidad y desempeño del piloto, además, permite la colocación del cinturón de seguridad que se encargaran de dotar seguridad durante el ciclo de conducción, entonces este debe ser rígido pero ergonómico encargado de soportar cargas y esfuerzos reales. (Manotoa Labre, y otros, 2016).

En el software CAD (Solidworks) se realiza el modelado en 3D y en el software CAE (Ansys) el respectivo análisis estructural del asiento ergonómico.

3.1.3.2.1 Modelado geométrico del asiento.

Primeramente, se realiza un croquis, mediante líneas que nos indique la forma que tomará la curvatura de la espalda y muslos según el perfil del piloto. Estas líneas posteriormente son modificadas de acuerdo a las medidas antropométricas del conductor, por lo general en un monoplaza el peso del conductor está restringido en 80 Kg, como se indica en la (Figura 2-3). (Manotoa Labre, y otros, 2016)

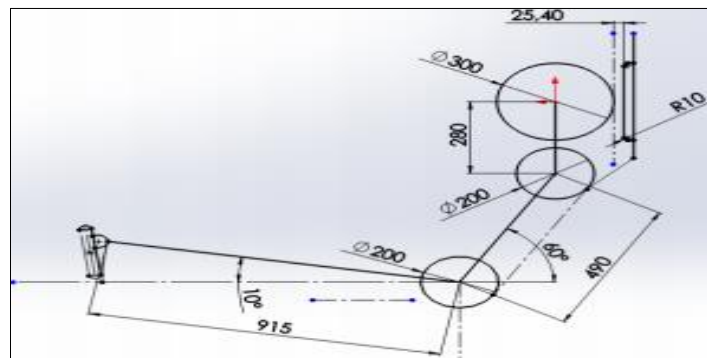


Figura 2-3: Restricciones del perfil del asiento.

Realizado por: Autores.

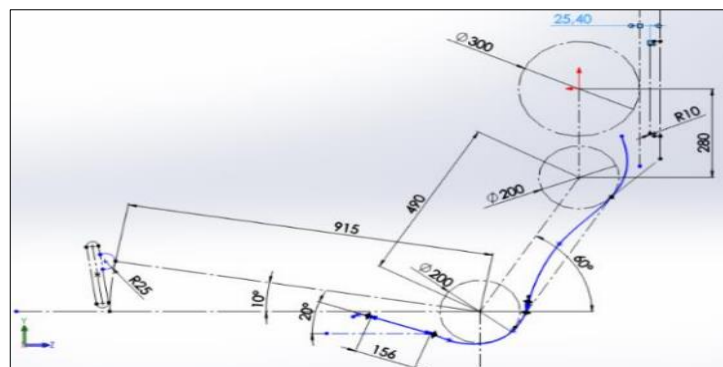


Figura 3-1: Croquis del perfil del contorno del asiento.

Realizado por: Autores.

En la (Figura 3-3) se observa el perfil que llevara el asiento, para la obtención del diseño se utilizó herramientas que nos presenta el programa CAD Solidworks. En la siguiente figura se puede observar el diseño final del asiento.

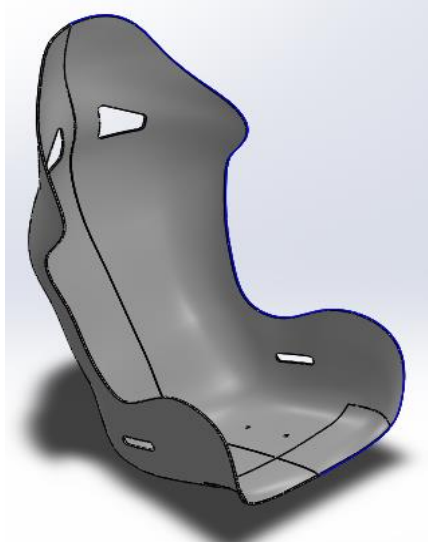


Figura 4-3: Diseño final del asiento realizado en software CAD.

Realizado por: Autores.

3.1.4 Análisis estático estructural del asiento.

3.1.4.1 Material para el asiento ergonómico.

La fibra de carbono por las características y ventajas que brinda es el material óptimo para la construcción del asiento ergonómico, debido a que nuestro objetivo principal es la reducción del peso total del vehículo.

Las principales características de la fibra de carbono se citan a continuación:

- Resistencia mecánica, tenacidad y densidad.
- Estabilidad dimensional (logra conservar su forma).
- Amortiguación de vibraciones, resistencia y tenacidad.
- Resistencia a la fatiga y auto-lubricación.
- Resistencia química y térmica.
- Alta conductividad térmica.
- Alta conductividad eléctrica.
- Compatibilidad biológica.
- Excelente aptitud para el conformado (moldeado), lo que facilita diseños más atrevidos y aerodinámicos.

- Nula capacidad corrosiva.
- Alta inalterabilidad a los cambios de temperatura.
- Alto límite elástico.
- Notable reducción del peso del vehículo.

3.1.4.1.1 Especificaciones técnicas de la fibra de carbono.

Las propiedades mecánicas de la fibra de carbono son:

- Fuerza máxima (N): 322,82.
- Deflexión (mm): 9,38.
- Esfuerzo máximo de flexión (MPa): 331,91.
- Módulo de elasticidad secante de flexión (Mpa): 20365,08.
- Deformación máxima (%): 0,10.
- Energía de ruptura (J): 1,41.
- Resistencia al impacto (J/m): 486,42.

3.1.4.2 Asignación de las propiedades de la fibra de carbono.

Se asigna cada una de las propiedades mecánicas correspondientes a la fibra de carbono al software Ansys Workbench en su ventana de Engineering Data como se indica en la Figura.

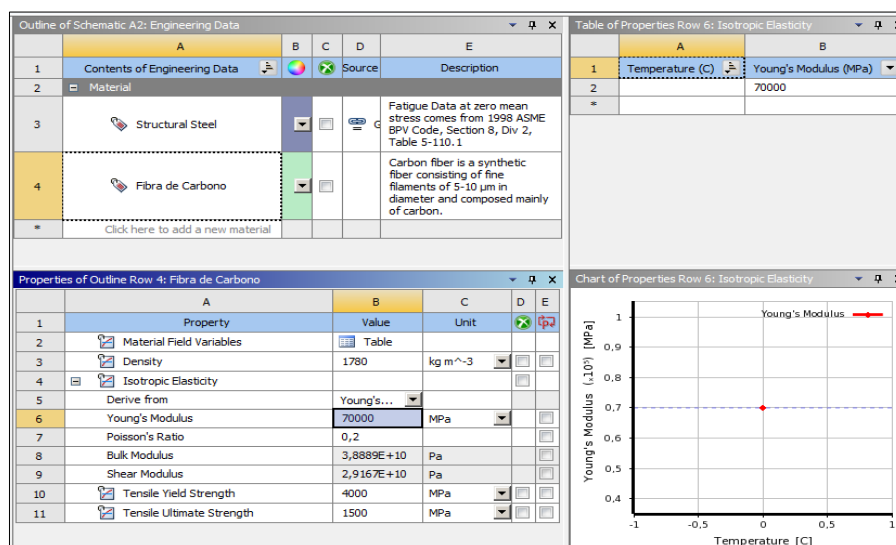


Figura 5-3: Asignación de las propiedades del material en Ansys.

Realizado por: Autores.

3.1.4.3 *Mallado.*

Se procede a realizar el mallado del asiento, mediante diversos procedimientos para definir y dividir el modelo en elementos pequeños, mediante la unión entre sí de sus nodos se forma la malla. Los nodos representan puntos sobre los cuales se realizarán los diferentes cálculos.

3.1.4.3.1 *Métrica de la malla.*

Para realizar el estudio del asiento se utiliza el método de mallado de tipo tetraedro que usa un algoritmo de alta calidad iniciando el proceso desde las aristas, caras y luego el volumen de los elementos a analizar; respetando cada uno de sus límites y todas las caras del conformado. El calibrado se define por controladores y/o locales de Patch Conforming, además para una optimización adecuada del mallado se utiliza el método de tamaño de elemento Body Sizing que permitirá obtener una calidad del elemento adecuada para el análisis estático (Manotoa Labre, y otros, 2016).

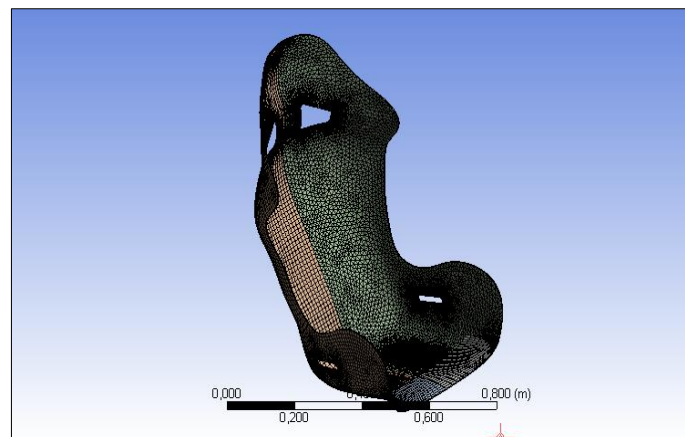


Figura 6-3: Método de mallado Tetraédrico del modelo geométrico.

Realizado por: Autores.

3.1.4.3.2 *Criterio de aceptación del análisis.*

Para la aceptación de calidad de elemento para el mallado del asiento, se presentan datos estadísticos que permiten su validación y están detallados en la (Tabla 2-3) y (Figura 7-

3). Los parámetros obtenidos permiten que el análisis tenga una aproximación lo más cercana posible a la realidad con una calidad del elemento de un 0,859 para reducir errores durante la simulación.

Tabla. 2-3: Datos estadísticos para la aceptación del análisis.

Condiciones de entrada	
Tipo de malla	Fina
Nodos	53225
Elementos	95196
Tipo de elemento	Tetraédrico
Malla máxima	0,99961
Malla promedio	0,85986
Malla mínima	7,6934e-003

Fuente: Ansys.

Realizado por: Autores.

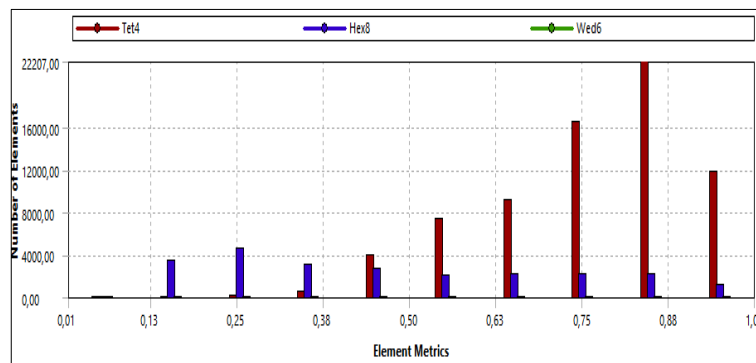


Figura 7-3: Calidad del mallado del asiento ergonómico.

Realizado por: Autores.

3.1.5 Condiciones de contorno del asiento.

3.1.5.1 Cálculo de cargas generadas en el asiento para la validación del diseño en Ansys.

Estos cálculos nos ayudan con información de las propiedades mecánicas que están presentes en el material compuesto de fibra de carbono y resina epóxica con los que se fabrica el asiento ergonómico, estas pueden ser: límite elástico, densidad, módulo de Young, esfuerzos máximos, deformaciones totales, factores de seguridad, etc., conjuntamente esta prueba da a conocer la resistencia que presenta el material cuando es

sometido a cargas externas como: momentos, fuerza de frenado, peso, fuerza centrífuga, etc. (Manotoa Labre, y otros, 2016 pág. 70).

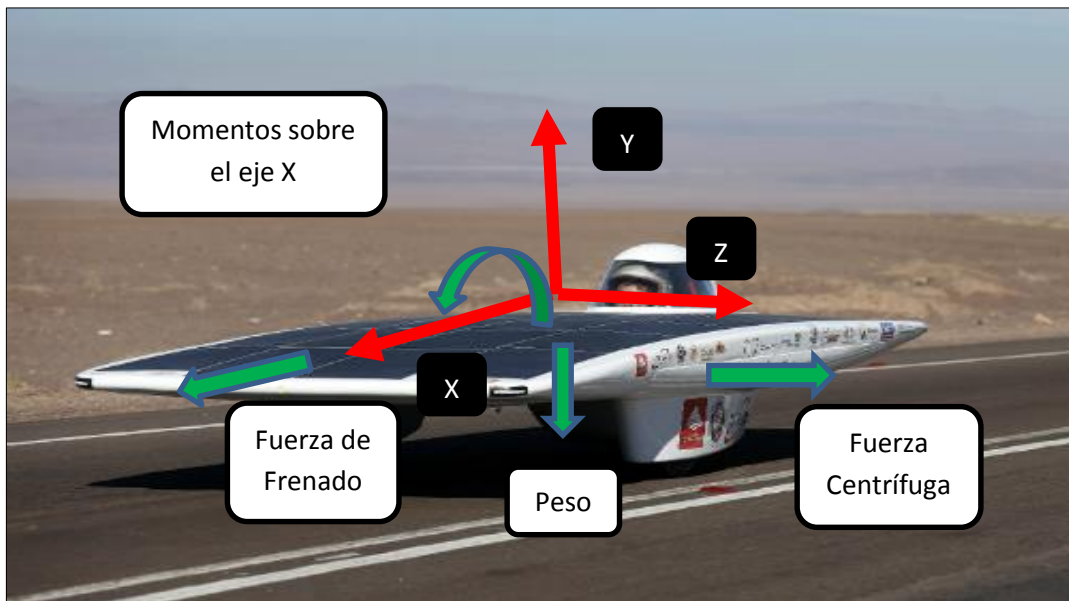


Figura 8-3: Cargas externas generadas en el vehículo CSA.

