



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ASIENTO  
ERGONÓMICO EN FIBRA NATURAL APLICADO A UN  
VEHÍCULO DE COMPETENCIA TIPO FÓRMULA SAE  
PARA LA ESPOCH”**

**MANOTOA LABRE WILLIAM VINICIO  
GARCÍA CALLE HÉCTOR FABIÁN**

**TESIS DE GRADO**

**Previa a la obtención del Título de:**

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**RIOBAMBA – ECUADOR  
2016**

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS**

---

2015-11-19

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

**MANOTOA LABRE WILLIAM VINICIO  
GARCÍA CALLE HÉCTOR FABIÁN**

---

Titulada:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ASIENTO ERGONÓMICO EN FIBRA  
NATURAL APLICADO A UN VEHÍCULO DE COMPETENCIA TIPO  
FÓRMULA SAE PARA LA ESPOCH”**

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

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

---

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

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Celin Padilla  
**DIRECTOR DE TESIS**

---

Ing. Edwin Pozo  
**ASESOR DE TESIS**

---

**CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS**

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** MANOTOA LABRE WILLIAM VINICIO

**TÍTULO DE LA TESIS:** “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ASIENTO ERGONÓMICO EN FIBRA NATURAL APLICADO A UN VEHÍCULO DE COMPETENCIA TIPO FÓRMULA SAE PARA LA ESPOCH”

**Fecha de Examinación:** 2016-11-10

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

<b>COMITÉ DE EXAMINACIÓN</b>	<b>APRUEBA</b>	<b>NO APRUEBA</b>	<b>FIRMA</b>
Ing. Pablo Sinchiguano <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>			
Ing. Celin Padilla <b>DIRECTOR DE TESIS</b>			
Ing. Edwin Pozo <b>ASESOR DE TESIS</b>			

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

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

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

---

Ing. Pablo Sinchiguano  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

---

**CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS**

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** GARCÍA CALLE HÉCTOR FABIÁN

**TÍTULO DE LA TESIS:** “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ASIENTO ERGONÓMICO EN FIBRA NATURAL APLICADO A UN VEHÍCULO DE COMPETENCIA TIPO FÓRMULA SAE PARA LA ESPOCH”

**Fecha de Examinación:** 2016-11-10

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

<b>COMITÉ DE EXAMINACIÓN</b>	<b>APRUEBA</b>	<b>NO APRUEBA</b>	<b>FIRMA</b>
Ing. Pablo Sinchiguano <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>			
Ing. Celin Padilla <b>DIRECTOR DE TESIS</b>			
Ing. Edwin Pozo <b>ASESOR DE TESIS</b>			

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

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

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

---

Ing. Pablo Sinchiguano  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El trabajo de titulación que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

**Manotoa Labre William Vinicio**

---

**García Calle Héctor Fabián**

## **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 Manuel y Herminia quienes me dieron la vida y siempre estuvieron apoyándome y aconsejándome para poder cumplir con mi objetivo.

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

**William Manotoa Labre**

Dedico este proyecto de titulación a mis padres, Lauro García y Ana Calle, quienes se han esmerado en apoyarme durante todos mis estudios, los cuales no hubiesen sido posibles sin su constante sacrificio.

A mis familiares Elsa Calle, Martha Calle, Mercedes Padilla, Ramiro Andrade, a mis hermanos Edwin García y Leonardo García, quienes me han dado su apoyo incondicional durante estos años. Como también a mis amigos más cercanos Cristian Andrade y Luis Guamán por el apoyo moral en los momentos de mayor dificultad de mi carrera.

Finalmente, dedico la culminación de este proyecto de titulación a un amigo muy especial, que, aunque falleció, siempre fue la razón para seguir adelante y no rendirme, a todos ellos mil gracias por todo.

**Héctor García Calle**

## **AGRADECIMIENTO**

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 Rosita 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 nuestros compañeros con quienes luchamos diariamente para culminar con éxito esta etapa de vida.

Agradezco infinitamente al Ing. Celin Padilla y Edwin Pozo, tutor y asesor del proyecto de titulación, quienes han sabido apoyarnos durante el desarrollo del mismo para lograr nuestro objetivo.

**William Manotoa Labre**

Agradezco infinitamente a mis padres, LAURO GARCIA VALDEZ y ANA CALLE PADILLA, quienes han sabido aconsejarme, guiarme y más que nada por haberme otorgado su confianza durante todos estos años para culminar mis estudios con éxito.

De igual manera, un agradecimiento muy especial a todos aquellos 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. Celin Padilla y Edwin Pozo, tutor y asesor del proyecto de titulación, quienes han sabido guiarnos durante todo el desarrollo del mismo para lograr nuestro cometido.

**Héctor García Calle**

## CONTENIDO

	Pág.
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	
1.1 Generalidades.....	14
1.2 Antecedentes.....	14
1.3 Justificación.....	16
1.4 Objetivos.....	17
1.4.1 <i>Objetivo general</i> .....	17
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	17
<b>2. ANÁLISIS PARA LA ELABORACIÓN DE UN ASIENTO ERGONÓMICO EN VEHÍCULOS DE COMPETENCIA</b>	
2.1 Asiento.....	18
2.1.1 <i>Tipos de asientos de competición</i> .....	19
2.1.1.1 <i>Según su estructura</i> .....	19
2.1.1.2 <i>Según su funcionalidad</i> .....	20
2.1.1.3 <i>Según su confort</i> .....	20
2.1.2 <i>Accidentes producidos por vehículos de competición</i> .....	21
2.1.2.1 <i>Colisión</i> .....	21
2.1.2.2 <i>Estrellamiento</i> .....	21
2.1.2.3 <i>Por alcance</i> .....	21
2.1.2.4 <i>Roce</i> .....	22
2.1.2.5 <i>Volcamiento</i> .....	22
2.1.2.6 <i>Choque</i> .....	22
2.1.2.7 <i>Rozamiento</i> .....	23
2.1.2.8 <i>Caída</i> .....	23
2.1.2.9 <i>Despiste</i> .....	23
2.1.2.10 <i>Centrifugación</i> .....	23
2.1.2.11 <i>Incendio</i> .....	23
2.1.3 <i>Lesiones producidas en las personas durante los ciclos de conducción</i> .....	23
2.1.3.1 <i>Traumatismos en la cabeza</i> .....	24
2.1.3.2 <i>Traumatismos en el cuello</i> .....	24
2.2 Fórmula SAE.....	24
2.2.1 <i>Consideraciones técnicas del asiento ergonómico según la FSAE 2015</i> .....	26
2.2.1.1 <i>Reglas restricciones</i> .....	26
2.2.1.2 <i>Restricciones geométricas</i> .....	28
2.2.1.3 <i>Restricciones de fabricación</i> .....	29
2.2.1.4 <i>Restricciones económicas y tecnológicas</i> .....	29
2.3 Antropometría.....	29
2.3.1 <i>Historia</i> .....	29
2.3.2 <i>Definición</i> .....	30

2.3.3	<i>Importancia</i> .....	31
2.3.4	<i>Clasificación de la antropometría</i> .....	31
2.3.4.1	<i>Estática</i> .....	31
2.3.4.2	<i>Funcional</i> .....	32
2.3.4.3	<i>Newtoniana</i> .....	32
2.3.5	<i>Antropometría y el proceso de diseño</i> .....	32
2.3.5.1	<i>El hombre promedio y los límites de diseño</i> .....	32
2.3.5.2	<i>Presentación de datos, percentiles, variabilidad</i> .....	33
2.3.5.3	<i>Fuentes y tipos de datos</i> .....	34
2.4	<i>Ergonomía en la industria automotriz</i> .....	35
2.4.1	<i>Historia</i> .....	36
2.4.1.1	<i>Doméstica</i> .....	37
2.4.1.2	<i>Artesanal</i> .....	38
2.4.1.3	<i>Industrial</i> .....	39
2.4.2	<i>Definición, enfoques y necesidad</i> .....	39
2.4.3	<i>Funciones piloto –vehículo</i> .....	40
2.4.4	<i>Sistemas piloto – vehículo</i> .....	40
2.4.5	<i>Métodos empleados en ergonomía</i> .....	41
2.4.5.1	<i>Influencia ergonómica</i> .....	41
2.5	<i>Diseño automotriz</i> .....	42
2.5.1	<i>Tratamiento de datos antropométricos para el diseño automotriz</i> .....	44
2.5.2	<i>Modelos a escala “Quick and Dirty”</i> .....	45
2.5.3	<i>Modelos asistidos por softwares de diseño</i> .....	45
2.5.4	<i>Características de diseño de un asiento</i> .....	46
2.6	<i>Fibras naturales</i> .....	46
2.6.1	<i>Fibra de cabuya como material de refuerzo</i> .....	49
2.6.1.1	<i>Propiedades y características mecánicas de la fibra de cabuya</i> .....	51
2.6.2	<i>Uso de fibras en un vehículo monoplaza</i> .....	52
2.6.3	<i>Ventajas y desventajas de los materiales compuestos en la industria automotriz</i> .....	53
2.7	<i>Resina</i> .....	53
2.7.1	<i>Clasificación de las resinas</i> .....	53
2.7.2	<i>Resina de poliéster</i> .....	54
2.7.2.1	<i>Curado de la resina de poliéster</i> .....	54
2.8	<i>Hipótesis</i> .....	56
2.9	<i>Determinación de variables</i> .....	56
2.9.1	<i>Variables independientes</i> .....	56
2.9.2	<i>Variables dependientes</i> .....	56
2.9.3	<i>Relación entre variables</i> .....	56
<b>3.</b>	<b>DISEÑO DEL ASIENTO ERGONÓMICO</b>	
3.1	<i>Parámetros de diseño</i> .....	57
3.1.1	<i>Criterios de espacio</i> .....	57
3.1.2	<i>Rigidez Torsional</i> .....	58

3.2	Desarrollo de las fases de diseño .....	59
3.2.1	<i>Diseño conceptual</i> .....	59
3.2.2	<i>Modelado del asiento asistido por software</i> .....	60
3.2.2.1	<i>Modelado geométrico del asiento ergonómico</i> .....	60
3.3	Análisis del asiento ergonómico .....	62
3.3.1	<i>Métodos de elementos finitos (MEF)</i> .....	62
3.3.2	<i>Análisis estático</i> .....	63
3.3.2.1	<i>Análisis por tensión plana</i> .....	63
3.3.3	<i>Parámetros establecidos por el reglamento FSAE</i> .....	64
3.3.4	<i>Condiciones extremas de estudio según la FSAE</i> .....	65
3.3.5	<i>Escenario de simulación</i> .....	65
3.3.6	<i>Asignación de las propiedades de la fibra de cabuya</i> .....	66
3.4	Consideraciones para los estudios por elementos finitos.....	67
3.4.1	<i>Solucionador</i> .....	67
3.4.2	<i>Convergencia</i> .....	68
3.4.3	<i>Mallado</i> .....	68
3.4.3.1	<i>Métrica de la malla</i> .....	69
3.4.3.2	<i>Criterio de aceptación del análisis</i> .....	70
3.5	Condiciones de contorno del asiento ergonómico y firewall.....	70
3.5.1	<i>Cálculo de cargas para la validación del diseño en Ansys</i> .....	70
3.5.1.1	<i>Fuerza de frenado del vehículo</i> .....	71
3.5.1.2	<i>Fuerza centrífuga producida por el piloto</i> .....	72
3.5.1.3	<i>Peso del piloto</i> .....	74
3.5.1.4	<i>Presión ejercida por el piloto (P)</i> .....	75
3.5.1.5	<i>Momentos de torsión generada por la fuerza centrífuga (<math>M_{t_{Fc}}</math>)</i> .....	76
3.5.1.6	<i>Momento de flexión generado por la fuerza de frenado (<math>M_{f_{Ff}}</math>)</i> .....	77
3.5.1.7	<i>Temperatura externa producida por el motor</i> .....	78
3.6	Simulación .....	78
3.7	Análisis de resultados .....	79
3.7.1	<i>Diagrama de deformación total</i> .....	79
3.7.2	<i>Diagrama de tensiones de VON-MISSES</i> .....	79
3.7.3	<i>Diagrama del esfuerzo máximo</i> .....	80
3.7.4	<i>Diagrama del factor de seguridad</i> .....	81
<b>4.</b>	<b>FASE DE PRUEBAS Y CONSTRUCCIÓN DE ASIENTO</b>	
4.1	Selección de material de refuerzo para la matriz .....	82
4.1.1	<i>Caracterización de material</i> .....	82
4.1.2	<i>Desarrollo de probetas según la norma ASTM D790</i> .....	83
4.1.2.1	<i>Ensayo de resistencia a la tracción</i> .....	83
4.1.2.2	<i>Ensayo de resistencia a la flexión</i> .....	84
4.1.2.3	<i>Ensayo de impacto</i> .....	85
4.2	Análisis de tiempos .....	86
4.3	Diagrama de desarrollo asiento – firewall FSAE. ....	87
4.4	Manufactura del asiento-firewall FSAE .....	88