Realizado por: (Manotoa Labre, y otros, 2016 pág. 78).

Coordenadas del centro de masa.

Tabla. 3-1: Coordenadas del centro de masa.

Coordenadas del plano de referencia	Unidad (m)
X	0,24
Y	0,34
Z	0,00

Fuente: Ansys.

Realizado por: Autores.

- Masa total = 3,23 Kg.
- Volumen total = 0,01 m³.
- Área de Superficie total = 1,64 m²
- Superficie del espaldar = 0,7281 m²

Propiedades de masa de Asiento CSA 2018.		
Configuración: Predeterminado		
Sistema de coordenadas: -- predeterminado --		
Densidad = 1000.00 kilogramos por metro cúbico		
Masa = 3.23 kilogramos		
Volumen = 0.00 metros cúbicos		
Área de superficie = 1.64 metros cuadrados		
Centro de masa: (metros)		
X = 0.34		
Y = 0.34		
Z = 0.00		
Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (kilogramos * metros cuadrados)		
Medido desde el centro de masa.		
ix = (-0.63, 0.78, 0.00)	Px = 0.12	
Iy = (0.00, 0.00, 1.00)	Py = 0.33	
Iz = (0.78, 0.63, 0.00)	Pz = 0.36	
Momentos de inercia: (kilogramos * metros cuadrados)		
Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas		
Lxx = 0.27	Lxy = -0.12	Lxz = 0.00
Iyx = -0.12	Iyy = 0.22	Iyz = 0.00
Lzx = 0.00	Lzy = 0.00	Lzz = 0.33
Momentos de inercia: (kilogramos * metros cuadrados)		
Medido desde el sistema de coordenadas de salida.		
Ixx = 0.65	Ixy = 0.26	Ixz = 0.00
Iyx = 0.26	Iyy = 0.60	Iyz = 0.00
Izx = 0.00	Izy = 0.00	Izz = 1.09

Figura 9-3: Coordenadas del centro de masa del asiento.

Realizado por: Autores.

3.1.5.1.1 Fuerza de frenado del vehículo.

Se realiza el análisis de la fuerza de frenado que soporta el asiento ergonómico cuando el conductor activa el sistema de freno, esta fuerza se presenta de forma paralela a la trayectoria del vehículo solar y está formada por la componente rectangular en x, sentido contrario al movimiento del vehículo.

$$F_f = m * a$$

Donde:

F_f = Fuerza de frenado del vehículo [N]

m = Masa del vehículo [Kg].

a = Aceleración del vehículo [m/s^2].

$$F_f = m * a$$

$$F_f = (3766.51Kg) * (4,63 m/s^2)$$

$$F_f = 17438,94 N$$

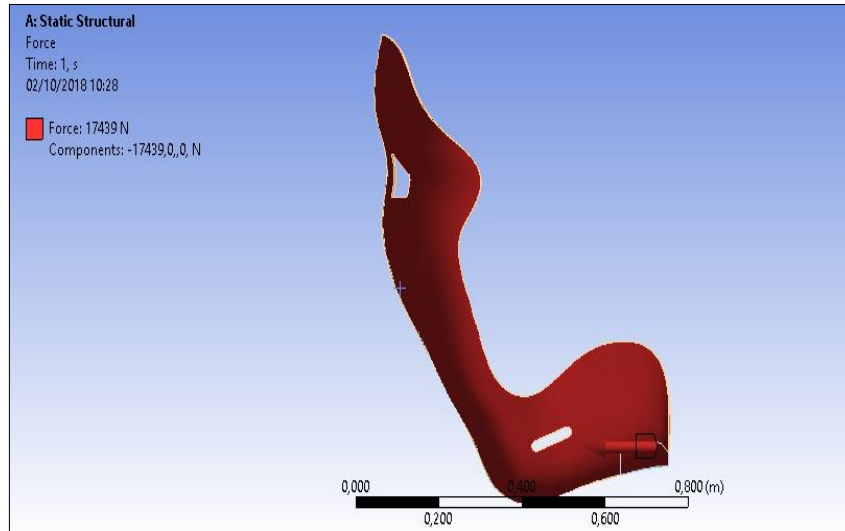


Figura 10-3: Asignación de la fuerza de frenado.

Realizado por: Autores.

3.1.5.1.2 Fuerza centrífuga producida por el piloto.

Se realiza el análisis de la fuerza centrífuga que soporta el asiento ergonómico en una curva, esta fuerza se presenta de forma perpendicular a la trayectoria del vehículo solar y está formada por dos componentes rectangulares como en x, como en y, para este caso de estudio.

$$F_c = \frac{m * v^2}{r}$$

Donde:

F_c = Fuerza centrífuga producida por el piloto [N].

m = Masa del piloto [Kg].

v = Velocidad del vehículo [m/s].

r = Radio de la curva de la pista (Prueba de Autocross) [m].

$$F_c = \frac{m * v^2}{r}$$

$$F_c = \frac{(80kg) * (15,83 m/s)^2}{23 m}$$

$$F_c = 871,61 N$$

Para el cálculo de las componentes respectivas de la fuerza centrífuga para introducir en el programa de análisis y poder realizar la simulación estática del asiento respectivo en el momento exacto, al tomar la curva. Se considera un valor de 2° como inclinación del vehículo solar, cuyo valor corresponde a la inclinación que sufre el sistema de suspensión.

$$F_{c_x} = F_c * \cos 2^\circ$$

$$F_{c_x} = 871,61 N * \cos 2^\circ$$

$$F_{c_x} = 871,07 N$$

$$F_{c_y} = F_c * \sin 2^\circ$$

$$F_{c_y} = 871,61 N * \sin 2^\circ$$

$$F_{c_y} = 30,41 N$$

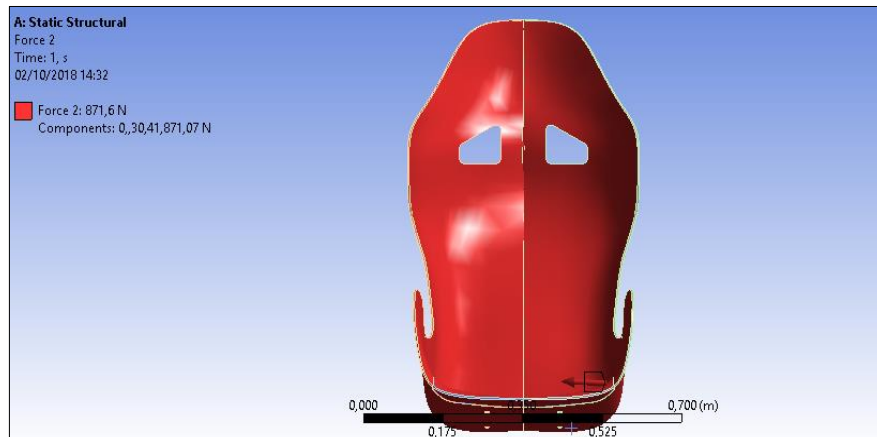


Figura 11-3: Asignación de la fuerza centrífuga.

Realizado por: Autores.

3.1.5.1.3 *Peso del piloto.*

Se realiza el análisis del peso del conductor que soporta el asiento ergonómico en la estructura, esta fuerza se presenta de forma perpendicular a la trayectoria del vehículo y está formada por dos componentes rectangulares como en (x), y en (y), para este caso de estudio se presenta de la siguiente manera.

$$W = m * g * k$$

Donde:

W = Peso del piloto [N].

m = Masa del piloto [Kg].

g = Gravedad [m/s^2].

k = Factor de aceleración "1,5".

W_a = Peso del piloto sobre el respaldo del asiento [N].

W_e = Peso del piloto sobre el asiento [N].

$$W = m * g * k$$

$$W = (80kg) * (9,81m/s^2) * (1,5)$$

$$W = 1177,2 N$$

Componentes rectangulares del peso del piloto.

$$\cos(60^\circ) = \frac{W_a}{W}$$

$$\cos(60^\circ) = \frac{W_a}{1177,2 N}$$

$$W_a = 588,6 N$$

$$\text{sen}(60^\circ) = \frac{W_e}{W}$$

$$\text{sen}(60^\circ) = \frac{W_e}{1177,2 N}$$

$$W_e = 1019,48 N$$

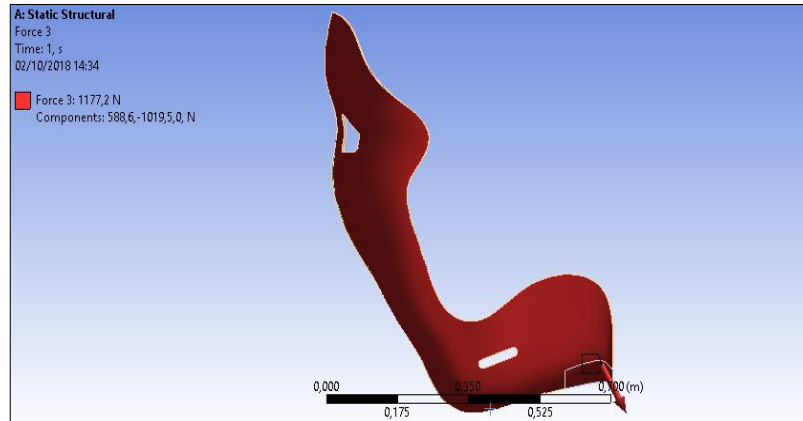


Figura 12-3: Asignación del peso del conductor.

Realizado por: Autores.

3.1.5.1.4 Presión ejercida por el piloto (P_e).

Se realiza el análisis de presión que se produce sobre el asiento ergonómico durante la trayectoria del vehículo, esta fuerza está formada por dos componentes rectangulares una perpendicular al espaldar y otra la otra a la base de la butaca.

$$P_e = \frac{w}{A_e}$$

Donde:

P_e = Presión sobre el espaldar [$Pa.$].

w = Peso del piloto [N].

A_e = Superficie del espaldar en contacto con el piloto [m^2].

$$P_e = \frac{w}{A_e}$$

$$P_e = \frac{1177,2 N}{0,7281 m^2}$$

$$P_e = 1616,81 Pa$$

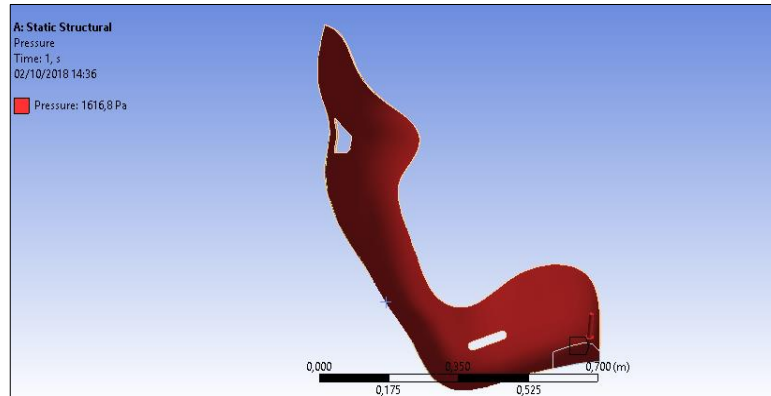


Figura 13-2: Asignación de la presión ejercida por el piloto.

Realizado por: Autores.

NOTA: Los valores para el cálculo de las cargas para la validación en ANSYS han sido obtenidas a partir de la normativa que rige la competencia CSA, las mismas que son las máximas permitidas dependiente del tipo de prueba a la que el vehículo se verá sometido.

3.1.5.1.5 Momentos de torsión generada por la fuerza centrífuga (Mt_{FC}).

Se realiza el análisis del momento torsor generado por la presencia de la fuerza centrífuga que soporta el asiento ergonómico en una curva.

$$Mt_{x_{FC}} = F_{c_x} * X$$

$$Mt_{y_{FC}} = F_{c_y} * Y$$

Donde:

$Mt_{x_{FC}}$ = Momento de torsión respecto al eje X [$N \cdot m$].

$Mt_{y_{FC}}$ = Momento de torsión respecto al eje Y [$N \cdot m$].

F_{c_x} = Fuerza centrífuga respecto al eje X [N].

F_{c_y} = Fuerza centrífuga respecto al eje Y [N].

X = Coordenada del centro de masa en X [m].

Y = Coordenada del centro de masa en Y [m].

$$Mt_{x_{FC}} = F_{c_x} * X$$

$$Mt_{x_{FC}} = (871.07 N) * (0,244 m)$$

$$Mt_{x_{FC}} = 212,54 N \cdot m$$

$$Mty_{Fc} = Fc_y * Y$$

$$Mty_{Fc} = (30,41 N) * (0,344 m)$$

$$Mty_{Fc} = 10,46 N.m$$

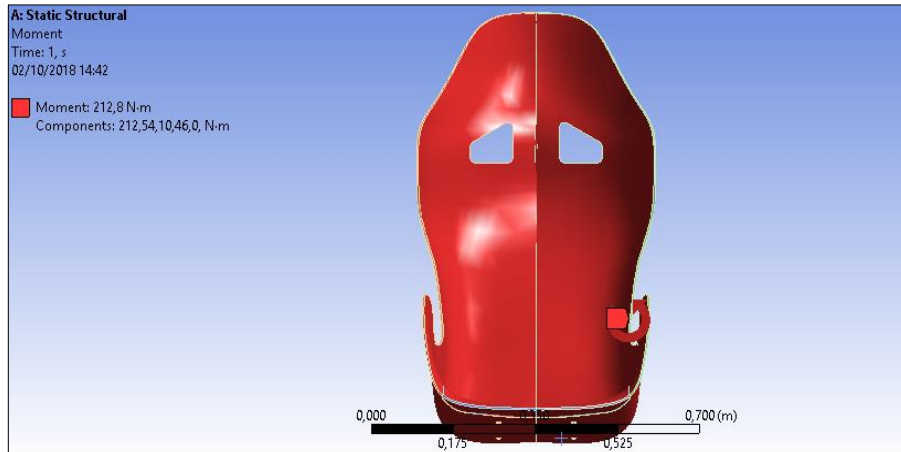


Figura 14-3: Asignación del momento torsor.

Realizado por: Autores.

3.1.5.1.6 Momento de flexión generado por la fuerza de frenado (Mf_{Ff}).

Se realiza el análisis del momento de flexión generado por la fuerza de frenado o aceleración que soporta el asiento ergonómico durante el ciclo de conducción.

$$Mf_{Ff} = F_f * Y$$

Donde:

Mf_{Ff} = Momento de flexión respecto al eje Y [$N.m$].

F_f = Fuerza de frenado [N].

Y = Coordenada del centro de masa [m].

$$Mf_{Ff} = F_f * Y$$

$$Mf_{Ff} = (17438,94 N) * (0,344 m)$$

$$Mf_{Ff} = 5998,99 N.m$$

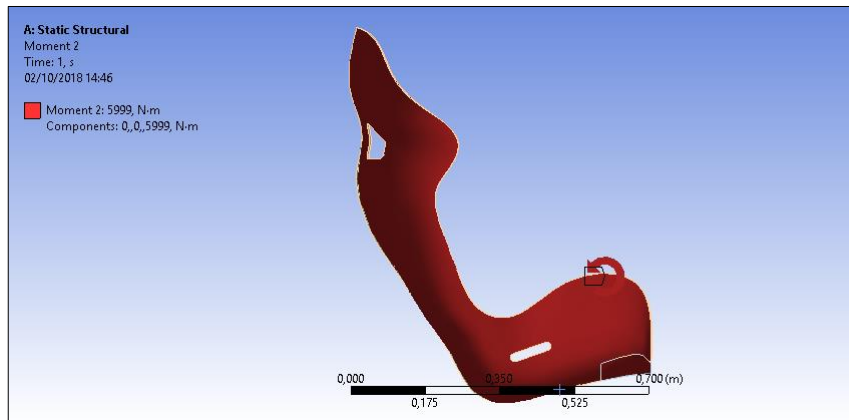


Figura 15-3: Asignación del momento flector.

Realizado por: Autores.

3.1.6 Simulación.

Para realizar los ensayos de resistencia en asientos es necesario construir un banco de pruebas que permita verificar dentro de un laboratorio si se detectan defectos en el diseño, selección de material, carencia en ergonomía y antropometría, lo cual es laborioso y muy costoso dentro de nuestro medio. Por ello para la fase de desarrollo se suelen utilizar programas computacionales que permitan cálculos por métodos numéricos en este caso un Static Structural en Ansys, lo cual permite realizar cálculos y estudios de manera rápida reduciendo costes en relación con la fabricación y ensayos reales en el banco de ensayos de asientos.

3.1.7 Análisis de resultados

Se realiza el análisis estructural en el asiento porque es una de las partes principales del vehículo que permite absorber y soportar directamente todas las fuerzas, presiones y momentos generados por acción del conductor, para lo cual la simulación arroja los siguientes resultados que son analizados a continuación:

3.1.7.1 Diagrama de deformación total.

Los valores de la deformación total obtenidos en la simulación del análisis estructural (Figura 16-3). Para obtener la deformación se aplica a todos los componentes de

sistema llegando a tener una deformación máxima de 357,39 mm ubicado en la parte superior del asiento ergonómico específicamente en la zona de contacto con el casco de seguridad llegando a tener una rigidez que impide su deformación de manera teórica.

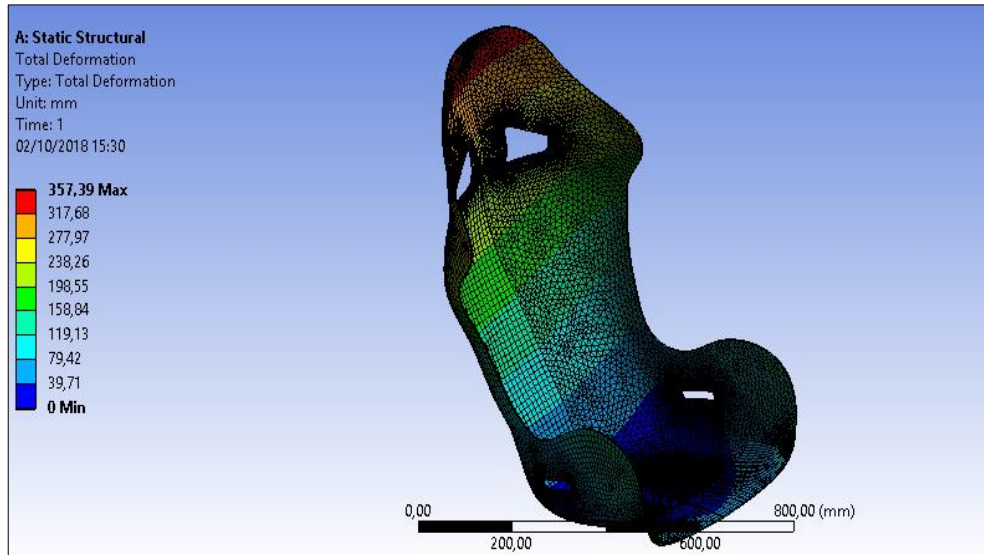


Figura 16-3: Resultado de la deformación total en el asiento.

Realizado por: Autores.

3.1.7.2 *Diagrama de tensiones de VON-MISSES.*

Tensión de Von Mises es ampliamente utilizado para comprobar si el diseño puede soportar las condiciones de contorno asignadas al modelo geométrico. En la (Figura 17-3), se muestra los resultados y la distribución de tensiones causadas por los esfuerzos axiales aplicado en la superficie del asiento ergonómico.

El valor máximo de la tensión es de 30591 MPa. Por lo tanto, el conjunto ergonómico soportará el esfuerzo cuando se toma una curva y aparecen todas las condiciones de contorno extremas que se presentan para el análisis.

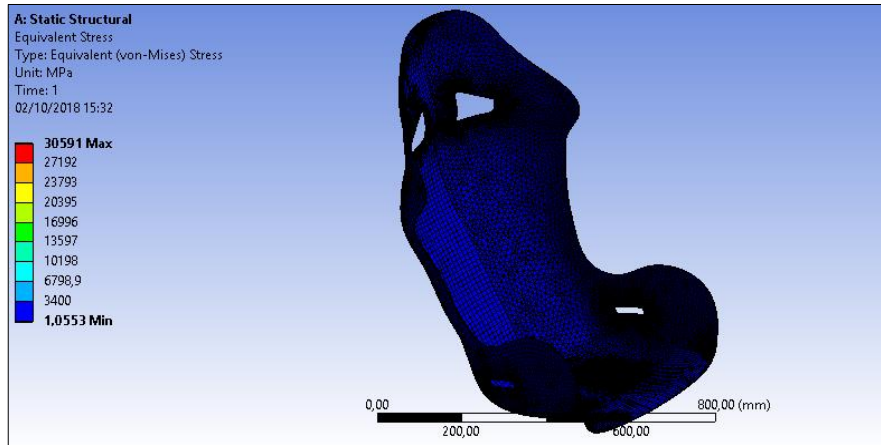


Figura 17-3: Resultado del esfuerzo de Von Mises en el asiento.

Realizado por: Autores.

3.1.7.3 Diagrama del esfuerzo máximo.

El valor resultante del esfuerzo máximo obtenido en la simulación estructural, se compara con el límite de fluencia de la fibra de carbono empleado en el asiento ergonómico.

El esfuerzo máximo obtenido en la simulación es de 23012 MPa el cual está ubicado cerca de los agujeros para el arnés de seguridad, debido a que en este punto es donde más esfuerzo sufre el material en caso de un accidente de tránsito. Llegando a ser aceptable debido a que no sufre fractura.

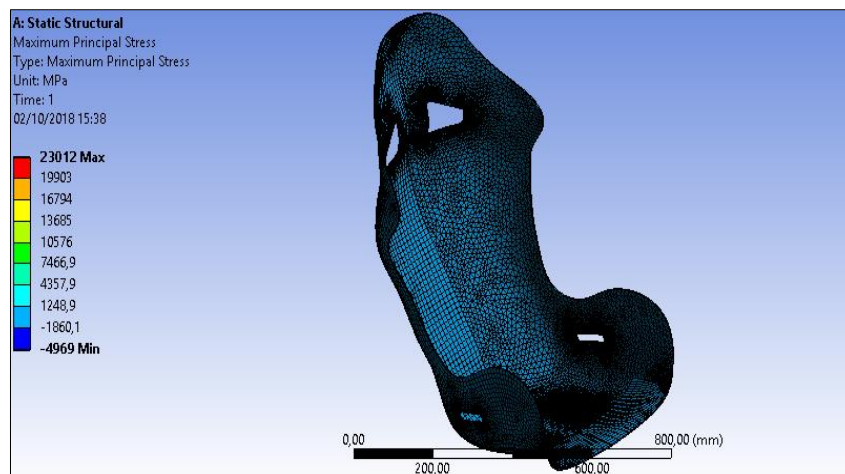


Figura 18-3: Resultado del esfuerzo máximo sobre el asiento.

Realizado por: Autores.

3.1.7.4 Diagrama del factor de seguridad.

Al reducir el espesor del asiento, buscábamos reducir peso como la cantidad de material empleado para su fabricación, y por lo tanto hemos obtenido un factor de seguridad considerable y adecuada para el diseño.

El valor del factor de seguridad máximo encontrado en la simulación a lo largo del conjunto ergonómico es de 15 y un valor mínimo de 0,13076, lo que significa que podría soportar un esfuerzo 15 veces mayor del que está asignado en la simulación (Figura 19-3). Este valor es perfectamente confiable ya que presenta un margen de trabajo adecuado cuando el asiento sea expuesto a las condiciones de contorno que se generan durante la competencia, evitando llegar a alcanzar algún tipo de fallo o fractura en el material mismo.

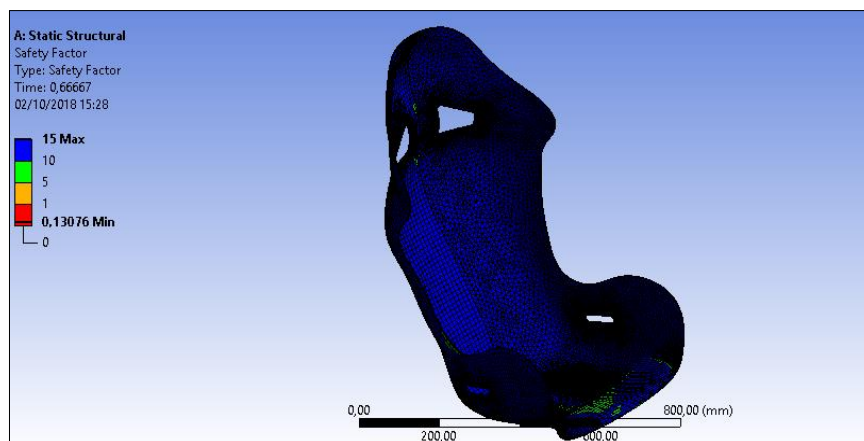


Figura 19-3: Resultado del factor de seguridad en el asiento.

Realizado por: Autores.

3.2 Diseño de la cubierta del habitáculo.

Para el diseño de la cubierta del habitáculo es importante tener en cuenta factores establecidos en el reglamento CSA, por ejemplo: visión del piloto, trasera y de los laterales, altura mínima del vehículo, espacio del habitáculo, montaje, fabricación, y un diseño aerodinámico para reducir los coeficientes de sustentación y arrastre. En este trabajo de titulación se pretende realizar un análisis aerodinámico a toda la carrocería y determinar el comportamiento que tendrá el mismo durante la competencia.

3.2.1 Parámetros de diseño de la Cubierta del habitáculo.

La cubierta del habitáculo es una superficie del vehículo que se apoya sobre el bastidor y que cubre toda el área donde alberga en su interior al conductor; en el vehículo solar tiene exclusivamente la misión de estética y aerodinámica.

Se consideran tres funciones principales que debe cumplir la cubierta.

- Proteger al conductor y brindar una apariencia estética.
- Dotar al vehículo de un aspecto aerodinámico.
- Brindar una visión delantera clara al conductor.

3.2.2 Variables de diseño.

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

3.2.2.1 Peso.

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

3.2.2.2 Aerodinámica del vehículo.

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

3.2.3 *Diseño CAD de la cubierta del habitáculo.*

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

- Selección de plano 2D y creación de boceto.
- Modelado geométrico de la cubierta del habitáculo.
- Superficies para cubrir el área total de la cubierta.
- Obtención del modelado final de la Cubierta.

Para el diseño final de la cubierta del habitáculo se optó por realizar dos diseños y verificar que cubierta obtenía mejores coeficientes de arrastre y sustentación, gracias al software computacional Ansys se pudo obtener los siguientes valores.