4.4.1	<i>Método y manufactura de moldes asiento y firewall</i> .....	88
4.4.1.1	<i>Definición y selección del método de manufactura</i> .....	88
4.4.1.2	<i>Manufactura del mock-up asiento FSAE</i> .....	88
4.4.1.3	<i>Manufactura del mock-up firewall FSAE</i> .....	90
4.5	<i>Método y manufactura ASIENTO- FIREWALL FSAE</i> .....	91
4.5.1	<i>Definición y selección del método de manufactura</i> .....	91
4.5.2	<i>Proceso de manufactura ASIENTO FSAE</i> .....	92
4.5.2.1	<i>Impregnación</i> .....	92
4.5.2.2	<i>Laminado</i> .....	93
4.5.2.3	<i>Curado</i> .....	93
4.5.3	<i>Proceso de manufactura FIREWALL FSAE</i> .....	94
4.5.3.1	<i>Impregnación</i> .....	94
4.5.3.2	<i>Laminado</i> .....	94
4.5.3.3	<i>Curado</i> .....	95
4.5.4	<i>Proceso de perforación de agujeros para el arnés de seguridad</i> .....	95
4.5.5	<i>Proceso de pintado</i> .....	96
4.6	<i>Anclaje del asiento ergonómico al chasis</i> .....	97
4.7	<i>Verificación del cumplimiento de las restricciones según la FSAE</i> .....	99
4.7.1	<i>Posición ergonómica del conductor</i> .....	99
4.7.2	<i>Ubicación del arnés de seguridad</i> .....	100
<b>5.</b>	<b>ANÁLISIS DE COSTOS</b>	
5.1	Costos directos.....	102
5.2	Costos indirectos.....	104
5.3	Costos totales. ....	104
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
6.1	Conclusiones .....	106
6.2	Recomendaciones .....	107

## **BIBLIOGRAFÍA**

## **ANEXOS**

## **PLANOS**

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
1. Evaluación de la competencia.....	26
2. Datos ergonómicos de los prospectos para piloto.....	41
3. Características mecánicas de diferentes fibras naturales y sintéticas .....	48
4. Producción de cabuya en región interandina del Ecuador.....	50
5. Características mecánicas de la fibra de cabuya.....	51
6. Características físicas de la fibra de cabuya .....	51
7. Ventajas y desventajas de los materiales compuestos de fibra natural.....	53
8. Codificación de los elementos ergonómicos diseñados.....	62
9. Propiedades mecánicas de la fibra de cabuya.....	66
10. Datos estadísticos para aceptación del análisis.....	70
11. Resultado promedio del ensayo de tracción .....	83
12. Resultado promedio del ensayo de flexión .....	84
13. Resultado promedio del ensayo de impacto .....	85
14. Análisis de tiempos en el proceso de manufactura .....	86
15. Lista de materiales y costos de construcción del Mock up.....	102
16. Lista de materiales y costos de construcción de moldes.....	102
17. Lista de materiales y costos de construcción del asiento y firewall .....	103
18. Lista de materiales y costos en el proceso de pitado .....	103
19. Lista de equipos utilizados y costos.....	103
20. Costos de mano de obra .....	104
21. Costos de accesorios de seguridad.....	104
22. Costos indirectos.....	104
23. Costos totales del proyecto .....	105

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1. Equipo CISER en la Fórmula SAE.....	15
2. Asientos de competición SPARCO PRO 2000 CARBON.....	19
3. Según su estructura a) Asientos individuales, b) Asientos corridos.....	19
4. Según su funcionalidad a) Asiento fijo, b) Asientos articulados, c) Asiento monocasco.....	20
5. Según su confort a) Asientos duros, b) Asientos blandos.....	21
6. Traumatismos en la cabeza.....	24
7. Traumatismos en el cuello.....	24
8. Restricciones FSAE para el asiento ergonómico.....	27
9. Restricciones FSAE plantilla.....	28
10. Medidas anatómicas generales.....	31
11. Tipos y rasgos del movimiento dinámico.....	32
12. Percentiles antropométricos de individuos reales.....	33
13. Medidas antropométricas de mayor uso para el diseño.....	34
14. Historia del garrote.....	37
15. Elaboración de puntas de lanza por percusión.....	38
16. Etapa artesanal.....	38
17. Funciones del piloto-vehículo.....	40
18. Relación sistema piloto-vehículo.....	40
19. Circuito piloto - vehículo.....	41
20. Dimensionamiento ergonómico con marco percentil 95 <sup>th</sup> .....	42
21. Diseño del entorno del conductor.....	42
22. Dimensiones consideradas para el diseño.....	44
23. Modelo a escala de “Quick and Dirty”.....	45
24. Desarrollo del diseño a través de bosquejos y CAD.....	46
25. Uso de fibras naturales en la industria automotriz y otros sectores.....	47
26. Clasificación de las fibras.....	48
27. Planta de cabuya.....	49
28. Tipos de tejidos de cabuya: a) Grueso, b) Normal, c) Fino.....	52
29. Curva de curado de la resina de poliéster.....	55
30. Datos dimensionales del cuerpo humano.....	58
31. Bosquejos del asiento ergonómico y firewall.....	59
32. Restricciones FSAE del perfil del asiento ergonómico.....	60
33. Croquis del perfil del contorno del asiento ergonómico.....	61
34. Vistas del asiento ergonómico y firewall. a) Isométrica, b) Frontal, c) Lateral, d) Superior.....	61
35. Ensamble del asiento ergonómico y firewall con la carrocería.....	62
36. Asignación de propiedades del material en Ansys 17.1.....	67
37. Criterio de convergencia de la malla.....	68

38.	Método de mallado tetraédrico del modelo geométrico .....	69
39.	Calidad del mallado asiento y firewall. ....	70
40.	Cargas externas generadas en el vehículo FSAE.....	71
41.	Coordenadas del centro de masa del asiento ergonómico .....	71
42.	Asignación de fuerza de frenado en Ansys-Workbench.....	72
43.	Asignación de la fuerza centrífuga en Ansys-Workbench.....	73
44.	Asignación de peso del conductor en Ansys-Workbench .....	75
45.	Asignación de la presión ejercida por el piloto en Ansys-Workbench.....	76
46.	Asignación del momento torsor en Ansys-Workbench .....	77
47.	Asignación de momento flector en Ansys-Workbench .....	78
48.	Asignación de temperatura externa producida por el motor .....	78
49.	Resultado de la deformación total en el asiento FSAE.....	79
50.	Resultado del esfuerzo de Von Mises en el asiento FSAE .....	80
51.	Resultado del esfuerzo máximo sobre el asiento FSAE .....	80
52.	Resultado del factor de seguridad en el asiento FSAE .....	81
53.	Dimensiones de la probeta para ensayo de tracción .....	84
54.	Probeta de ensayo de tracción.....	84
55.	Dimensiones de la probeta para ensayos de flexión .....	84
56.	Probeta de ensayo de flexión .....	85
57.	Dimensiones de la probeta de impacto .....	85
58.	Probeta de ensayo de impacto.....	85
59.	Diagrama de Desarrollo ASIENTO – FIREWALL FSAE.....	87
60.	Mock-up de la estructura metálica del vehículo en madera.....	88
61.	a) Relleno de espuma de poliuretano, b) Posición de confort del piloto, c) Molde final del asiento .....	89
62.	a) Molde frágil en espuma de poliuretano, b) Molde reforzado con yeso .....	89
63.	a) Superficie con capa de masilla automotriz, b) Superficie con fondo automotriz .....	90
64.	a) Mock up de madera, b) Asiento manufacturado, c) Firewall en yeso .....	90
65.	a) Superficies lisa, b) Aplicación de masilla automotriz .....	91
66.	a) Superficie con capa de gel antiadherente, b) Aplicación de Yielcold .....	92
67.	Resina poliéster.....	92
68.	a) Aplicación de fibra de cabuya y resina, b) Secado c) Diseño del contorno del asiento .....	93
69.	Asiento extraído desde el mock-up.....	94
70.	Mock-up del firewall recubierta con una capa de gel antiadherente .....	94
71.	a) Parte frontal del firewall, b) Parte posterior o espaldar .....	95
72.	Firewall extraído desde el mock-up.....	95
73.	Agujeros para el arnés de seguridad .....	96
74.	a) Firewall, b) Asiento ergonómico con fondo automotriz.....	96
75.	Pintado de la superficie del firewall .....	96
76.	Pintado de la superficie del asiento ergonómico .....	97
77.	a) Firewall, b) Asiento ergonómico barnizados.....	97
78.	Conjunto ergonómico nivelado.....	98

79.	Bases de anclaje soldadas el chasis.....	98
80.	Bases de anclaje soldadas el chasis.....	99
81.	Ubicación del asiento ergonómico en el chasis y ángulo de inclinación de la posición ergonómica .....	100
82.	Distancia mínima de 50 mm (2 pulgadas) desde el casco hasta el marco tubular del chasis .....	100
83.	Ubicación del cinturón de seguridad de 5 puntos con CamLock al chasis..	101
84.	Montaje final del conjunto ergonómico a la estructura .....	101

## SIMBOLOGÍA

Ff	Fuerza de Frenado	N
m	Masa	Kg
a	Aceleración	m/s <sup>2</sup>
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 <sup>2</sup>
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 <sup>2</sup>
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

## LISTA DE ABREVIACIONES

SAE	Society of Automotive Engineers
FSAE	Formula Society of Automotive Engineers
ESPOCH	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
CNC	Control Numérico Computarizado
IEA	International Ergonomics Association
FEA	Finite Element Analysis
ANSYS	Computer-Aided Engineering Software
CES	Software para Selección de Materiales
ASTM	American Society for Testing and Materials
MEF	Métodos de elementos finitos
CAD	Computer-Aided Design and Drafting
CAE	Computer-Aided Engineering
MAGAP	Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca
FAO	Food and Agriculture Organization
SFI	Special Flight Instrumentation
FIA	International Automobile Foundation
HANS	Head and Neck Support/System