3.2.3.1 *Diseño de la cubierta 1.*

En la siguiente (Figura 20-3) se observa el modelado inicial de la cubierta del habitáculo para el vehículo de competencia.

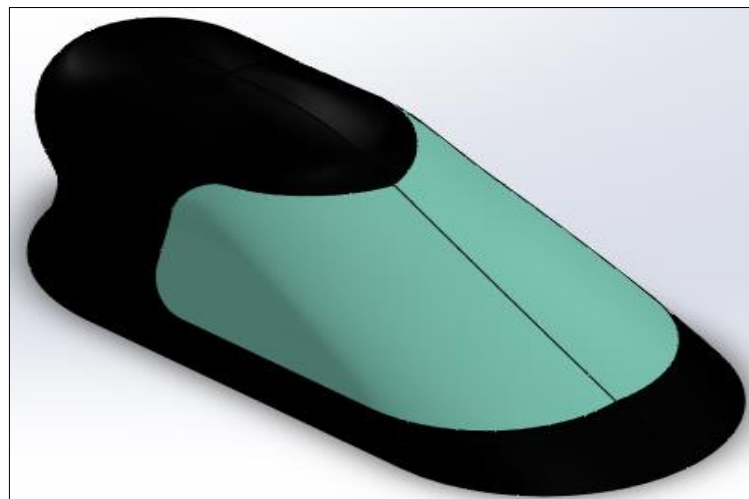


Figura 20-3: Diseño inicial de la cubierta del habitáculo.

Realizado por: Autores.

Una vez realizado el procedimiento para realizar el análisis aerodinámico del primer diseño de la cubierta del habitáculo, se obtuvo los siguientes valores de coeficiente de arrastre y sustentación como se indican en la siguiente Tabla 4-3.

Tabla. 4-3: Coeficiente de Arrastre y Sustentación.

Coeficiente de arrastre (Cd)	Coeficiente de sustentación (Cl)
$Cd = -4.5664e-01$	$Cl = 3.9573e-01$

Fuente: Ansys.

Realizado por: Autores.

También se obtuvo los valores de la fuerza de arrastre y sustentación, que son los que se indican en la siguiente Tabla.

Tabla. 5-3: Fuerza de Arrastre y Sustentación.

Fuerza de Arrastre (Fd)	Unidad	Fuerza de Sustentación (Fl)	Unidad
$Fd = - 2.1581e+02$	Newton	$Fl = 1.8703e+02$	Newton

Fuente: Ansys.

Realizado por: Autores.

En las figuras se puede obtener una animación de partículas de aire alrededor del vehículo a una velocidad de 100 Km/h.

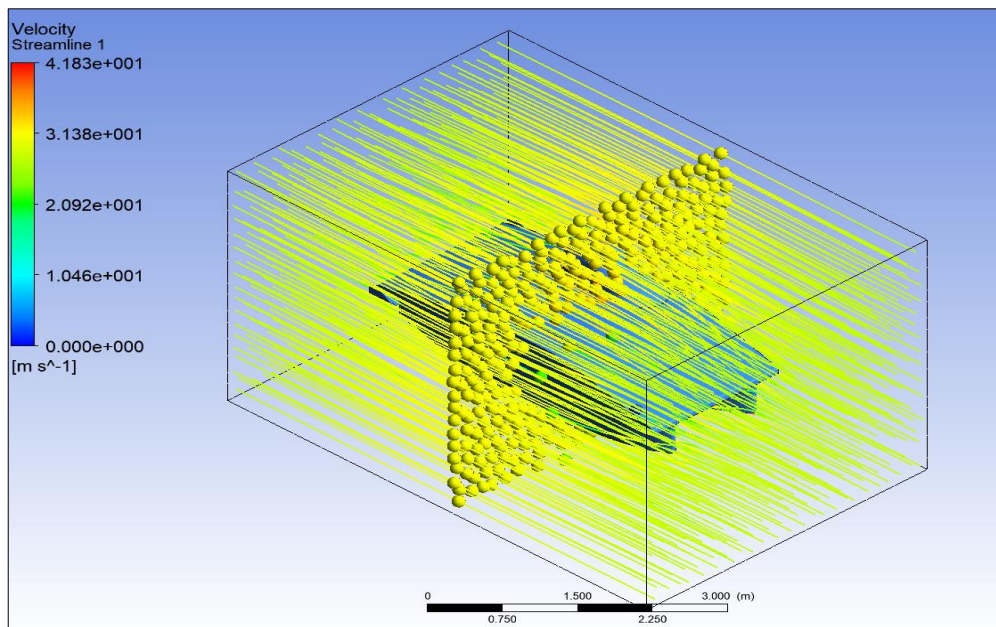


Figura 21-3: Animación de partículas de aire sobre la carrocería del vehículo.

Realizado por: Autores.

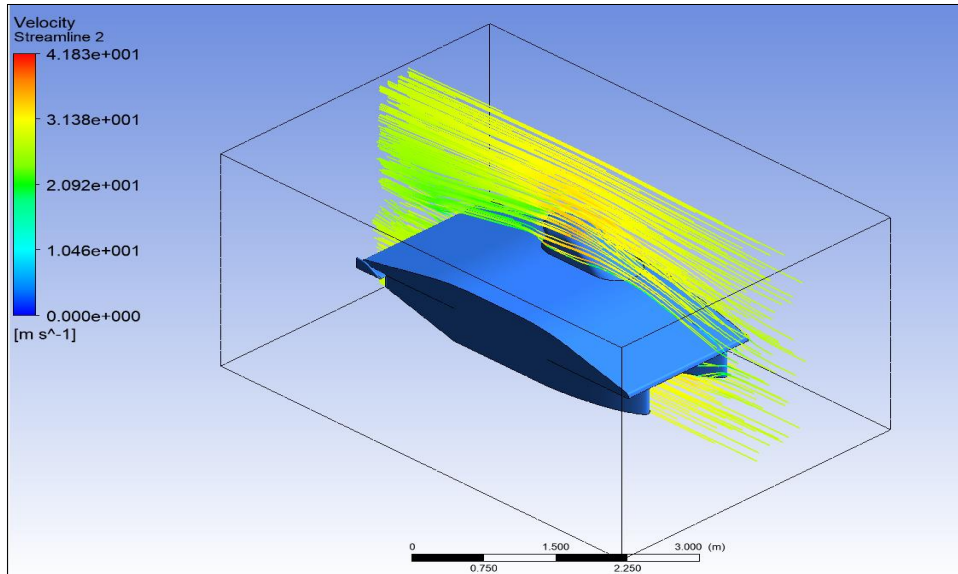


Figura 22-3: Animación de partículas de aire en la sección de la cubierta del habitáculo.

Realizado por: Autores.

Resultados: En la (Figura 22-3), se puede apreciar que existe turbulencia en la parte posterior de la cubierta, esto se debe al diseño curvo, en donde al pasar las partículas de aire por este sector, una cantidad mínima de partículas se queda en dicho sector, generando remolinos de viento, lo que representaría una inestabilidad del vehículo.

3.2.3.1.1 Los resultados de presión y velocidad obtenidos del diseño de la cubierta 1 son los siguientes:

En la (Figura 23-3), se aprecia que la mayor presión que se genera en el vehículo al desplazarse, es toda la parte frontal del mismo, debido que está presenta resistencia al movimiento del aire, entre mayor sea el área frontal mayor será la presión, en nuestro estudio obtuvimos los siguientes valores, presión máxima $5.504 \times 10^{-2} \text{ Pa}$, presión mínima $-1.550 \times 10^{-3} \text{ Pa}$.

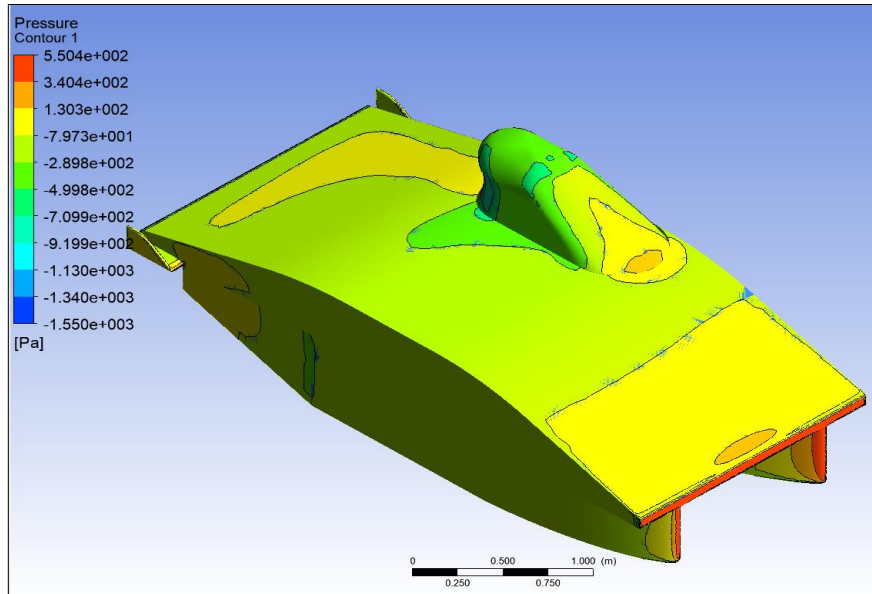


Figura 23-3: Análisis de la presión ejercida por la fuerza de aire sobre la carrocería.

Realizado por: Autores.

En la (Figura 24-3), podemos apreciar que la velocidad del aire que se genera sobre la superficie de la carrocería es mínima, teniendo como velocidad máxima $4.183 \times 10^+1$ m/s. y la velocidad mínima cero.

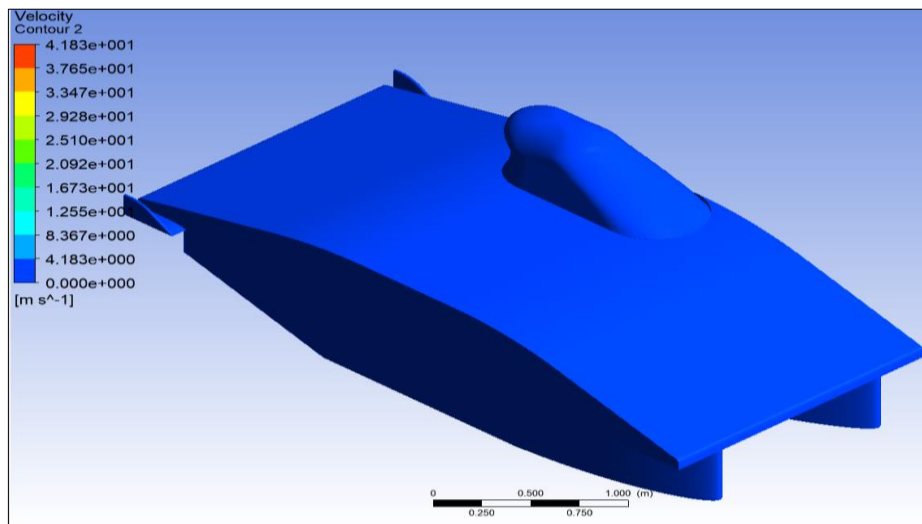


Figura 24-3: Velocidad del aire sobre la superficie de la carrocería.

Realizado por: Autores.

3.2.3.2 *Diseño de la cubierta 2.*

En la (Figura 25-3) se observa el modelado final de la cubierta del habitáculo para el vehículo de competencia CSA, el mismo que nos dio mejores resultados en la simulación aerodinámica realizado en el software computacional Ansys.

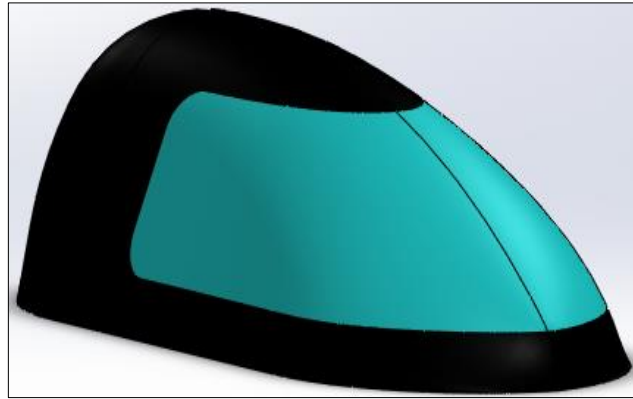


Figura 25-3: Diseño final de la cubierta del habitáculo.

Realizado por: Autores.

3.2.3.2.1 *Análisis Aerodinámico.*

La cubierta del habitáculo forma parte de la carrocería del vehículo y el diseño de la misma es de suma importancia ya que cuestiones como las prestaciones, la estabilidad, la adherencia al suelo y el consumo de combustible dependen de la forma de la carrocería y de su aerodinámica que se encarga de estudiar los fenómenos que se originan cuando existe movimiento relativo entre un sólido (el vehículo) y el fluido gaseoso que lo rodea, para lo cual, es importante considerar los parámetros de la (Tabla 3-6).

Tabla. 6-3: Parámetros para el análisis aerodinámico.

Parámetros	Valor	Fuente
Velocidad del vehículo	27.778 m/s	Reglamento CSA
Velocidad del viento	70.13 m/s	Simulación en Ansys
Tipo de Acabado del vehículo	Liso	Autor

Fuente: Ansys.

Realizado por: Autores.

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

Posteriormente se construye el túnel de viento en el cual se va a realizar el análisis aerodinámico, el resultado se muestra en la (Figura 26-3).