## **LISTA DE ANEXOS**

- A**    Reglamentación Formula SAE 2014
- B**    Propiedades mecánicas de la fibra de cabuya CES EduPack 2013
- C**    Planos del asiento ergonómico y firewall

## RESUMEN

El presente trabajo de titulación está basado en la aplicación de las normas SAE internacionales pertenecientes a la fórmula estudiantil para la manufactura de un asiento y cortafuegos ergonómico destinado a un vehículo de competencia fórmula SAE para integrar a la Carrera de Ingeniería Automotriz de la ESPOCH a dicha competencia en los siguientes años. El desarrollo del asiento y cortafuegos conlleva una serie de parámetros y normas internacionales a considerar. Todos estos parámetros como la ergonomía, antropometría, estructura de los vehículos, materiales, procesos y sobre todo uso de las normas SAE, se han aplicado a un modelo computacional, por medio del uso de herramientas informáticas, empleando el método de tensión plana, permitiendo establecer un diseño y análisis estructural adecuado a las condiciones de la competencia. Para manufacturar el asiento y cortafuegos, se consideraron varias opciones de procesos tales como el quick and dirty y mock-up. No obstante, el uso de fibras naturales como refuerzo del material compuesto se predefinió anteriormente. Uno de los objetivos principales consistió en disminuir tanto el peso de los elementos diseñados, el costo de materiales y procesos de manufactura. Al término del proceso de manufactura y de acuerdo con los datos obtenidos del análisis computacional, se concluyó que el elemento podía suministrar el grado de seguridad necesaria para el usuario, además de aportar con el confort necesario. Debido al tiempo requerido y tecnología adecuada, factores como el aerodinámico no se ha tomado en cuenta sobre el asiento y cortafuegos, pero se establece un precedente para proyectos posteriores relacionados al mejoramiento en el desempeño del vehículo FSAE.

PALABRAS CLAVE: <DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADORA (CAD)>, <INGENIERIA ASISTIDA POR COMPUTADORA (CAE)>, <TECNOLOGIA DEL DISEÑO>, <TRABAJO EN MATERIALES>, <ERGONOMIA APLICADA ASIENOS>, <ANTROPOMETRIA EN EL DISEÑO>, <PROCESOS DE MANUFACTURA>, <FIBRAS NATURALES>

## **ABSTRACT**

The present work of degree is based on the application of the standards Society of Automotive Engineers International (SAE) belonging to the student formula for manufacture of a seat and ergonomic firewall intended for a competition vehicle, formula SAE for integrate to Automotive Engineering career of the Polytechnic School of Chimborazo (ESPOCH) of such competition in the following years. The development of the seat and firewall involve a series of international parameters and standards to consider. All these parameters such as ergonomics, anthropometry, vehicle structure, materials, processes and use of (SAE) standards have been applied to a computational model, through the use computing tools, using the flat tension method by allowing to establish a design and analysis structural adequate to the conditions of the competition. To manufacture the seat and firewall, several processing options were considered, such as quick dirty and mock-up. However, the use of natural fibers as reinforcement of the composite was pre-defined above. One of the main objectives consisted in reduce both the weight of the elements designs, the cost of materials and manufacturing processes. At the end and the manufacturing process and according the data obtained from computational analysis, it was concluded that element could provide necessary degree of security for user, besides providing with necessary comfort. Due to required time and suitable technology, factors such as aerodynamics haven't been taken in to account over seat and firewall, but a precedent is set for later projects related to improving the performance on the vehicle. Formula Society of Automotive Engineers (FSAE).

**KEY WORDS:** <COMPUTER – AIDED DESIGN (CAD)>, <COMPUTER – AIDED ENGINEERING (CAE)>, <DESIGN TECHNOLOGY>, <MATERIALS WORK>, <APPLIED ERGONOMICS SEATS>, <ANTHROPOMETRY IN DESIGN>, <MANUFACTURING PROCESSES>, <NATURAL FIBERS>

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Generalidades

En cuanto al trabajo de titulación, a lo largo de la evolución industrial y automotriz, los asientos son componentes esenciales para el confort y seguridad del conductor durante pruebas de manejo en vehículos convencionales, así como también en pruebas de pista en vehículos de competición, en diversas categorías en el mundo automotriz.

En el marco de la investigación planteada, refiriéndose al análisis del diseño y construcción de un asiento ergonómico en fibra natural para vehículos de competencia tipo fórmula SAE, se define el diseño de la investigación como la estrategia global en el contexto de estudio planteado, con la recolección de datos, hasta alcanzar los objetivos propuestos. Cada una de las especificaciones indicadas en el presente trabajo, establecen características técnicas de diseño de un asiento ergonómico en fibra natural para un vehículo de competencia tipo fórmula SAE, las cuales serán de gran importancia para la obtención de nuevos modelos con la utilización de materiales compuestos.

Para el presente proyecto se basa en las normas de construcción FSAE, donde establece ciertas condiciones de confort, ergonomía, posición de arnés de seguridad para el piloto durante pruebas de pista, con el objetivo de realizar un diseño fiable con la utilización de fibra natural de cabuya reforzada con resina poliéster.

### 1.2 Antecedentes

“La Fórmula SAE nació en Michigan, Estados Unidos, siguiendo las directrices marcadas por la Society of Automotive Engineers, es una competición entre estudiantes de universidades de todo el mundo que diseñan, construyen y compiten con un monoplaza promoviendo la excelencia en ingeniería a través de sus conocimientos” (MARIASIU, 2011). En donde la industria automotriz se ve beneficiada con el aporte de conocimientos ingenieriles en base a sus profesionales, los cuales se obtienen de la Fórmula Student debido a que las carreras universitarias específicamente las técnicas promueven a cubrir

plazas de trabajo existentes en la industria nacional e internacional. En esta prestigiosa competición participan las mejores universidades de países como EEUU, Alemania, Italia, Brasil, Japón, entre otros; siendo la Universidad Politécnica del Ejército y la Universidad Politécnica Salesiana representantes de Ecuador en la Fórmula SAE. Todas estas universidades utilizan la misma normativa base original de la Fórmula SAE y llegan a albergar hasta 120 equipos y más de 2.000 estudiantes según la Fórmula Student, 2013. Los resultados de las competiciones son tabulados y puntúan en el ranking mundial. (SAE, 2014)

Figura 1. Equipo CISER en la Fórmula SAE



Fuente: <http://www.ciser.com.br/htcms/media/images/originals/ilustra-formula.jpg>

Es por tal razón, que la ESPOCH con su Carrera de Ingeniería Automotriz se enfoca en la manufactura de un prototipo tipo Fórmula SAE para que futuros estudiantes lleguen a participar en esta competencia altamente prestigiosa empleando conocimientos de los estudiantes, recursos y medios disponibles en el medio, así como también recursos internacionales ayudando de esta manera a futuras generaciones a tener ideas claras, información adecuada y conocimiento en el diseño del asiento ergonómico.

Este trabajo de titulación se basa en diseñar y analizar un asiento ergonómico utilizando programas computacionales CAD y con la aplicación del método de elementos finitos, que permita determinar el confort, seguridad y ergonomía al piloto durante el periodo de evaluación del monoplaza o en la competencia misma.

En base a proyectos de titulación y conocimientos de los estudiantes, la Carrera de Ingeniería Automotriz ha visto la necesidad de contar con un prototipo que permita ser

partícipes en la competencia Fórmula SAE con un equipo para alcanzar nuevas metas y reconocimiento nacional e internacional.

El constante desarrollo tecnológico a nivel mundial, busca el mejoramiento de conocimientos de los estudiantes, que hicieron propia la idea de referenciar el proyecto con utilización de softwares, que permitan realizar modelados, planos de dibujo y simulaciones del comportamiento de los elementos a fabricar, con la investigación de materiales que cumpla con las propiedades físicas y mecánicas necesarias para que trabaje de forma óptima con los demás elementos del prototipo, siendo el material más idóneo para esta aplicación la utilización de fibras naturales reforzados con resina poliéster.

Para la realización de este proyecto de titulación, el cual corresponde al diseño y construcción de un asiento ergonómico para el prototipo de Fórmula SAE se debe considerar parámetros primordiales de ergonomía y antropometría, la cual se conforma de un conjunto de datos de acuerdo a la región de estudio, además de las restricciones propias planteadas por la Formula SAE, que nos permitan una mejora continua en la formación profesional.

Por lo tanto, es de suma importancia ser competitivos mostrando cada uno de los conocimientos adquiridos en las aulas durante la formación profesional, aportando a la sociedad con información y recursos tecnológicos que permitan el realce y reconocimiento institucional a nivel nacional e internacional.

### 1.3 **Justificación**

El presente trabajo de titulación se basa en diseñar un asiento ergonómico y firewall que cumplan los requerimientos planteados por la Fórmula SAE, utilizando programas computacionales CAD (SolidWorks 2016 para el modelado y Ansys Workbench 17.1 para su respectivo análisis) que permitan determinar los esfuerzos a los cuales está sometido la butaca, para poder analizar los resultados de manera realista.

Además, aportar al proyecto de fabricación de un monoplaza específicamente para la Carrera de Ingeniería Automotriz con la utilización de materiales compuestos reforzados por fibras naturales de cabuya y resina poliéster.

## 1.4 **Objetivos**

1.4.1 **Objetivo General.** Diseñar y construir un asiento ergonómico en fibra natural aplicado a un vehículo de competencia tipo Fórmula SAE para la ESPOCH.

### 1.4.2 **Objetivos Específicos:**

- Recopilar información y normas vigentes para la correcta elaboración del asiento ergonómico, en función del Estado Actual del Arte.
- Realizar el diseño del asiento ergonómico que permita el confort, utilizando la asistencia de softwares aplicando fuerzas actuantes considerando las restricciones de la Fórmula SAE.
- Construir el asiento ergonómico utilizando materiales compuestos y procedimientos adecuados que garanticen un correcto desempeño del piloto dentro de una pista.
- Adaptar el asiento ergonómico al chasis verificando que cumpla las restricciones de la FSAE.

## CAPÍTULO II

### 2. ANÁLISIS PARA LA ELABORACIÓN DE UN ASIENTO ERGONÓMICO EN VEHÍCULOS DE COMPETENCIA

Para la elaboración de un asiento para competición usualmente se realizan modificaciones a los existentes en vehículo convencional o se construyen de manera que cumplan los requerimientos en competencias de diferentes disciplinas o tipos. El asiento de competencia suele ser fabricado bajo normas o reglamentaciones que deben acatar cada uno de los equipos participantes, en donde se deben utilizar los mejores materiales según sea permitido, para la elaboración de este trabajo de titulación se basa en la normativa de la Fórmula SAE 2015, específicamente lo que concierne al asiento del piloto, reposacabezas, conjunto de arnés, etc., destinado a competencia es necesario trabajar sobre la ergonomía, confort y seguridad para el conductor durante pruebas de pista o en ciclos de conducción.

#### 2.1 Asiento

Son elementos destinados a la comodidad y seguridad, además permite unir al conductor y sus ocupantes con el vehículo de forma directa como se indica en la Figura 2. Su evolución, en los últimos años, ha sido muy significativa; pasando de ser un elemento simple en funcionamiento y estructura a elementos sofisticados donde la ergonomía y protección a los ocupantes en caso de impacto es primordial (siempre en combinación con el cinturón de seguridad del piloto), así convirtiéndose en el conjunto de seguridad pasiva del habitáculo. (NAVARRO, 2010)

El asiento va montado sobre el piso del habitáculo específicamente en el área de los ocupantes si el vehículo es de serie y en el área del piloto si es para competición en las diferentes disciplinas dentro del campo automotriz. Al utilizar asientos no ergonómicos generan cansancio y dolores de espalda a su conductor y pasajeros. Por lo cual un asiento netamente fiable permite el alojamiento adecuado del piloto, permitiendo la protección de los costados del abdomen durante impactos laterales, y además recoge adecuadamente la cabeza, cuando se produzca un alcance por detrás generado por otro vehículo durante la competencia misma.

Figura 2. Asientos de competición SPARCO PRO 2000 CARBON



Fuente: <http://www.leibat.net/asiento-competicion-2000-carbon-azul-p-25098.html?osCsid=ta1v6bjir8kqhl4bfjq7uh284>

2.1.1 **Tipos de asientos de competición.** Su clasificación puede realizarse atendiendo a diferentes criterios:

2.1.1.1 *Según su estructura.* Básicamente se dividen en:

- *Asientos individuales:* Se puede considerar como asientos individuales a los utilizados en las plazas delanteras en vehículos convencionales y en los de competición (Figura 3).
- *Asientos corridos:* Se puede considerar como asientos corridos a los utilizados en las plazas traseras de los vehículos de serie (Figura 3).

Figura 3. Según su estructura a) Asientos individuales, b) Asientos corridos



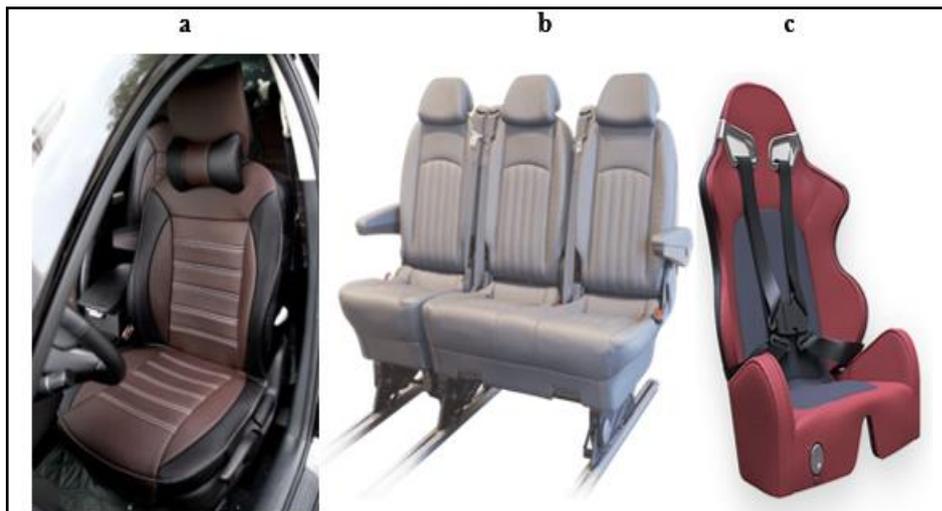
Fuente:

[http://static3.espaciocoche.com/wp-content/uploads/2010/07/baquet\\_sparco.jpg](http://static3.espaciocoche.com/wp-content/uploads/2010/07/baquet_sparco.jpg)  
<http://www.alvolante.info/wp-content/uploads/VW-CC-asientos-traseros.jpg>

2.1.1.2 *Según su funcionalidad.* En base al aprovechamiento del espacio interior del habitáculo se dividen en:

- *Fijos:* Se pueden considerar asientos fijos a los que permiten ciertos movimientos de regulación, además la estructura de estos asientos es rígida, suelen incorporar cinturones de seguridad y son los tradicionales asientos delanteros (Figura 4).
- *Articulados:* Se pueden considerar asientos articulados a los que pueden plegarse para permitir el acceso y además aumentar el espacio de las plazas traseras del vehículo convencional (Figura 4).
- *Monocasco:* Se pueden considerar asiento ultraligero, con tejido resistente al fuego, absorción de impactos y cojín antideslizante, utilizados específicamente para vehículos de competición (Figura 4).

Figura 4. Según su funcionalidad a) Asiento fijo, b) Asientos articulados, c) Asiento monocasco



Fuente:

<http://g03.a.alicdn.com/kf/HTB1T1oIJFXXXXXkXXXXXq6xXFXXXq/Balck-Brown-needlework-PU-leather-car-font-b-seat-b-font-font-b-cushion-b-font.jpg>

<http://www.grupoantolin.com/sites/default/files/images/asientoscompletos2.png>

[http://dhh3yazwboecu.cloudfront.net/480/coche\\_deportivo\\_broon\\_f8\\_14\\_ad\\_1.jpg](http://dhh3yazwboecu.cloudfront.net/480/coche_deportivo_broon_f8_14_ad_1.jpg)

2.1.1.3 *Según su confort.* Según la rigidez del material relleno se dividen en:

- *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 (Figura 5).

- *Blandos*: Son aquellos asientos empleados en todo vehículo de serie, donde se toma en consideración el confort, seguridad para la concepción y diseño (Figura 5).

Figura 5. Según su confort a) Asientos duros, b) Asientos blandos



Fuente:

<http://img.webme.com/pic/t/tottuning/s258.png>  
<https://www.interempresas.net/FotosArtProductos/P110932.jpg>

2.1.2 ***Accidentes producidos por vehículos de competición.*** Existen varios tipos de accidentes de tránsito relacionado a vehículos en carretera, por lo cual es de mucha importancia identificar el tipo de accidentes de tránsito a las cuales están sometidos el conductor durante los circuitos propios de la competencia.

Refiriéndonos a esto, se pueden identificar de acuerdo a la posición de impacto que sufre el vehículo FSAE, a continuación, especificaremos los percances que se presentan en la competición, siendo los siguientes:

2.1.2.1 ***Colisión.*** Se puede considerar un accidente por colisión como un encuentro violento entre dos o más vehículos en movimiento o por lo menos uno en movimiento al encontrarse en la misma ruta.

2.1.2.2 ***Estrellamiento.*** Se puede considerar un accidente por estrellamiento cuando existe choque de un vehículo que se encuentra transitando contra otro estacionado o un objeto que se encuentre presente en su camino.

2.1.2.3 ***Por alcance.*** Se considera un choque por alcance cuando un vehículo que va a cierta velocidad se impacta en la parte trasera del otro vehículo.

- *Lateral angular.* Se considera un choque lateral angular cuando la parte frontal de un vehículo, colisiona con la parte lateral de otro, formando un ángulo entre los dos.
- *Lateral perpendicular.* Se considera un choque lateral perpendicular cuando el ángulo de impacto entre dos vehículos es igual a 90°.

2.1.2.4 *Roce.* Se puede considerar un accidente por roce cuando debe producirse un impacto entre dos vehículos en movimiento cuyos daños materiales sólo comprometan la pintura y/o capa corrosiva, y en ocasiones muy levemente la plancha mecánica, llegando a ser:

- *Positivo.* Se considera positivo cuando los vehículos circulan en sentido opuesto durante el roce.
- *Negativo.* Se considera negativo cuando los vehículos circulan en el mismo sentido durante el roce.

2.1.2.5 *Volcamiento.* Se puede considerar un accidente por volcamiento cuando cuya consecuencia provoca la inversión de la posición del vehículo y la caída lateral de éste, llegando a ser:

- *Volcamiento lateral.* Se considera volcamiento lateral cuando se produce al giro el vehículo en sentido transversal.
- *Volcamiento longitudinal.* Se considera volcamiento longitudinal cuando se produce al girar el vehículo en el eje longitudinal.

2.1.2.6 *Choque.* Se puede considerar un accidente por coche cuando existe un encuentro violento de dos vehículos en movimiento a consecuencia de un error en la conducción y como consecuencia dejando pérdidas materiales, además daños irreparables a sus ocupantes.

- *Frontal longitudinal.* Se considera un choque frontal longitudinal cuando los dos ejes de los dos vehículos involucrados son opuestos y coincidentes durante este fenómeno.

- *Frontal excéntrico.* Se considera un choque frontal excéntrico cuando los dos ejes longitudinales no coinciden en forma recta durante este fenómeno.

2.1.2.7 *Rozamiento.* Se puede considerar un accidente por rozamiento cuando existe el impacto de un vehículo que se encuentra transitando contra uno que se encuentra estacionado o un objeto fijo, produciendo daños materiales como los causados en el roce.

2.1.2.8 *Caída.* Se puede considerar un accidente por caída cuando el pasajero pierde el equilibrio y cae del vehículo en movimiento produciendo lesiones a sus ocupantes.

2.1.2.9 *Despiste.* Se considera accidente por despiste cuando el vehículo sale de la vía sin que involucre la voluntad del conductor durante el ciclo de condición.

2.1.2.10 *Centrifugación.* Se considera accidente por centrifugación al producirse el despiste en una curva por efecto de la velocidad crítica que lleva el vehículo durante la conducción.

2.1.2.11 *Incendio.* Se considera accidente por incendio cuando existe la presencia de fuego no controlado debido a la quemadura de plásticos y acrílicos que son parte de la estructura del vehículo, además se requiere únicamente dos minutos para que el vehículo sea consumido.

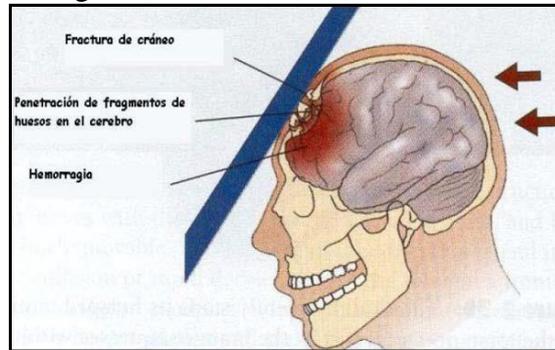
2.1.3 ***Lesiones producidas en las personas durante los ciclos de conducción.*** Las lesiones frecuentes que se presentan en accidentes de tránsito en competencias de cualquier categoría generalmente se dan en la cabeza y parte del tórax, producidos por el golpe directo contra el panel de instrumentos del automotor y el volante.

Por el proceso de desaceleración y condiciones de manejo durante el ciclo de la competencia, la mitad inferior del cuerpo es lanzada hacia adelante, luego, todo el cuerpo regresa a su posición inicial y el cuello sufre traumatismos que pueden generar daños en los conductores.