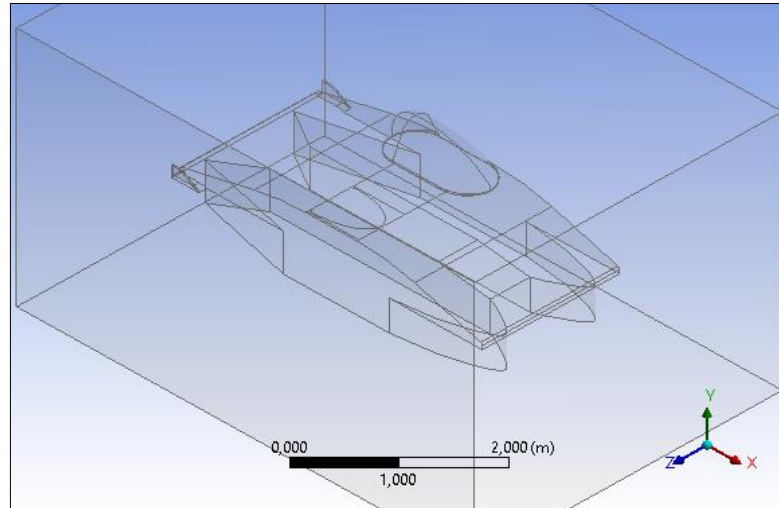


Figura 26-3: Túnel de viento.

Realizado por: Autores.

Como ANSYS trabaja con un análisis de elementos finitos, en primer lugar, es necesario realizar el mallado de los componentes, con los siguientes parámetros:

Tabla. 7-3: Parámetros para realizar el mallado de la geometría.

Condiciones de entrada	
Tipo de malla	Fina
Nodos	704891
Elementos	4001681
Tipo de elemento	Triangular
Malla máxima	0,99992
Malla promedio	0,84779
Malla mínima	8,5017e-003

Fuente: Ansys.

Realizado por: Autores.

Con los parámetros ingresados se obtiene un mallado como se detalla en las siguientes figuras.

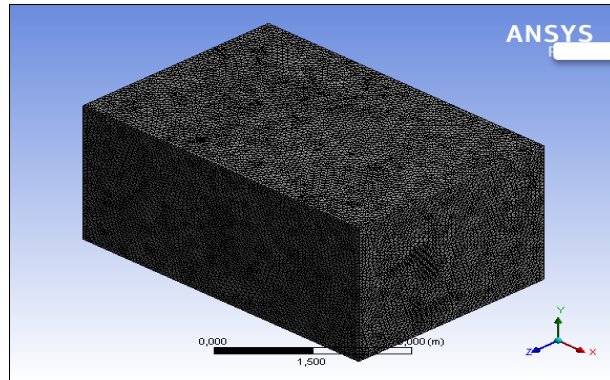


Figura 27-3: Mallado de la carrocería del vehículo CSA.

Realizado por: Autores.

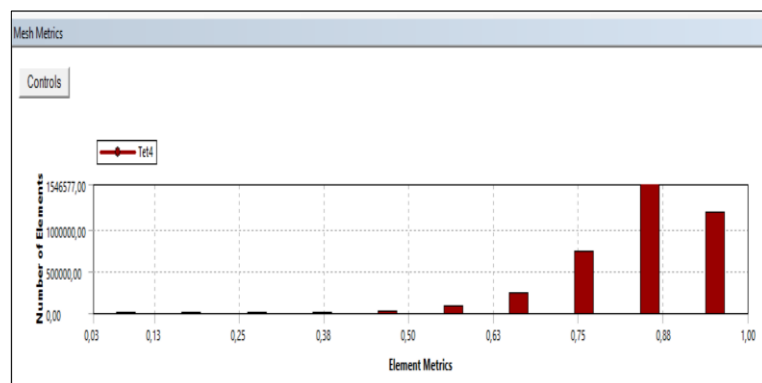


Figura 28-3: Métrica del mallado.

Realizado por: Autores.

Una vez culminado el mallado de la carrocería se debe configurar en el software los parámetros necesarios para realizar el análisis aerodinámico que se detallan en la (Tabla 8-3). Obteniendo las fuerzas y los coeficientes de sustentación y arrastre respectivamente, para determinar el número de Reynolds, Por último, se debe ejecutar la simulación del análisis e interpretar los resultados obtenidos.

Tabla. 8-3: Parámetros para realizar el análisis aerodinámico.

Datos de entrada para la simulación	
Presión de referencia	1 atm
Temperatura del fluido	303°k
Modelo de la turbulencia	K-épsilon
Velocidad	27,778 m/s
Número de iteraciones	40

Fuente: Ansys.

Realizado por: Autores.

Una vez introducidos los datos al software, se procede a realizar un análisis a 40 iteraciones donde se puede apreciar que la curva (coeficiente de arrastre – número de interacciones) y la curva (coeficiente de sustentación – número de interacciones) se estabilizan como se indica en las siguientes (Figuras 29-3).

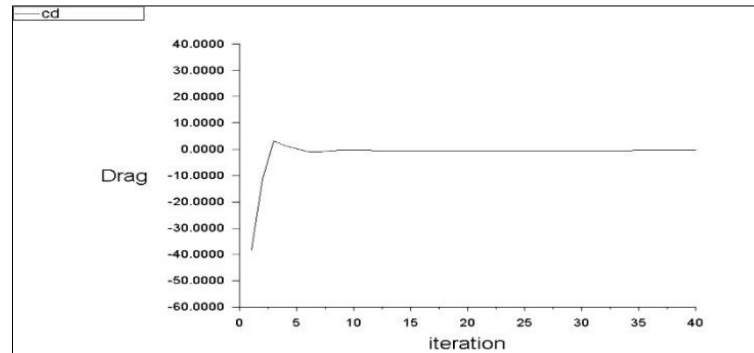


Figura 29-3: Gráfica del coeficiente de arrastre Cd.

Realizado por: Autores.

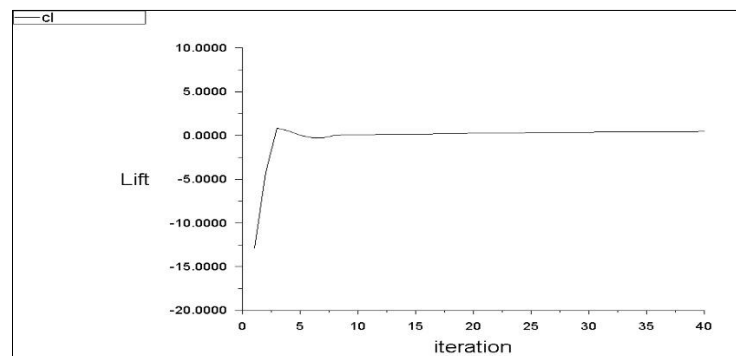


Figura 30-3: Gráfica del coeficiente de sustentación Cl.

Realizado por: Autores.

Los resultados de coeficiente de arrastre Cd y coeficiente de sustentación Cl obtenidos por el software se detallan en la siguiente Tabla 9-3.

Tabla. 9-3: Coeficiente de Arrastre y Sustentación.

COEFICIENTE DE ARRASTRE (Cd)	COEFICIENTE DE SUSTENTACIÓN (Cl)
Cd = -4.4388e-01	Cl = 4.5502e-01

Fuente: Ansys.

Realizado por: Autores.

Las curvas de las fuerzas de arrastre F_d y sustentación F_l obtenidas por el software computacional a 40 iteraciones se indican en las siguientes Figura.

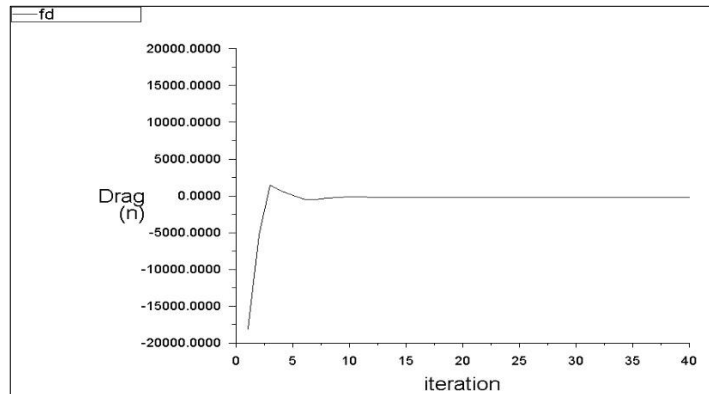


Figura 31-3: Gráfica de la fuerza de arrastre F_d .

Realizado por: Autores.

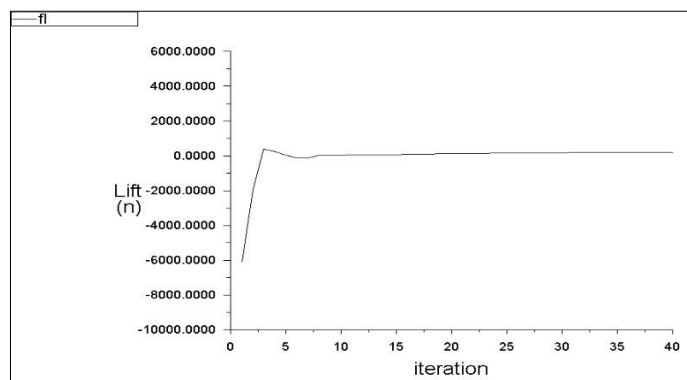


Figura 32-3: Gráfica de la fuerza de sustentación F_l .

Realizado por: Autores.

Los resultados de la fuerza de arrastre F_d y de sustentación F_l obtenidos por el software computacional son los siguientes.

Tabla. 10-3: Fuerza de Arrastre y Sustentación.

Fuerza de Arrastre (F_d)	Unidad	Fuerza de Sustentación (F_l)	Unidad
$F_d = - 2.0978e+02$	Newton	$F_l = 2.1505e+02$	Newton

Fuente: Ansys.

Realizado por: Autores.

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

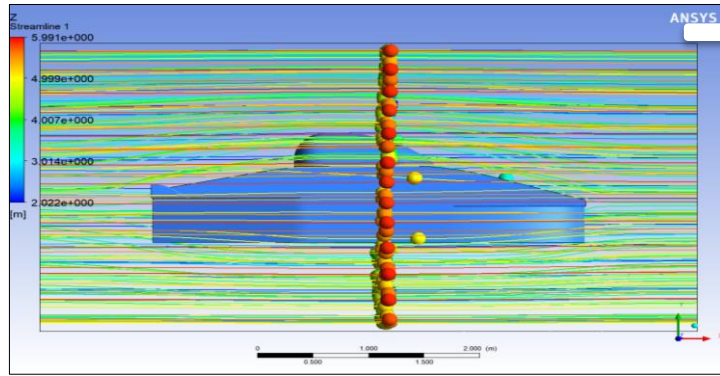


Figura 33-3: Animación de partículas de aire, Vistas lateral.

Realizado por: Autores.

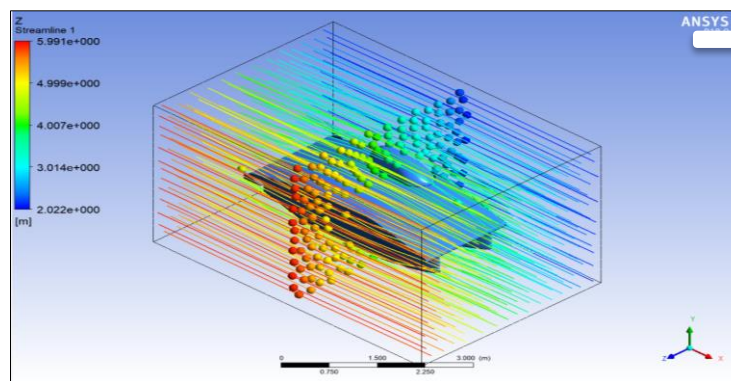


Figura 34-3: Animación de partículas de aire vista isométrica.

Realizado por: Autores.

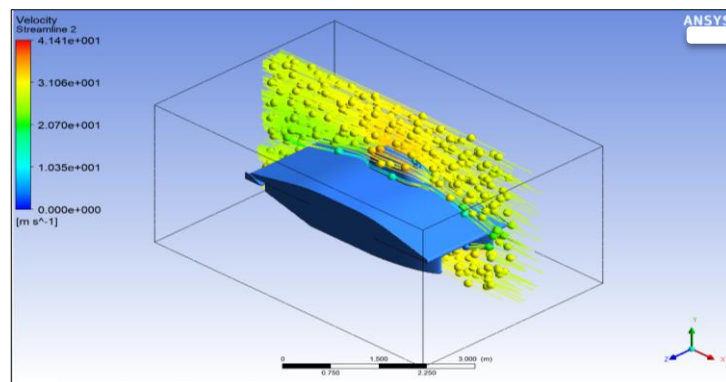


Figura 35-3: Animación de las partículas de aire.

Realizado por: Autores.