Los cuales se detallarán a continuación las lesiones más frecuentes que sufren los pilotos en accidentes de tránsito de acuerdo al tipo de conducción o circuito de competencia correspondiente a la FSAE, según su zona de afectación tenemos:

2.1.3.1 *Traumatismos en la cabeza.* Al haber un impacto de la hemicara izquierda con el ángulo constituido por los marcos del parabrisas y de la puerta izquierda, se pueden generar excoriaciones y fractura del hueso frontal de tal lado. (VARGAS, 2012)

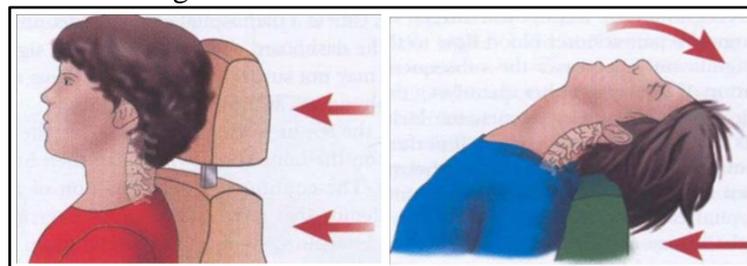
Figura 6. Traumatismos en la cabeza



Fuente: Cruz Roja Ecuatoriana. ATENCION PREHOSPITALARIA. 2da. Ed. Ecuador. 2002

2.1.3.2 *Traumatismos en el cuello.* Se pueden generar lesiones a nivel de la articulación occipito-atloidea, ruptura de ligamentos y cápsulas articulares, hemorragia intraarticular y separación del revestimiento cartilaginoso. Todo esto debido principalmente a que el paciente gira la cabeza a manera de péndulo, motivo por el cual, se suele afectar la columna cervical. Para evitar esta situación, se aconseja usar respaldos altos que protejan el occipucio. (VARGAS, 2012)

Figura 7. Traumatismos en el cuello



Fuente: Cruz Roja Ecuatoriana. ATENCION PREHOSPITALARIA. 2da. Ed. Ecuador. 2002

## 2.2 **Fórmula SAE**

La Fórmula SAE también llamada Fórmula Student, es una competencia automovilística a nivel internacional de universidades donde se basa en el diseño y construcción de un vehículo monoplaza, complementado con la participación anual de un grupo de estudiantes para representar a nuestras respectivas instituciones universitarias.

La primera competencia, en 1979 con la participación de la Universidad de Houston, donde Mark Marsbek al contactarse con el Departamento de Relaciones Educativas de la SAE. Propuso la evolución de la BAJA SAE, en donde el vehículo a construir es similar a un car-cross y posteriormente contar con la participación de cada uno de los grupos de estudiantes. Sin embargo, esta competición presenta muchas limitaciones como, por ejemplo: el motor proporcionado por la SAE debía ser estándar lo cual no permitir realizar ninguna modificación y en la propuesta de Marsbek buscaba darle mayor margen en el diseño del monoplaza.

En 1981, la Universidad de Texas en Austin organiza la primera edición de la Fórmula SAE con la participación de 4 equipos y un total de 40 alumnos.

En el año 2000, la Fórmula SAE es organizada en Inglaterra con la participación de universidades europeas, además brindando la posibilidad de competir a universidades de América y del resto del mundo. Esta competición contaba con la colaboración de empresas como General Motors, Daimler Chrysler y Ford.

El éxito alcanzado en este tipo de eventos y la participación por parte de las universidades de ingeniería a nivel mundial comienza a ser masiva, se han ido creando otras competiciones como: FSAE-Australasia en Australia (2002), FSAE-Japan en Japón (2003), FSAE-BRAZIL en Brasil (2004), FSAE-Italia en Italia (2005) y FSAE-Germany en Alemania (2006). Llegando a registrarse 120 equipos de colegios superiores y universidades participantes según la GUÍA DE EVENTO - 2015 FÓRMULA SAE MICHIGAN.

Para la evaluación del vehículo y equipo de competición se realizan pruebas estáticas y dinámicas en las que se califica rigiéndose a la normativa FSAE para pertenecer a este tipo de competición y posteriormente para su participación en las pistas.

La evaluación del vehículo se lo realiza simulando un evento real por grupo de ingenieros contratados o en ocasiones propios de la SAE, donde se califica inspección técnica, diseño, consumo, resistencia, costo y el autocross alcanzando una puntuación máxima de 1000 puntos los cuales permiten al equipo participar en tan prestigiosa carrera, siempre y cuando cumpla los puntos correspondientes a la evaluación de la competencia.

A continuación, se detalla los puntos posibles de evaluación de la competencia:

Tabla 1. Evaluación de la competencia

Eventos estáticos	75	Presentación
	150	Diseño
	100	Análisis de costos
Eventos dinámicos	75	Aceleración
	50	Skid-Pad
	150	Autocross
	100	Eficiencia de combustible
	300	Resistencia
Total, puntos	1000	

Fuente: Guía de evento-2015 Fórmula SAE Michigan.

2.2.1 **Consideraciones técnicas del asiento ergonómico según la FSAE 2015.** El diseño y fabricación del asiento y cortafuegos no es libre, hay algunas restricciones que tienen influencia en el proceso, las cuales deben optar cada uno de los grupos participantes en la revisión de sus vehículos:

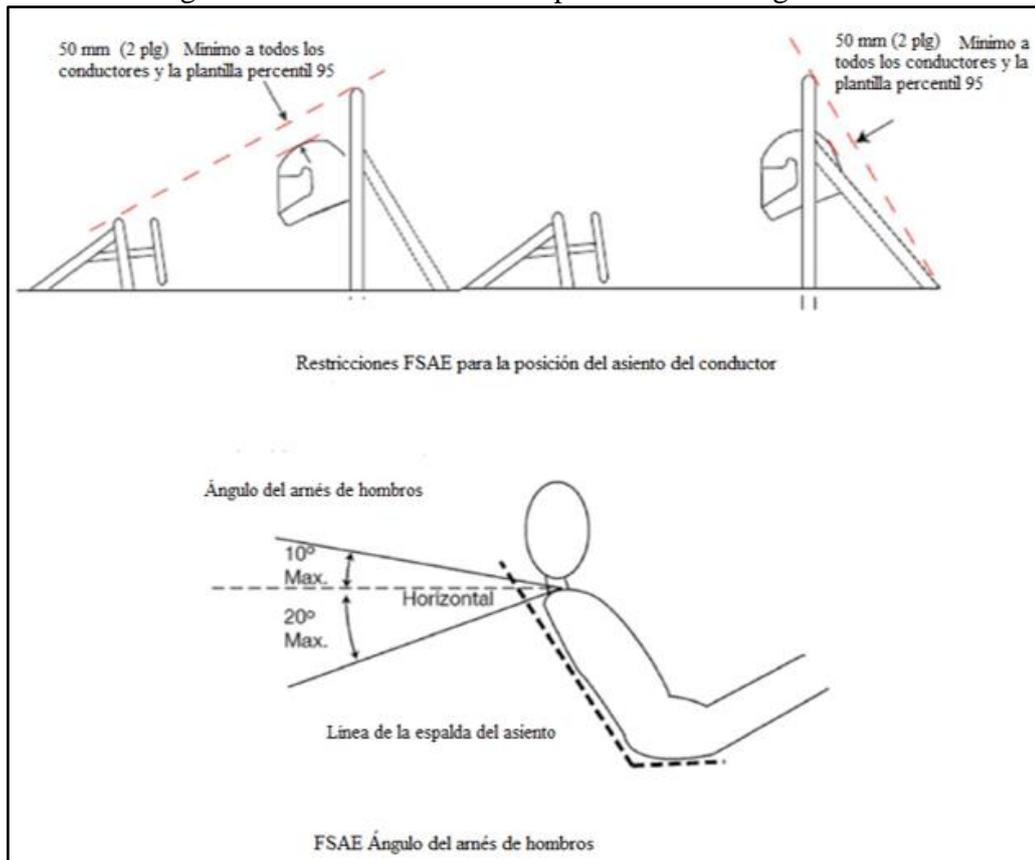
2.2.1.1 **Reglas restricciones.** Las restricciones principales que abarcan este trabajo son dadas por las reglas de la Fórmula Student publicada por la Society of Automotive Engineers International, en 2015.

Las normas específicas que afectan a la seguridad y cortafuegos están relacionadas con la posición del asiento del conductor y asuntos de seguridad citados en la Parte T, Artículo 3, 4 y 5 relacionado a Equipo del piloto (cinturones y relleno de la cabina) de las reglas Fórmula SAE 2015.

- **Posición del conductor:** La regla más importante se establece en una distancia mínima de 50 mm (2 pulgadas) desde el casco hasta el marco tubular del chasis en el vehículo.

Además, tenemos los ángulos mínimos y máximos del arnés de hombros del conductor en referencia a la línea de espalda del asiento como se indica en la Figura 8. Cada una de estas restricciones nos ayudan en el modelado y fabricación del asiento ergonómico y firewall correspondientes al presente trabajo.

Figura 8. Restricciones FSAE para el asiento ergonómico



Fuente: (SAE, 2014)

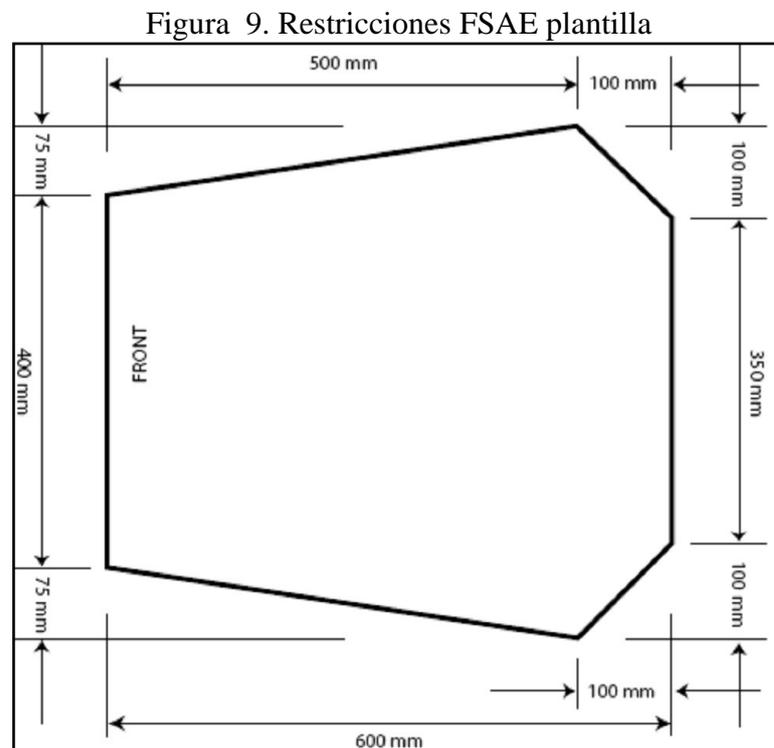
- *Visibilidad y seguridad del conductor:* La posición del asiento y la forma también son restringido por las reglas FSAE que hablan de la visibilidad del conductor y la seguridad, considerando el tiempo necesario para el conductor pueda salir de la cabina del piloto en caso de accidente durante la competición.

El conductor debe tener una visibilidad adecuada a la parte frontal y los laterales del vehículo, con el piloto sentado en posición normal de conducción que él o ella debe tener un campo mínimo de visión de 200° (un mínimo de 100° a ambos lados del conductor). La visibilidad requerida se puede obtener por el conductor girando su cabeza y/o el uso de espejos. Todos los conductores deben ser capaces de salir al lado del vehículo en no más de 5 segundo empezando por el conductor en la posición totalmente sentado, las manos conectadas al volante en posición de conducción y usando el controlador necesario del equipo de conducción. (SAE, 2014)

- *Aislamiento Firewall:* En relación con el firewall (contrafuegos) y el aislamiento térmico requerido para el conductor, estas son las reglas principales.

El firewall debe separar el compartimento del conductor de todos los componentes del suministro de combustible, aceite del motor y líquido de los sistemas de refrigeración y además debe proteger el cuello del piloto más alto. Además, debe ser una superficie no permeable hecha de un material natural rígido, protegido de un material ignífugo. El cortafuego debe sellar completamente contra el paso de líquidos, especialmente en los lados y el suelo de la cabina. (SAE, 2014)

- Plantilla: Además, con el fin de garantizar que la abertura que da acceso a la cabina es de tamaño adecuado, una plantilla se inserta en la cabina de apertura. Se llevará a cabo en horizontal y en vertical insertado hasta que haya pasado por debajo de la barra superior de la estructura de impacto lateral, como se indica en la Figura 9.



Fuente: (SAE, 2014)

Durante esta prueba, el volante, la columna de dirección, el asiento y todo el relleno puede eliminarse, pero el servidor de seguridad no puede ser movido o eliminado. En consecuencia, esta regla tiene mucha influencia en el diseño, y será crucial para decidir si el asiento y firewall se harán en una sola pieza o en dos, piezas. (SAE, 2014)

2.2.1.2 *Restricciones geométricas.* Inicialmente, es indispensable tomar en cuenta otros elementos constitutivos del vehículo que restringen el espacio y la geometría para

el asiento y cortafuegos del prototipo. El más importante es el chasis, ya que define el área de la cabina y fue diseñado en primer lugar.

En consecuencia, el diseño tiene que ser hecho de acuerdo con la forma de marco con el fin para encajar el asiento y contrafuegos en ella. Una parte de la trama, sino que también es necesario para coordinar el proceso de diseño con las diferentes etapas del volante y el sistema de suministro de combustible.

2.2.1.3 *Restricciones de fabricación.* También es necesario tener en cuenta las consiguientes restricciones del proceso de manufactura. Esto significa que la geometría del firewall (contrafuegos) y el asiento deben ser diseñados teniendo en cuenta las características y limitaciones de centros de mecanizado en nuestro entorno, una fresadora de 5 ejes CNC nos ayudaría para obtener los modelos del asiento y contrafuegos.

La más importante de estas restricciones es la necesidad de lograr y obtener la geometría del asiento ergonómico adecuado para poder llevar a cabo las últimas piezas de los moldes. Es por eso que se desea obtener superficies lisas y sin cambios bruscos de dirección y formas complicadas con el fin de evitar problemas durante las diferentes etapas de fabricación.

2.2.1.4 *Restricciones económicas y tecnológicas.* Por último, las etapas de diseño y fabricación están condicionados por la tecnología en nuestro medio y herramientas que no se encuentran disponibles actualmente, además del costo de los diferentes procesos y presupuesto del equipo es elevado. En consecuencia, se requiere realizar todas las operaciones de manera eficiente, pero siempre tratando para alcanzar un producto de calidad que cumpla las exigencias de tan prestigiosa competencia.

## 2.3 **Antropometría**

2.3.1 *Historia.* Desde hace siglos atrás tanto filósofos, teóricos, artista y arquitectos han mostrado gran interés en el cuerpo humano y sus dimensiones, ya que el ser humano siempre ha sentido la curiosidad de conocerse así mismo. De esta forma surgieron como las primeras medidas estandarizadas el codo, pie, pulgada, etc., que se utilizaron en la construcción de los espacios que eran destinados para habitar y sobrevivir.

Vitruvio, siglo I A.C., estaba no solo interesado en las dimensiones del cuerpo sino en las implicaciones metrológicas que estas suponían, creando a partir de su inusual interés un tratado de arquitectura donde se puede apreciar el uso de las medidas corporales en el arte.

Dionisio, durante la edad media, se expresó del cuerpo humano como de altura de nueve cabezas. Más adelante, el italiano Cenninno Cennini, durante el siglo XV, relacionó la altura del hombre igual a la anchura con sus brazos extendidos.

Leonardo da Vinci, durante la edad media, plasmó la figura humana a partir de los escritos de Vitruvio y su hombre-norma, en la cual el genio se representa supuestamente así mismo desnudo.

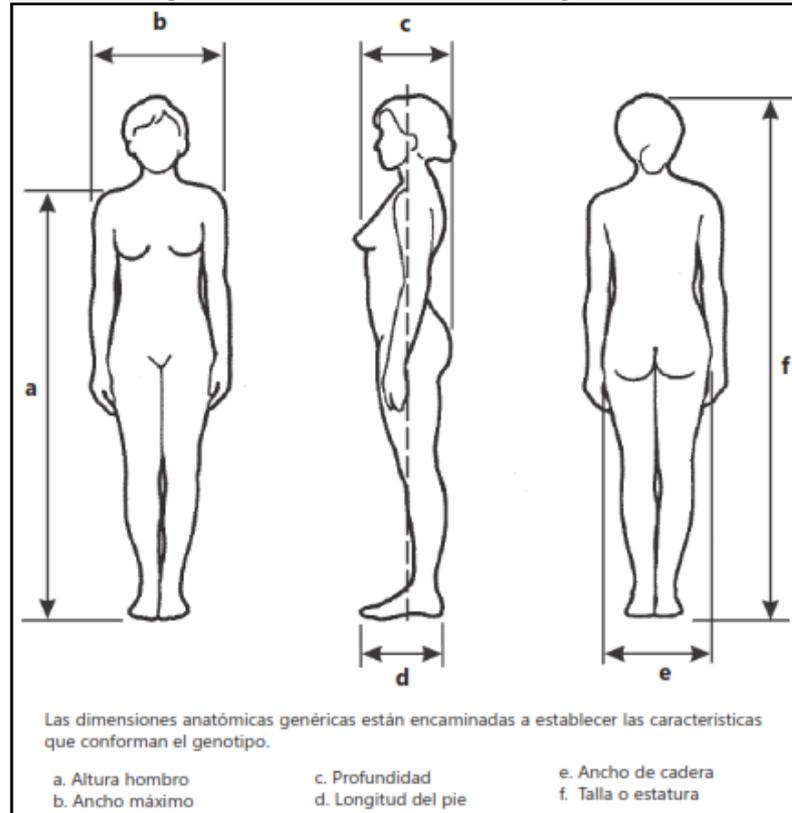
La antropología física data del siglo XVIII, durante el desarrollo de la antropometría racial comparativa, realizada por los antropólogos físicos: Linneo, Buffon y White, pero no fue hasta 1870 que gracias al matemático belga Adolphe Quetlet se consideró a esta ciencia descubierta y bajo sustento científico.

Durante 1940, la necesidad de información antropométrica en la industria se hizo notable, especialmente en la aeronáutica debida en gran parte a la segunda guerra mundial, históricamente se puede apreciar que el interés del ser humano está orientado a lo estético que, a lo metrológico, es decir, a las proporciones del cuerpo humano más que a las dimensiones y funciones absolutas de los mismos.

2.3.2 **Definición.** La palabra antropología se deriva de los vocablos griegos; antropos, que quiere decir hombres, y metrikos, que quiere decir medida; de esta manera podemos definirla como la medida del hombre, pero en un contexto mucho más amplio la antropología como ciencia es la encargada de estudiar en concreto las medidas y proporciones del ser humano.

Además, de tener los conocimientos, técnicas y tratamientos estadísticos de los datos de medición recolectados para determinar las diferencias entre los diversos individuos, etnias, grupos laborales, etc, que serán utilizadas para este tipo de estudio los cuales serán una parte de tan prestigiosa competencia, dichos datos se indica en la Figura 10.

Figura 10. Medidas anatómicas generales



Fuente: (CRUZ GÓMEZ, 2010)

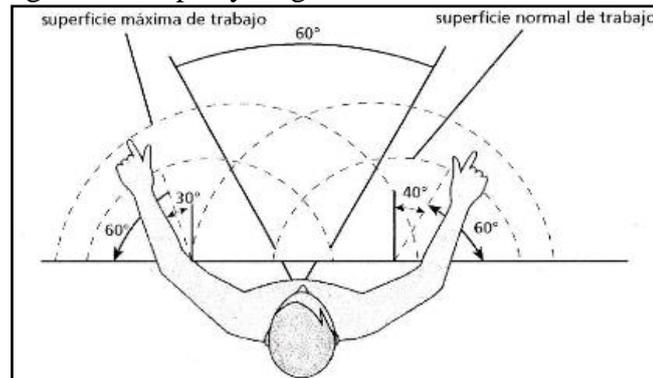
2.3.3 **Importancia.** Teniendo en cuenta el hecho de que los seres humanos no somos todos iguales, ya que existen factores como la edad, sexo, raza, nivel socioeconómico, etc., que varían sustancialmente las dimensiones correspondientes de cada persona. La antropometría se encarga de determinar, recolectar, analizar e interpretar este grupo de datos, debido a ello podemos diseñar espacios óptimos y funcionales para que una persona realice sus actividades diarias de forma concisa y sin sufrir fatiga; esta ciencia es un eje fundamental del diseño de objetos y espacios, ya que estos se consideran como extensiones del cuerpo y por tal motivo han de estar determinadas según las dimensiones del ser humano y los requerimientos de la situación.

2.3.4 **Clasificación de la antropometría.** Básicamente se dividen en:

2.3.4.1 **Estática.** Se toma en consideración las medidas en posiciones estándar, sea vertical o sedente, de la cabeza, tronco y extremidades. La recolección de datos se realiza a fin de determinar las dimensiones requeridas, que en total suman unas cincuenta variables como son: peso, estatura, anchos profundidades, longitudes, alcances, perímetros, grosores, etc.

2.3.4.2 *Funcional.* Las medidas adquiridas son obtenidas a partir de movimientos realizados por el cuerpo durante actividades específicas, por lo cual también se lo conoce como antropología compuesta, entre las cuales se engloban las trayectorias generadas por el cuerpo humano y los alcances del mismo. Los conjuntos de datos obtenidos a partir de las mediciones proporcionan el conocimiento necesario para determinar la posición, ubicación y movimiento del usuario con referencia a los objetos y su entorno (Figura 11).

Figura 11. Tipos y rasgos del movimiento dinámico



Fuente: (FLORES, 2001)

2.3.4.3 *Newtoniana.* Fue en el siglo pasado cuando la investigación de la biomecánica se entrelazó con el campo de la antropología, con el propósito fundamental de generar un modelo matemático con movimiento dinámico, a través de la recolección de datos de puntos y valores físicos del cuerpo humano mediante la aplicación de las leyes de movimiento de Newton. Actualmente se desarrollan técnicas para realizar las correspondientes mediciones en seres humanos vivos. Los datos antropométricos obtenidos a partir de cadáveres son: peso, volumen, centro de masa, momentos de inercia, radios de giro, etc.