3.2.3.2.1.1 Presión.

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

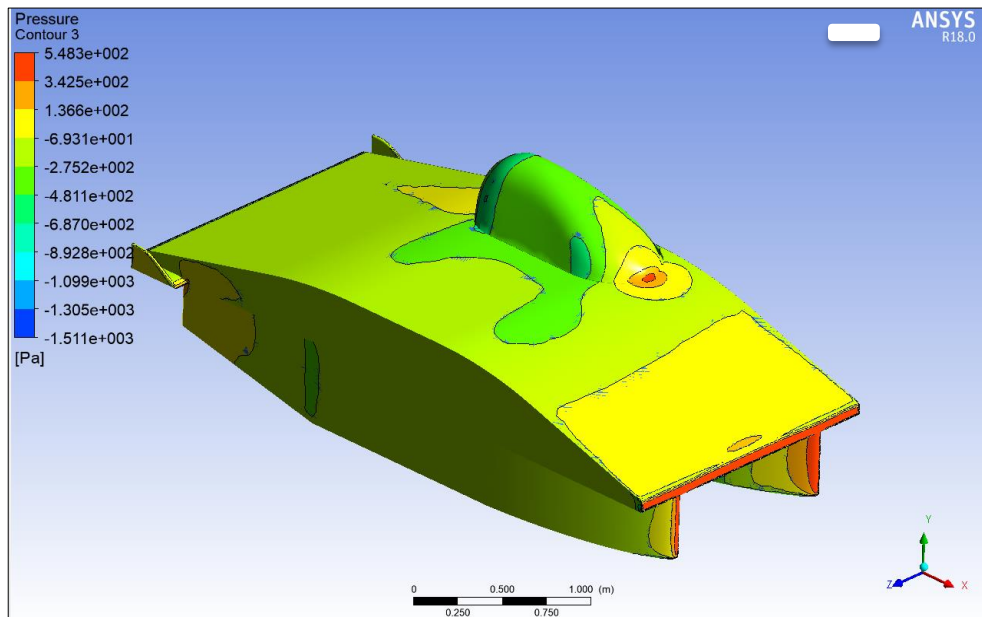


Figura 36-3: Análisis de presión de aire sobre la carrocería.

Realizado por: Autores

Resultado: En la (Figura 36-3), se puede apreciar que la presión máxima se produce en la parte frontal del vehículo en las zonas pintadas de rojo y es igual a $5.483 \times 10^+2 \text{ Pa}$; la presión mínima es de $-1.511 \times 10^+3 \text{ Pa}$.

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

3.2.3.2.1.2 Velocidad:

En la (Figura 37-3), podemos apreciar que la velocidad del aire que se genera sobre la superficie de la carrocería es mínima, teniendo como velocidad máxima $4.141 \times 10^+1 \text{ m/s}$. y la velocidad mínima cero.

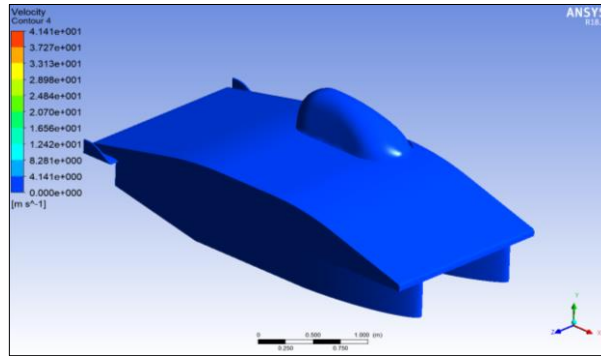


Figura 37-3: Análisis de la velocidad en la carrocería del vehículo.

Realizado por: Autores.

3.2.4 Cálculos Aerodinámicos.

Para el cálculo aerodinámico, se requiere valores de densidad y viscosidad dinámica del aire, dichas propiedades del flujo de aire las encontraremos en la siguiente (Tabla 11-3).

Tabla. 11-3: Propiedades del Aire a 1 atm de presión.

PROPIEDADES DEL AIRE A 1 ATM DE PRESIÓN.	
Temperatura T. °C	30
Densidad ρ , kg/m^3	1,164
Viscosidad dinámica μ , $kg/m * s$	1.872×10^{-5}

Fuente: (Cengel., 2006 pág. 894)

Realizado por: Autores

3.2.4.1 Número de Reynolds.

$$Re_L = \frac{\rho V L}{\mu}$$

$$Re_L = \pi r^2 = \frac{(1.164 kg/m^3) * (27,778 m/s) * (4m)}{(1.872 \times 10^{-5} kg/m * s)}$$

$$Re_L = 6908887,179$$

$$Re_L = 6,9 \times 10^6$$

$$6,9 \times 10^6 \geq 10^5 \text{ Flujo Turbulento}$$

3.2.4.2 *Número de mach.*

$$Ma = \frac{V}{V_s}$$
$$V_s = \sqrt{(K * R * T)}$$
$$Ma = \frac{27,778 \text{ m/s}}{\sqrt{(1,4) * (287 \text{ J/kg.K}) * (303 \text{ K})}}$$
$$Ma = 0,079$$

0,079 ≤ 0,3 Fluido incompresible

3.2.4.3 *Coeficiente de resistencia y sustentación aerodinámica.*

3.2.4.3.1 *Coeficiente de resistencia aerodinámica Cd.*

$$C_d = \frac{F_d}{\frac{1}{2} * \rho * V^2 * A}$$
$$C_d = \frac{-2,093 \times 10^2 \text{ N}}{\frac{1}{2} * (1,164 \text{ kg/m}^3) * (27,778 \text{ m/s})^2 * (1,05 \text{ m}^2)}$$
$$C_d = -0,4438$$

3.2.4.3.2 *Coeficiente de sustentación aerodinámica.*

$$C_l = \frac{F_l}{\frac{1}{2} * \rho * V^2 * A}$$
$$C_d = \frac{2,145 \times 10^2 \text{ N}}{\frac{1}{2} * (1,164 \text{ kg/m}^3) * (27,778 \text{ m/s})^2 * (1,05 \text{ m}^2)}$$
$$C_l = 0,4548$$

3.2.4.4 *Fuerzas de Arrastre y sustentación.*

3.2.4.4.1 Fuerza de arrastre o Resistencia aerodinámica.

$$F_d = \frac{1}{2} C_d * \rho * V^2 * A$$

$$F_d = \frac{1}{2} (-4,4388 \times 10^{-1}) * (1,164 \text{ kg/m}^3) * (27,778 \text{ m/s})^2 (1,05 \text{ m}^2)$$

$$F_d = -2,093 \times 10^2 \text{ Newton}$$

3.2.4.4.2 Fuerza de sustentación o Carga aerodinámica.

$$F_l = \frac{1}{2} C_l * \rho * V^2 * A$$

$$F_l = \frac{1}{2} (4,5502 \times 10^{-1}) * (1,164 \text{ kg/m}^3) * (27,778 \text{ m/s})^2 (1,05 \text{ m}^2)$$

$$F_l = 2,145 \times 10^2 \text{ Newton}$$

3.2.4.5 Fineza.

$$f = \frac{F_l}{F_d} = \frac{C_l}{C_d}$$

$$f = \frac{2,145 \times 10^2 \text{ Newton}}{-2,093 \times 10^2 \text{ Newton}}$$

$$f = 1,024$$

Conclusión: Una vez realizado el diseño de las dos cubiertas del habitáculo y sus respectivos análisis aerodinámicos, se obtuvo los siguientes valores de coeficiente de sustentación y arrastre como se indican en la siguiente tabla.

Tabla. 12-3: Coeficientes de arrastre y sustentación de las dos cubiertas del habitáculo.

DISEÑO	COEFICIENTE DE ARRASTRE (Cd)	COEFICIENTE DE SUSTENTACIÓN (Cl)
Cubierta 1	Cd = -4.5664e-01	Cl = 3.9573e-01
Cubierta 2	Cd = -4.4388e-01	Cl = 4.5502e-01

Fuente: Ansys.

Realizado por: Autores.

Es evidente que se obtiene un mejor coeficiente de arrastre en la cubierta 2, es una cantidad mínima, pero esto va a permitir que el vehículo pueda fluir con mayor facilidad al momento de realizar ciclos de conducción.

Es importante recalcar que la cubierta 1 genera mayor turbulencia, lo que representa un factor negativo para el diseño final de la carrocería, es por ello que se optó por el diseño de la cubierta 2, en esta cubierta la turbulencia era mucho menor, lo que significa que es la cubierta adecuada para el vehículo Solar Atacama.

CAPÍTULO IV

4 CONSTRUCCIÓN DEL ASIENTO Y LA CUBIERTA DEL HABITÁCULO.

4.1 Presupuesto.

Para el Diseño construcción e implementación del trabajo de titulación se consideraron las mejores ofertas, teniendo en cuenta la calidad, eficiencia y tecnología. Los costos directos corresponden a los elementos que influyen directamente en la instalación, y los costos indirectos a los asignados a materiales y recursos secundarios.

4.1.1 Costos directos.

Específicamente son los gastos empleados en el proyecto en forma directa como es: materiales, materia prima, mano de obra, etc. En la Tabla se detallan los costos de materiales y mano de obra que se emplearon en la construcción del asiento en fibra de carbono y la cúpula del prototipo solar.

Tabla 1-4: Costos directos para la construcción de un habitáculo.

COSTOS DIRECTOS			
Cantidad	Descripción	Costo Unitario [USD]	Costo Total [USD]
1	Molde de la cúpula	160,00	160,00
1	Molde del asiento	100,00	100,00
1	Probetas de ensayo	80,00	80,00
1	Ensayo mecánicos	28,00	28,00
13	Fibra de carbono (13m)	55,00	715,00
13	Resina epóxicas (Kg)	25,00	325,00
1	Cinturón de seguridad.	80,00	80,00
2	Planchas de MDF	13,00	26,00
3	Fibra de vidrio (3m)	6,00	18,00
4	Espuma de poliuretano	8,00	32,00

Tabla 1-4: Continuación

1	Acrílico	150,00	150,00
1	Rieles de asientos	50,00	50,00
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
3	Brochas	5,75	17,25
2	Rodillos epóxicos	8,00	16,00
1	Reductor epóxicos (gal)	18,00	18,00
1	Vasos de medidas	4,00	4,00
1	Juego de espátulas plásticas	2,50	2,50
1	Amortiguador de gas	20	20
2	Planchas de policarbonato	15	30
		Total	1882,25

Fuente: Autores.

Realizado por: Autores.

4.1.2 Costos indirectos

Estos gastos no intervienen directamente en la ejecución del presente proyecto estos gastos no son cuantificables ni medibles por tal razón se realiza una aproximación de las cantidades a utilizar.

Tabla 2-4: Costos indirectos de un habitáculo para el prototipo solar.

COSTOS INDIRECTOS			
Cantidad	Descripción	Costo Unitario [USD]	Costo Total [USD]
1	Impresiones	100,00	100,00
1	Empastado	50,00	50,00
1	Transporte, alimentación, estadía	250,00	250,00
1	Otros gastos	214,25	215,25
TOTAL			615,25

Fuente: Autores.

Realizado por: Autores.

4.1.3 Costos totales.

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

Tabla 3-4: Costos totales de un habitáculo para el prototipo solar.

COSTO TOTAL DEL PROYECTO DE TITULACIÓN	
Costos Directos	1885,25
Costos Indirectos	615,25
TOTAL	2500,50

Fuente: Autores.

Realizado por: Autores.

4.2 Construcción del asiento.

Para la elaboración del asiento, el primer paso fue construir un molde en fibra de vidrio, el cual será utilizado como base para realizar la fundición de la fibra de carbono.

Para la creación del prototipo se realizará de manera artesanal, la estratificación manual es utilizada como método de manufactura ya que es un método práctico y sencillo para la fabricación de elementos automotrices utilizando materiales compuestos.

4.2.1 Manufactura del asiento ergonómico.

Hoy en día, diseñadores de diversas compañías e industrias utilizan diversos métodos para validar y evaluar sus diseños y propuestas. Tal es el caso de Fiat Company, que aplica el método mock-up que básicamente consiste en la fabricación de un modelo a escala real o prototipo del elemento en desarrollo para obtener críticas y comentarios del diseño directamente desde los usuarios.

Se opta utilizar este método como el más apropiado para llevar a cabo el proyecto, debido a la indisponibilidad de la estructura metálica del vehículo, por lo que se procede a construir uno con elementos de madera para generar el mock-ups necesario para el asiento, como se indica en la (Figura 1-4) (Manotoa Labre, y otros, 2016).



Figura 1-4: Mock-up para la construcción del molde en fibra de vidrio para el asiento.

Realizado por: Autores.

Una vez que se obtuvo el mock-up de la estructura la siguiente etapa consiste en rellenar el espacio libre del piloto con espuma de poliuretano para obtener la forma ergonómica y antropométrica del piloto en el prototipo de asiento a construir, cumpliendo los requerimientos de la CSA (Figura 1-4). La espuma de poliuretano en spray utilizada generó excelentes resultados, llegando a ser la primera opción para la obtención de los moldes respectivos para el conjunto ergonómico debido a las propiedades que presenta.

Posteriormente, el piloto con su indumentaria procede a ubicarse en el espacio designado sobre la espuma de poliuretano previamente cubierta por bolsas plásticas para evitar su derrame (Figura 2-4). Se determina un tiempo de 30 minutos antes de retirar al piloto de su posición de confort, de acuerdo a las instrucciones del material utilizado.



Figura 2-4: a) Relleno de espuma de poliuretano, b) Posición de confort del piloto, c)

Molde final del asiento.

Realizado por: Autores.

El molde de espuma de poliuretano (Figura 3-4), requiere de un día entero para su curado completo. Aunque el resultado fue satisfactorio, después de retirar las fundas plásticas se observa imperfecciones, burbujas de aire que posteriormente incrementan el volumen del molde durante el periodo de curado.