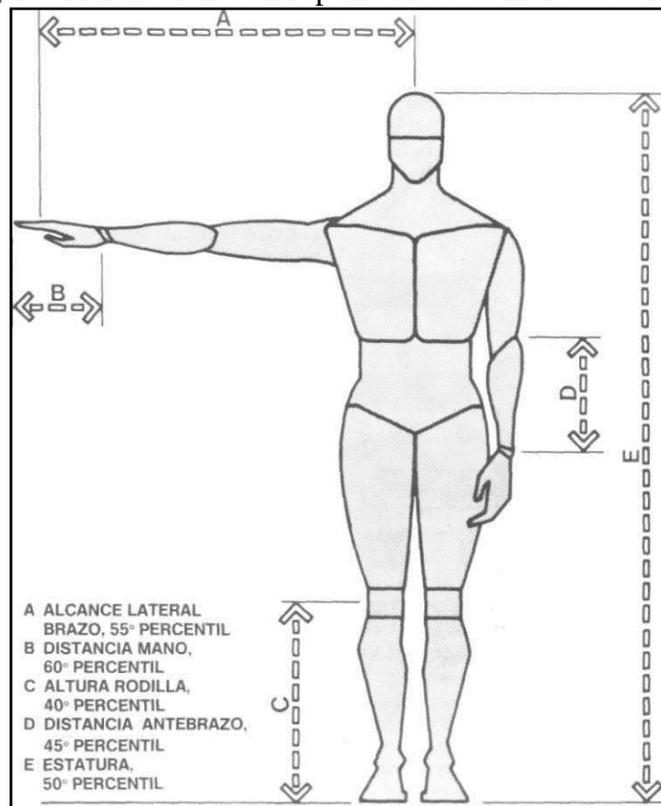
### 2.3.5 *Antropometría y el proceso de diseño*

2.3.5.1 *El hombre promedio y los límites de diseño.* Los diseñadores durante la segunda guerra mundial utilizaron la definición de hombre promedio con el propósito de sustentar sus trabajos. El uso de la definición de hombre promedio requería la fabricación de un maniquí que mantuviese las dimensiones promedio obtenidas dentro de un grupo de individuos, pero esta idea fue desechada debido a que ningún individuo dentro del grupo poseía dichas dimensiones, esto se debía a que el hombre promedio era solo una abstracción, además de que la variabilidad no era un factor a considerar.

Este sistema fue sustituido por los datos proporcionados por las tablas centilares y la desviación estándar. Debido a la facilidad de uso de las tablas centilares, estas han facilitado la aplicación de los límites de diseño, por lo cual resulta mucho más sencillo determinar los límites máximos y mínimos para satisfacer las necesidades de un determinado grupo de individuos. Albert Damon, en 1966, demostró las ventajas y bondades de satisfacer al 90% de los individuos de un grupo utilizando el percentil 5 y 95 como límites de diseño. Dicha tabla requiere de datos antropométricos representativos de acuerdo al grupo o sector que se requiere satisfacer.

2.3.5.2 *Presentación de datos, percentiles, variabilidad.* Al iniciar con la tarea de recolección de datos, estos siempre se han de encontrar desordenados, pero que en lo posterior se han de organizar lógicamente para destacar la frecuencia de los datos antropométricos respectivos. Debido a la variación en cuanto a las medidas de los cuerpos, es sumamente importante examinar la distribución estadística de los mismos, de este modo el diseñador podrá fijar límites y tomar decisiones. Estos datos pueden representarse en diagramas de columna o histogramas de frecuencia. El uso de percentiles requiere la noción de dos factores como se indica en la Figura 12.

Figura 12 Percentiles antropométricos de individuos reales

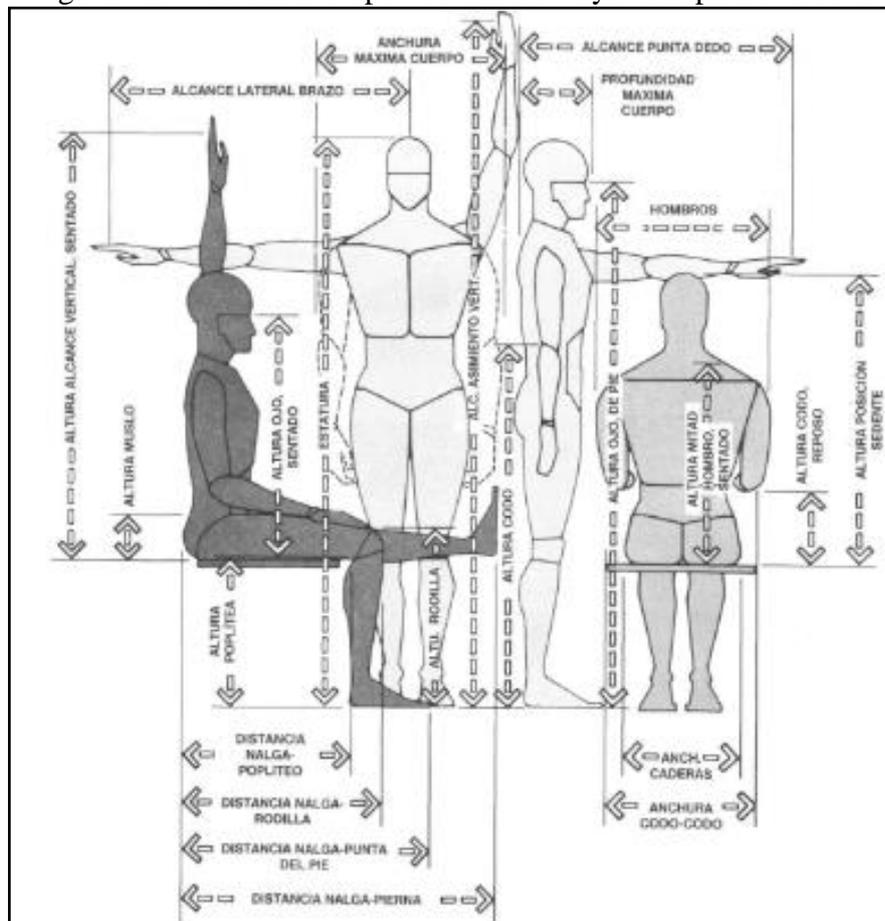


Fuente: (PANERO, 1996)

- Los percentiles antropométricos hacen referencia a un solo valor corporal.
- Las denominaciones percentil 5 y percentil 95, son cifras imaginarias que carecen de significado.

2.3.5.3 *Fuentes y tipos de datos.* La recolección de datos a menudo es una tarea costosa, larga e incómoda; además del requerimiento de profesionales capacitados, si lo que se pretende es obtener un muestreo confiable. Esta tarea es fundamentalmente realizada por personal militar que por civiles debido a que este sector es el más ávido de este tipo de datos antropométricos pues la necesidad de vestir y adecuar a los soldados es siempre urgente. A continuación, en la Figura 13, se presenta las medidas antropométricas generales para el uso dentro del campo de diseño.

Figura 13. Medidas antropométricas de mayor uso para el diseño



Fuente: (PANERO, 1996)

Albert Damon junto con su personal dictaminó que si lo que se pretende hacer es describir a un grupo de individuos con el propósito de ingeniería humana, los diez parámetros dimensionales esenciales que hay que considerar:

- Peso
- Estatura
- Altura (posición sedente)
- Distancia nalga-rodilla.
- Distancia nalga-poplíteo
- Separación entre codos
- Separación entre caderas
- Altura de las rodillas (posición sedente)
- Altura de poplíteos (posición sedente)
- Anchura de los muslos (posición sedente)

#### 2.4 **Ergonomía en la industria automotriz**

Tradicionalmente, en el proceso de diseño de automóviles se toma en consideración una serie de factores durante la fabricación para obtener vehículos fiables y ergonómicos es uno de los ámbitos en los que ahora están compitiendo, y en busca de una ventaja en el mercado.

El diseño centrado en el usuario está en aumento en todas las áreas de diseño y compra de productos, la población es cada vez más conscientes de los problemas de ergonomía y mucho más exigente sobre los productos que adquieren. Hace cinco años algunos de los principales fabricantes de automóviles no lo hicieron emplear sus propios ergónomos de la casa, pero ahora casi todos ellos lo hacen. Sin embargo, todavía hay gran parte de la industria del automóvil, cuyo conocimiento de ergonomía es extremadamente limitada, cada vez más, ergonomía, prácticas, herramientas y técnicas se emplean en una gran variedad de formas a lo largo de la industria automotriz.

Los fabricantes de automóviles en el mundo tienen un director de diseño de ergonomía, que utiliza herramientas y técnicas propias de la empresa para obtener equipos ergonómicos que satisfagan las exigencias del consumidor final.

La alta dirección debe tener en cuenta la contribución de la ergonomía a ser fundamental para el diseño de procesos. Grandes fabricantes de automóviles emplean ergónomos calificados en equipos de entre 2 y 5 personas. En aquellas empresas grandes, donde no

hay ergónomos, la responsabilidad de ergonomía todavía reside con los ingenieros en la cual depende del conjunto de habilidades que posea para llegar a tener productos de calidad.

En casi todos los casos en los que hay ergónomos que están involucrados en pre-programa, es decir, tener una entrada a la definición del vehículo y la priorización de sus características antes de iniciar el programa de diseño. Por otra parte, están involucrados desde el principio del concepto diseñar el escenario, sobre todo en las empresas de propiedad extranjera en pre-programa puede tener lugar en la empresa matriz. Una vez que el programa de diseño comienza los objetivos de la ergonomía ya definidos y entregables deben cumplirse.

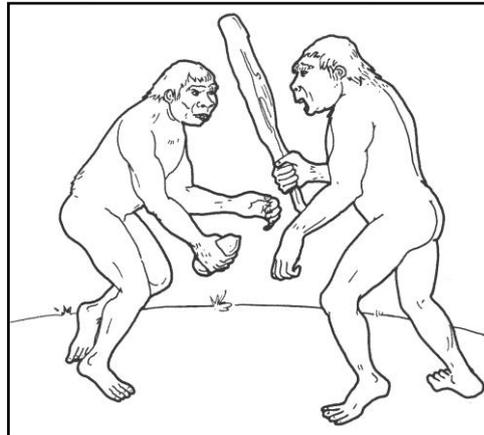
Cuando la ergonomía se ha convertido en una parte formal del proceso de diseño, los ergónomos son responsables de todos los aspectos de ergonomía y donde hay departamentos separados. En todos los casos, tienen entrada para el diseño de pantallas, controles, lógica de funcionamiento de los indicadores y controles, embalajes, asientos, entrada / salida, y el acceso a áreas de equipaje.

Las herramientas y técnicas utilizadas por los ergónomos en la industria automotriz son las mismas fuentes de datos y herramientas de CAD. Este estilo también puede ser apropiado para ergonomistas e ingenieros, pero hay buena evidencia que no es apropiado para la mayoría de los diseñadores. La traducción de los datos numéricos en datos visuales; productor Parcelas CAD para mostrar las zonas de alcance que se alimentan directamente en el software que los diseñadores utilizan; haciendo marcas directamente sobre modelos de arcilla para comunicar recomendaciones de diseño; y utilizando todas las herramientas multimedia que son comunes en las presentaciones de diseño y lo visual exploración de ideas de diseño.

2.4.1 **Historia.** La historia de la ergonomía abarca toda la existencia del hombre, pues el, desde sus inicios, se ha valido de sus facultades adaptándose y utilizando los recursos proporcionados por la naturaleza para asegurar su supervivencia. Este desarrollo tomo una transición de miles de años, aun así, este proceso lento marcó el comienzo de la superioridad del hombre sobre los animales y de una evolución progresiva que llevó a los logros y complejidad del presente. (CRUZ GÓMEZ, 2010)

El hombre descubre que una rama caída puede servirle como arma defensiva y ofensiva contra otros homínidos o animales. Corrige que el grosor del garrote para agarrarlo debe acomodarse al tamaño de su mano; además, la longitud es importante, porque si es muy largo tiene menos posibilidades de acción, y si muy corto, el enemigo queda muy cerca; si es pesado se hace difícil de manejar. Todo este proceso de prueba y error pudo tomar milenios, pero finalmente logro un instrumento apropiado ergonómicamente que evoluciono al hacha y a la lanza. (CRUZ GÓMEZ, 2010)

Figura 14. Historia del garrote



Fuente: (CRUZ GÓMEZ, 2010)

El hombre realiza una larga serie de avances, producto de la exploración y experimentación instintiva o consciente. Los implementos de caza, agricultura y vivienda marcan la evolución cultural, desde la elaboración de utensilios, 350.000 años antes de nuestro tiempo, por el australopithecus, hasta el homo sapiens que cada día fabrica sus herramientas con mayor sofisticación. (CRUZ GÓMEZ, 2010)

La historia industrial del hombre se caracteriza por la utilización de objetos, sus métodos de producción y sus aplicaciones en el grupo social las cuales se distinguen tres etapas: doméstica, artesanal e industrial.