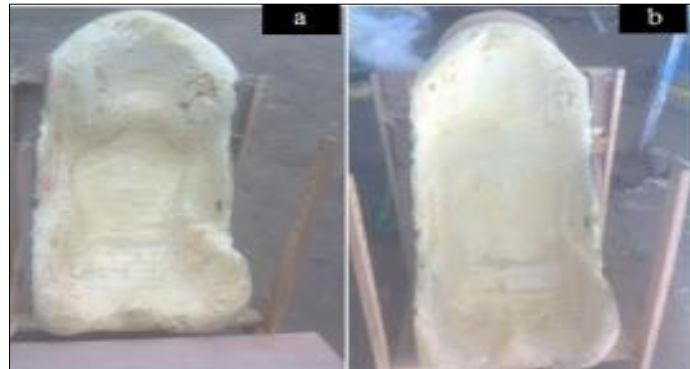


Figura 3-4: a) Molde frágil en espuma de poliuretano, b) Molde reforzado con yeso.

Realizado por: Autores.

Debido a que el molde fabricado a partir de la espuma de poliuretano resultó ser muy débil, para fortalecerlo y rellenar las imperfecciones generadas por las burbujas de aire se cubre con una serie de capas de yeso (Figura 4-4), las cuales son pulidas para obtener superficies lisas.

No obstante, el molde requería de una superficie sumamente lisa, por lo que se aplica una capa de masilla automotriz para rectificar las imperfecciones más sutiles y adicionalmente una capa de pintura de fondo automotriz (Figura 4-4), para darle un acabado superficial mucho más parejo y listo para manufacturar el asiento.



Figura 4-1: a) Superficie con capa de masilla automotriz, b) Superficie con fondo Automotriz.

Realizado por: Autores.

4.2.2 *Método y manufactura del asiento.*

Se decidió seleccionar el proceso por unión manual, ya que es el más sencillo para construir elementos con fibras como material de refuerzo, constando básicamente de 3 etapas que son los siguientes:

4.2.3 *Proceso de manufactura del asiento ergonómico.*

4.2.3.1 *Impregnación.*

Obtenido el molde del asiento (Figura 4-4), se procede a recubrir con una capa de betún por toda la superficie del molde, y mediante el uso de guaípe se procede a sacar brillo en toda el área que se empleará la fibra de carbono, posterior a ello se aplica el gel antiadherente (cera desmoldante) para facilitar la extracción de la matriz finalizado el curado (Figura 5-4).



Figura 5-4. Aplicación de betún y cera desmoldante al molde.

Realizado por: Autores.

Para la preparación de la resina epoxi se mezclan dos componentes, primero el componente A que es la resina y el componente B que sería el catalizador, la relación de mezcla de estos compuestos es de 2:1, respectivamente, se requiere de la aplicación de calor mediante una pistola de calor a la resina para obtener una mezcla con menor densidad que nos facilita la saturación de la fibra de carbono.



Figura 6-4: Resina epoxi para la saturación de la fibra de carbono.

Realizado por: Autores.

4.2.3.2 *Laminado.*

Para realizar esta etapa se requirió que la fibra de carbono haya sido saturada mediante la resina epoxi, con la ayuda de una superficie lisa se procede a tender la fibra de carbono para luego ser saturada con resina, mediante el uso de una paleta plástica, como se indica en la (Figura 7-4).



Figura 7-4: Saturación de la fibra de carbono.

Realizado por: Autores.

Una vez realizado el proceso de saturación de la fibra se procede a aplicar 4 capas de fibra carbono en toda la superficie del molde para obtener el espesor deseado de acuerdo al diseño planteado. Para esta etapa con la ayuda de nuestras manos le vamos dando la forma del molde a la fibra de carbono evitando que se generen burbujas de aire entre las capas y la superficie del molde del asiento, (Figura 8-4).



Figura 8-4: Aplicación de la fibra de carbono sobre el molde del asiento, b) Moldeado de la fibra de carbono.

Realizado por: Autores.

4.2.3.3 *Curado.*

Para la etapa final del proceso de manufactura del asiento, su curado completo se toma un tiempo aproximado de 24 horas, ya que la matriz fue sometida únicamente a condiciones de temperatura y presión ambiental.



Figura 9-4: Secado de la fibra de carbono.

Realizado por: Autores.

No obstante, antes de extraer el asiento completamente curado, fue necesario dibujar el perfil del asiento ergonómico para luego cortar la forma final del diseño, eliminando el exceso de material compuesto reforzado por fibra de carbono durante el proceso de laminado y puliendo su contorno de la matriz empleando una amoladora, en la Figura 10-4 se puede apreciar el acabado final de asiento.



Figura 10-4: Mecanizado del asiento.

Realizado por: Autores.

4.2.3.4 *Base con rieles para el asiento ergonómico.*

El asiento para el vehículo solar no es estático por ello se optó por la adquisición de una base con rieles de un vehículo convencional, el cual genera mayor confort para el piloto ya que mediante este mecanismo le permitimos adaptar una mejor posición durante los ciclos de conducción, evitando el cansancio del mismo.



Figura 11-4: Base con rieles de un vehículo convencional.

Realizado por: Autores.

En la (Figura 4-11) se observa el acabado final de la base del asiento la misma que fue sometida a un proceso de mecanizado para reducir su peso y un proceso de pintado para mejorar su estética, obteniendo excelentes resultados.

4.2.4 Anclaje del asiento al chasis.

Antes de definir los puntos donde se ancló la base del asiento al chasis, se procede a colocar la estructura en una superficie totalmente plana para nivelarlo y así obtener una correcta posición tanto para el asiento y el conductor.

Para anclar el conjunto (asiento y base), primero se procedió a construir una base tubular en la estructura del vehículo, esta base nos permite anclar el conjunto del asiento mediante pernos de sujeción obteniendo excelentes resultados.

Una vez anclado el asiento a la estructura del vehículo se procedió a colocar los soportes para el cinturón de seguridad, los mismos que serán colocados en una posición donde no afecte a la ergonomía del conductor, en la Se puede apreciar el anclaje final del asiento con su respectivo cinturón de seguridad.



Figura 12-4: Instalación final del asiento ergonómico y cinturón de seguridad.

Realizado: Autores.

4.3 Construcción de la cubierta del habitáculo.

Para la construcción de la cubierta del habitáculo del vehículo CSA, se aplicará el mismo proceso de manufactura del asiento ergonómico, denominado proceso por unión manual, ya que es el más sencillo para construir elementos con fibras como material de refuerzo, constando básicamente de 3 etapas que consisten en: la impregnación, laminado y solidificación del material compuesto.

Para realizar el proceso de manufactura de la cubierta del habitáculo, primero se construyó un pre-molde mediante la utilización de madera y papel cartón, se procedió a sacar secciones de la cubierta del habitáculo a escala real, como se aprecia en la (Figura 4-13).



Figura 13-4: Proceso de manufactura del pre-molde de la cubierta del habitáculo.

Realizado por: Autores.

Una vez terminado el molde de madera dividido en secciones, se procede a cubrir toda la superficie exterior con papel cartón como se aprecia en la siguiente (Figura 4-14).



Figura 14-4: Pre-molde cubierto con papel cartón.

Realizado por: Autores.

Obtenido el pre-molde hecho en madera y papel cartón, ya tendríamos nuestra base para construir el molde en fibra de vidrio, como se aprecia en la Figura.



Figura 15-4: Proceso de lijado y masillado del molde.

Realizado por: Autores.

No obstante, el molde requería de una superficie sumamente lisa, por lo que se aplica una capa de masilla automotriz para rectificar las imperfecciones más sutiles y adicionalmente una capa de pintura de fondo automotriz, para darle un acabado superficial mucho más parejo y listo para manufacturar la cubierta.



Figura 16-4: Molde en fibra de vidrio para la matriz de la cubierta del habitáculo.

Realizado por: Autores.

4.3.1 Proceso de manufactura para la cubierta del habitáculo del vehículo CSA 2018.

Para la construcción de la cubierta del habitáculo, se realiza el mismo proceso de manufactura que se utilizó en la construcción del asiento ergonómico que consiste en tres procesos que son los siguientes:

4.3.1.1 *Impregnación.*

Consiste en aplicar una capa de betún y gel antiadherente (cera desmoldante) por toda la superficie del molde, para facilitar la extracción de la matriz, finalizado el curado como se observa en la figura.

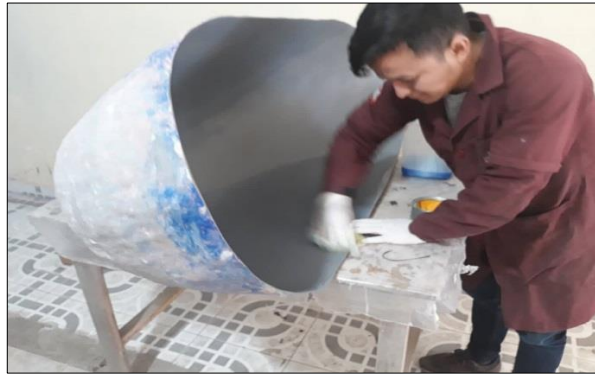


Figura 17-4: Aplicación de betún y cera desmoldante al molde.

Realizado por: Autores.

4.3.1.2 *Laminado.*

Para realizar esta etapa se requiere que la fibra de carbono haya sido saturada con resina epoxi, como se indica en la Figura 4-18.



Figura 18-4: Saturación de la fibra de carbono.

Realizado por: Autores.

Realizado el proceso de saturación de la fibra se procede a aplicar 4 capas de fibra carbono en toda la superficie del molde para obtener el espesor deseado de acuerdo al diseño planteado. Para esta etapa con la ayuda de nuestras manos le vamos dando la forma del

molde a la fibra de carbono evitando que se generen burbujas de aire entre las capas y la superficie del molde del asiento.



Figura 19-4: Aplicación de la fibra de carbono al molde de la cubierta del habitáculo.

Realizado por: Autores.

4.3.1.3 *Curado.*

Para la etapa final del proceso de manufactura de la cubierta del habitáculo, su curado completo se toma un tiempo aproximado de 24 horas, ya que la matriz fue sometida únicamente a condiciones de temperatura y presión ambiental.



Figura 20-4: Curado de la fibra de carbono.

Realizado por: Autores.

Realizado el proceso de curado de la cubierta del habitáculo, se procede a mecanizar el área o las secciones que servirán para que el piloto pueda visualizar la parte frontal y los laterales, secciones que serán cubiertas por acrílico termoformado, material que permite tener una buena visibilidad desde el interior del habitáculo, como se indica en la Figura 4-21.



Figura 21-4: Mecanizado de las secciones para mejorar la visibilidad del piloto mediante una caladora.

Realizado por: Autores.



Figura 22-4: Mecanizado final de la cubierta del habitáculo.

Realizado por: Autores.

4.3.2 Anclaje de la cubierta del habitáculo al chasis.

Una vez terminado la fase de manufactura de la cubierta del habitáculo, se procede a realizar el anclaje de la cubierta a la estructura del vehículo, para realizar dicho anclaje en la parte delantera de la cubierta se utilizó amortiguadores de gas, que permite que el piloto pueda evacuar con mayor facilidad, ya que en el reglamento CSA, se establece que el tiempo que debe tardar el piloto en evacuar el vehículo es de 15 segundos, gracias a la implementación de este sistema se pudo obtener excelentes resultados cumpliendo con dicho parámetro.



Figura 23-4: Instalación final de la cubierta del habitáculo.

Realizado por: Autores.

En la figura podemos apreciar el anclaje final de la cubierta del habitáculo al chasis, para este proceso se utilizó una cerradura de la puerta de un vehículo convencional y un amortiguador a gas de baja presión para facilitar la apertura de la misma y la evacuación del piloto, todo salió de acuerdo a lo planificado.

CAPÍTULO IV

5 PRUEBAS.

5.1 Control de calidad y evaluación de ergonomía del habitáculo.

5.1.1 Control de calidad del habitáculo

Para determinar el nivel de calidad que existió durante el proceso de instalación de los diferentes componentes que conforman el habitáculo, se realizó una lista de chequeo, verificando que cada componente se encuentre en funcionalidad y en perfecto estado, dicha lista de chequeo se encuentra dentro del Anexo D, en la Tabla 5-1 se detallan los resultados.

Tabla. 1-5: Resultados del control de calidad del habitáculo.

ÁREA INSPECCIONADA	CALIFICACIÓN
Asiento en fibra de carbono	Excelente
Cubierta del habitáculo	Excelente
Bisagras	Excelente
Amortiguadores de gas	Excelente
Arnés de seguridad	Excelente

Fuente: Autores.

Realizado por: Autores.

Como resultado de la lista de chequeo realizada a cada componente que conforma el habitáculo, se tiene que, dentro de la instalación del asiento y la cubierta del habitáculo, existió un excelente nivel de calidad, lo que significa que la instalación fue satisfactoria.

5.1.2 Evaluación de ergonomía.

Para la evaluación de la ergonomía del habitáculo, se procede a realizar una encuesta al piloto (Cristian Tene), para saber cuan eficiente fue la construcción e implementación de los diferentes componentes que conforman el habitáculo del vehículo solar.

La encuesta se realizó en base a diferentes ciclos de conducción donde se tomó como referencia un tiempo de 8 horas de conducción, dicha encuesta se encuentra dentro del Anexo E, los resultados que se obtuvo se detallan en la Tabla 5-2.

Tabla. 2-5: Resultados de la encuesta para la evaluación de la ergonomía.

CUALIDAD	CALIFICACIÓN
Alcance de instrumentos	Excelente
Visualización periférica	Muy buena
Comodidad	Muy buena
Seguridad	Excelente
Confiabilidad	Excelente
Fatiga	Muy buena

Fuente: Autores.

Realizado por: Autores.

El resultado de la encuesta realizada al piloto durante ciclos de conducción de 60 minutos, fue de mucha importancia, con ello se pudo constatar que el habitáculo cumple con aspectos de ergonomía como alcance, visualización, comodidad, seguridad, confiabilidad y fatiga para el bienestar de los pilotos.

5.2 Ensayos de pruebas mecánicas de la fibra de carbono.

Las pruebas que se realizaron a la fibra de carbono fueron de flexión, impacto y tracción. Para la realización de los ensayos se tuvo el apoyo del centro de fomento carroceros de la ciudad de Ambato, la misma empresa que cuenta con equipos de medición sofisticados para realizar ensayos a los materiales compuestos.

5.2.1 Ensayo de tracción.

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.

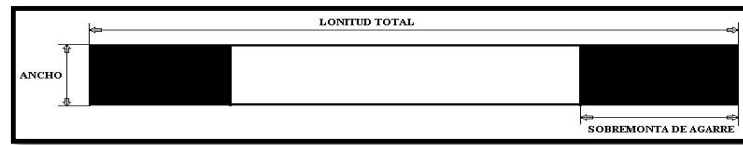


Figura 1-5: Probeta para el ensayo de impacto.

Realizado por: 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 carrocero de la ciudad de Ambato.

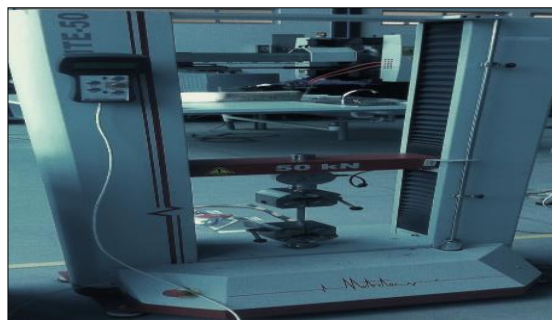


Figura 2-5: Máquina de ensayo universal.

Realizado por: 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	10988,25	175,14	10988,25	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 3-5: Resultado de los ensayos de tracción.

Realizado por: Autores.

Los resultados indican que las probetas son uniformes, debido a que su rango de rotura se encuentra entre 280MPa a 350MPa, el promedio del grupo de ensayo está en 300MPa, lo que indica que el proceso de elaboración es adecuado con esto podemos verificar que la fibra de carbono superó el acero estructural normal.

5.2.2 Ensayo de flexión

Durante este ensayo se podrá observar cual es el comportamiento del material cuando se le somete una fuerza vertical en la máquina universal, para este ensayo fueron necesarias 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 4-5 Ensayo de flexión.

Realizado por: 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 5-1: Resultados del ensayo de flexión.

Realizador por: Autores.

Después de haber realizado el ensayo de flexión sobre todas las probetas, se tiene como resultado que las probetas tienen uniformidad debido a que su rango de rotura es de 300MPa a 350MPa, el promedio del grupo de ensayo está en 330MPa, lo que indica que el proceso de elaboración fue muy bueno.

5.2.3 Ensayo de impacto

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.

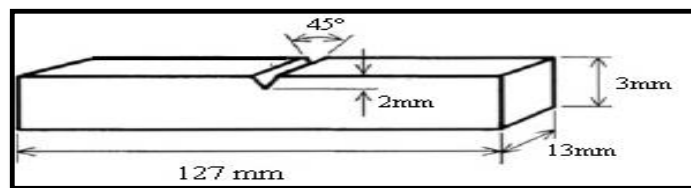


Figura 6-5: Probeta para ensayo de impacto.

Realizado por: Autores.

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



Figura 7-5: Máquina de ensayo de impacto Charpy.

Realizado por: Autores.

Las probetas tienen una resistencia al impacto uniforme, debido a que su rango de ruptura es de $30\text{kJ}/\text{m}^2$ a $90\text{kJ}/\text{m}^2$, el promedio del grupo de ensayo está en $45.55\text{kJ}/\text{m}^2$, la resistencia de las probetas, a partir de la probeta 4 en adelante sufrieron variaciones por la interferencia producida por los dispositivos móviles.

5.3 Verificación del cumplimiento de las restricciones según la CSA.

Una vez obtenido la manufactura del asiento y la cubierta del habitáculo se procede a realizar la verificación de cumplimiento de los parámetros y especificaciones establecidos en la CSA, para constatar que el prototipo solar, es el adecuado para participar en las diferentes competencias que se realizan a nivel internacional.

5.3.1.1 Posición ergonómica del conductor.

En esta parte se procede a verificar el cumplimiento de los requerimientos de la reglamentación CSA, específicamente relacionados con la posición ergonómica que dota el asiento con el chasis, el cual posee un ángulo de inclinación de 60° con respecto a la horizontal, como se indica en la Figura 8-5.

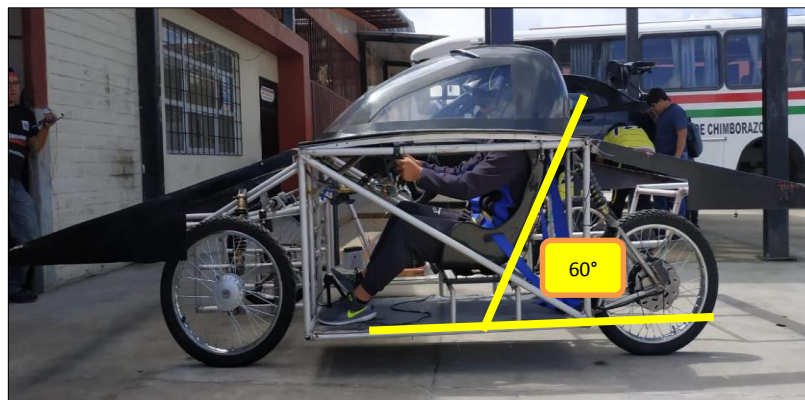


Figura 8-5: Ubicación del asiento ergonómico al chasis y ángulo de inclinación de la posición ergonómica.

Realizado por: Autores.

5.3.1.2 Ubicación del arnés de seguridad.

En esta sección específicamente se verifica el cumplimiento de los orificios que debe presentar el asiento para la colocación del cinturón de seguridad, como se indica en la Figura 9-5.



Figura 9-5: Ubicación del cinturón de seguridad de 4 puntos al chasis.

Realizado por: Autores.

5.3.1.3 *Visión periférica del piloto.*

Esta prueba consiste en que piloto en posición de conducción, con el cinturón de seguridad y casco puestos, debe tener 4 m de visión delantera y lateral clara, cumpliendo con las especificaciones emitidas en el reglamento de la CSA, como se indica en la Figura 10-5.



Figura 10-5: Visión periférica del piloto.

Realizado por: Autores.

CONCLUSIONES.

- La construcción del asiento y cubierta del habitáculo cumplió con todos los parámetros de diseño, como reducción de peso, eficiencia energética, ergonomía, seguridad, visión periférica, entre otros, emitidos en el reglamento de las competencias, obteniendo excelentes resultados.
- Mediante el método de elementos finitos y software computacionales CAD/CAE, Se logró obtener un factor de seguridad de 15 a lo largo del asiento, generando la seguridad necesaria para el piloto y una eficiencia aerodinámica sobre la cubierta del habitáculo con un coeficiente de resistencia y sustentación de $C_d=0,4438$ y $C_l=0,4548$ respectivamente, valores que no representan demasiada carga aerodinámica para el vehículo con una fineza de 1,024.
- La evaluación del ensayo de tracción realizado a la fibra de carbono, material con el cual fueron construidos el asiento y la cubierta del habitáculo, dieron como resultado, valores entre un rango de 280MPa a 350Mpa, superando al acero estructural normal, indicando que el proceso de elaboración fue adecuado.
- Durante el ensayo de flexión, se obtuvieron los siguientes resultados, el promedio del grupo de ensayo está en 330Mpa, demostrando que el proceso de manufactura de la fibra de carbono fue correcto y que el material cumplió con todas las especificaciones emitidas en el reglamento de la competencia.
- Se adaptó el asiento y la cubierta del habitáculo al chasis cumpliendo con todas las normativas emitidas por la organización de la carrera, como son en este caso el espacio del ocupante, antropometría e interacción entre el piloto y el vehículo dentro del habitáculo, factores que contribuirán a evitar el cansancio y obtener la ergonomía necesaria para la aprobación del vehículo solar.
- Se realizó la evaluación de ergonomía mediante una encuesta dirigida al conductor del vehículo solar, después de realizar varios ciclos de conducción durante un tiempo de 8 horas, se obtuvo como resultado lo siguiente: un alcance

de instrumentos excelente, visión periférica, fatiga y comodidad muy buena, seguridad y confiabilidad excelente, resultados que demuestran que en aspectos de ergonomía el nivel promedio alcanzado es excelente.

RECOMENDACIONES.

- Antes de comenzar a realizar el trabajo de titulación es importante revisar y analizar el reglamento, normativas y restricciones emitidas por las diferentes organizaciones, referente al habitáculo para que el prototipo cumpla con todos los requisitos establecidos por las organizaciones.
- El equipo computacional para el desarrollo CAD/CAE debe ser de altas prestaciones para así obtener resultados precisos en el análisis aerodinámico y estático.
- Para la construcción de los diferentes componentes del habitáculo es recomendable recibir capacitación sobre la utilización de materiales compuestos y tener conocimiento de la cantidad exacta de aditivos y tiempos de curado para alcanzar una mezcla óptima en la matriz termoestable, así como también los procesos que existen para la obtención de moldes y posteriormente la fabricación de piezas.
- Al trabajar con materiales compuestos es recomendable usar el equipo de protección adecuado debido a que las partículas que se desprenden de la fibra de carbono, aditivos y agentes químicos pueden afectar al sistema respiratorio causando daños en la salud.
- Se recomienda buscar métodos de termoformado de acrílico más sofisticados para realizar la cubierta del habitáculo en una sola pieza, con el objetivo de disminuir gastos y tiempos de construcción.
- Para la apertura de la cubierta del habitáculo se recomienda utilizar amortiguadores de gas de baja presión, los mismos que facilitaran la evacuación del piloto durante los ciclos de conducción.

BIBLIOGRAFÍA

Atacama, carrera solar. [En línea]. Chile: Carrera solar atacama, 2011 [Consulta: 12 de Abril de 2018]. Disponible en: <http://www.carrerasolar.com/es/carrera/>.

Beer, Ferdinand. *Mecánica de materiales*. 5^{ta} ed. México-Mexico : Mc GRAW HILL, 2010, pp. 80-95.

Bolufer, Pascual. La fibra de carbono, un material para el siglo 21 [en línea]. Interempresas net, 2007. [15 de abril 2018]. disponible en : <http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/16574-La-fibra-de-carbono-un-material-para-el-siglo-21.html>.

Cengel., Yunus A. . *Mecánica de Fluidos*. Mexico-Mexico: Mc Graw Hill, 2006. p. 894.

Cruz gomez, alberto j. *Ergonomía aplicada*. 4^{ta} ed. Bogota-Colombia : Ecoe Ediciones, 2010. pp.80-95.

DUQUE TAMAYO, Napoleón Andrés. *Obtención y caracterización de materiales compuestos de matriz de poliéster con fibra de cabuya mediante estratificación (tesis)* (Ingeniería). Escuela Politécnica Nacional. Quito-Ecuador 2012. pp. 1-50.

Edesa. *Cinturones de seguridad para vehículos motorizados*. Santiago-Chile:Edesa, 1977,pp 30-42.

Gharagozlou, yahya. *Instron* [En línea]. [consulta:16 de Mayo de 2018.] <http://www.instron.es/es-es/testing-solutions/by-material/composites/flexure/iso-14125>.

Lausin, eduardo. *Fibra de carbono, qué es, futuro y aplicación en el automóvil* [En línea]. Bogotá-Colombia: 2015 [Consulta 15 de Junio de 2018]. Disponible en: <https://www.actualidadmotor.com/fibra-de-carbono/>.

MANOTOA LABRE, WILLIAM Y GARCÍA CALLE, HÉCTOR. *Diseño y construcción de un asiento ergonómico en fibra natural aplicado a un vehículo de competencia tipo fórmula SAE para la Espoch* (tesis) (Ingeniería). Escuela Superior Politecnica de Chimborazo. Riobamba, Mecanica, Ing Automotriz. Riobamba-Ecuador. 2016. pp. 60-95.

Navarro, j. *Elementos amovibles y fijos no estructurales*. Madrid- España : Parafino, 2010, pp. 234-238.

Oborne, d.j. *Ergonomía en acción: la adaptación del medio de trabajo al hombre*. 8^{va}ed. Mexico-Mexico : Trillas , 1990. pp 20-35.

PANERO, Julius. 1996. *Las dimensiones humanas en los espacios interiores*. 7^{ma}ed. Barcelona-España : Custavo Gili, 1996. pp.12-45

RUTA 401. Tipos de carrocerias [blog]. Buenos Aires: Loctite teroson,2010.[Consulta: 30 Junio 2018]. Disponible en: <https://blog.reparacion-vehiculos.es/tipos-de-carrocerias-principales-caracteristicas>.

SIERRA, ABELARDO. Mundo del motor [En línea]. Buenos Aires-Argentina: 2013 [Consulta:26 Julio de 2018].Disponible en: <https://www.mundodelmotor.net/cinturon-de-seguridad/>.

STUPENENGO, FRANCO. *Materiales y materias primas*. Buenos Aires-Argentina : Saavedra, 2011. pp. 17-34

ANEXOS