2.4.1.1 *Doméstica.* Esta etapa se caracterizó por la habilidad que desarrollaban las personas para la elaboración de utensilios que satisfagan sus necesidades y las de sus allegados como se muestra en la Figura 15.

Además, su producción era limitada por la ausencia de materia prima y herramientas para su construcción, en donde la conducta social del individuo fue variando a medida que

enfrentaba circunstancias de peligro, con el establecimiento de nuevos roles en la sociedad, condición que dio paso a una nueva etapa considerada como artesanal.

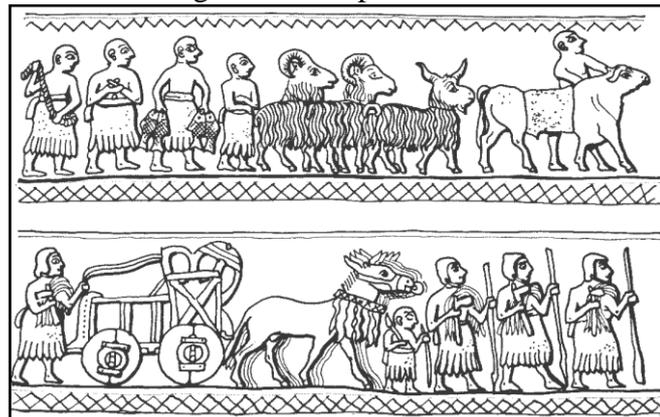
Figura 15. Elaboración de puntas de lanza por percusión



Fuente: (CRUZ GÓMEZ, 2010)

2.4.1.2 *Artesanal.* Esta etapa se caracterizó por el desarrollo de artefactos utilitarios debido a la demanda dentro o fuera de la casa como también en mercados locales o regionales, sus inicios se originaron debido al crecimiento y aumento de grupos sedentarios y a la asignación de nuevos roles especializados dentro de la sociedad, que permitió la ampliación del oficio y el consecuente desarrollo de sus herramientas para desempeñar variados roles para sus miembros como gobernantes, militares, sacerdotes, artesanos, labriegos, pescadores, mercaderes como se indica en la Figura 16.

Figura 16. Etapa artesanal



Fuente: (CRUZ GÓMEZ, 2010)

En la Figura 16 se detalla la división de las actividades de comercio y migración, en donde aparece la utilización de la rueda como herramientas de trabajo; el comienzo de la fabricación de textiles para vestimenta y transformación de la organización social, el sistema económico y la estructura del grupo familiar.

2.4.1.3 *Industrial.* Esta etapa se caracterizó por los cambios que llevaron a transformar pueblos de actividades básicamente campesinas a la sociedad industrial, obedeciendo al desarrollo que exigía mayor producción, considerando ciertos aspectos en los procesos de fabricación.

A mediados del siglo XVIII en Europa las ciudades eran de reducida extensión con una actividad manufacturera limitada, en donde los artesanos laboraban en talleres propios y poseían herramientas fabricadas por ellos mismos. Los avances tecnológicos ayudan a cubrir la demanda de la población, en donde inicia una etapa denominada Revolución Industrial de producción masiva, además aparecen inventos como: la máquina de vapor y el telar mecánico en Inglaterra. La atención de los inventores se dirigió principalmente a construir máquinas capaces de producir más y a menor costo aprovechando la fuerza mecánica, como avance dentro del ámbito social y cultural.

2.4.2 *Definición, enfoques y necesidad.* Podemos encontrar tantas definiciones de ergonomía, en la cual resulta difícil definir cualquier actividad humana, y menos cuando se trata de una disciplina científica cuyos objetivos se encuentran en constante movimiento, renovación e innovación de acuerdo al momento histórico que fue gestado.

Etimológicamente podemos definir a la ergonomía como “Ergos: trabajo y Nomos: leyes naturales”. (OBORNE, 1987)

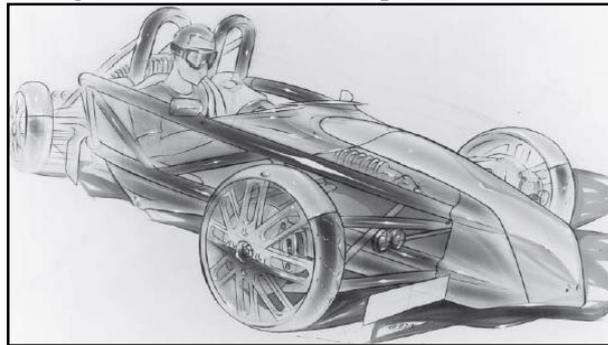
“La ergonomía se define como el estudio científico de las relaciones entre el hombre y su medio ambiente laboral”. (MURRELL, 1963)

La ergonomía es la disciplina tecnológica que trata del diseño de lugares de trabajo, herramientas y tareas que coinciden con las características fisiológicas, anatómicas, psicológicas y las capacidades del trabajador. Buscando la optimización de los tres elementos del sistema (humano-máquina-ambiente), para lo cual elabora métodos de estudio de la persona, de la técnica y de la organización.

El Consejo de la International Ergonomics Association (IEA), que agrupa a todas las sociedades científicas a nivel mundial estableció desde el año 2000 la siguiente definición, que abarca la interdisciplinariedad que fundamenta esta disciplina.

2.4.3 **Funciones piloto –vehículo.** Considerar a los pilotos como el mejor postor en la toma de decisiones en el ciclo de conducción de los prototipos FSAE, es capaz de improvisar, a través de su experiencia en caso de sufrir un despiste u otro accidente. Por otro lado, los vehículos son altamente eficaces para desarrollar potencia, agarre aerodinámico al piso por medio de otros elementos constitutivos del mismo para cumplir las exigencias de la competencia, las cual serán reflejadas en las destrezas del piloto.

Figura 17. Funciones del piloto-vehículo

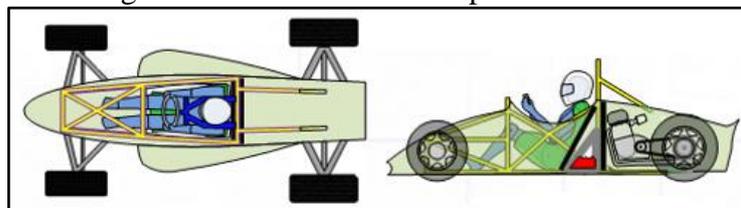


Fuente: (HAPPIAN, 2002)

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.

2.4.4 **Sistemas piloto – vehículo.** 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 en pista, si este se adopta a los requerimientos de su prototipo, se establece una relación entre ambos para un mejor desempeño, como se indica en la Figura 18.

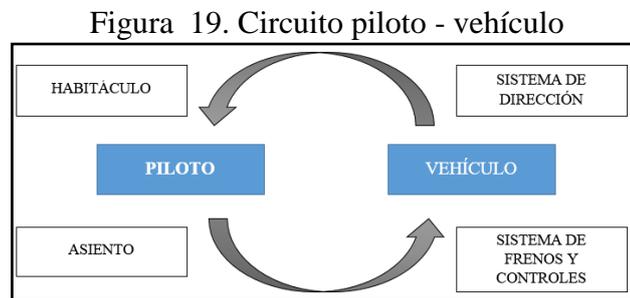
Figura 18. Relación sistema piloto-vehículo



Fuente: [http://www.buildyourownracecar.com/wp-content/uploads/Safety\\_Firewalls.png](http://www.buildyourownracecar.com/wp-content/uploads/Safety_Firewalls.png)

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

(Figura 19), donde está claramente detallado los elementos a los cuales tiene acceso el conductor.



Fuente: Autores

2.4.5 **Métodos empleados en ergonomía.** Dentro de la ergonomía existen diversos métodos, pero para este estudio se utiliza la influencia ergonómica.

2.4.5.1 **Influencia ergonómica.** Para encontrar la mejor posición ergonómica del asiento se construye una maqueta de perforación. Esta alfombra fue hecha para ser totalmente ajustable para que los miembros del equipo pudieron encontrar su posición de descanso. Los datos de medición de cada conductor se compilaron y se muestra en la siguiente tabla. Las dimensiones más importantes para el modelado de los coches se pueden ver a continuación en la Tabla 2 y la Figura 20.

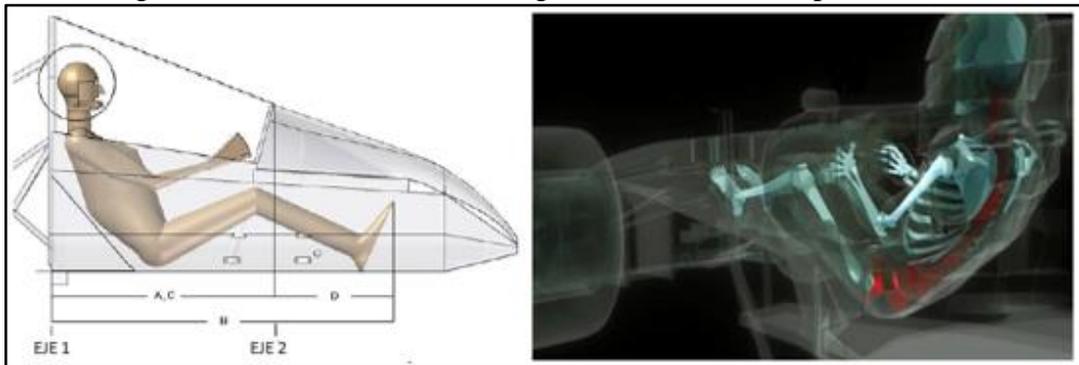
Tabla 2. Datos ergonómicos de los prospectos para piloto

Piloto	Eje 1.		Eje 2.	
	A (cm)	B (cm)	C (cm)	D (cm)
Héctor	75,60	130	-75,60	54
Darwin	76,20	127	-76,20	50,80
Patricio	77,50	130	-77,50	52,10
Mesías	77,50	127	-77,50	54,60
Gonzalo	78,70	130	-78,70	50,80
Diego P.	78,70	130	-78,70	50,80
Diego	80	130	-80	49,50
William	82,55	137	-82,55	54,60
<b>Máximo</b>	82,55	137	-75,60	54,60
<b>Mínimo</b>	75,60	127	-82,55	49,50
<b>Media</b>	78,35	130,13	-78,35	52,15
<b>Desviación estándar</b>	2,74	3,17	2,74	1,90
<b>Rango</b>	6,95	10	6,95	5,10

Fuente: Autores

Como puede verse, la dimensión D para todos los conductores es muy estrecha con una desviación estándar de 1,90 cm y un rango de 5,10 cm. El rango de valores de D puede ser compensado por un sistema de pedal ajustable, que se incorpora en el montaje final del vehículo. Las distancias A y C serán compensadas por diferentes espesores de espuma del asiento del conductor para diferentes alturas. El asiento entonces será modelado para la posición conductor más grande y todavía se puede ajustar para los conductores más bajos.

Figura 20. Dimensionamiento ergonómico con marco percentil 95<sup>th</sup>

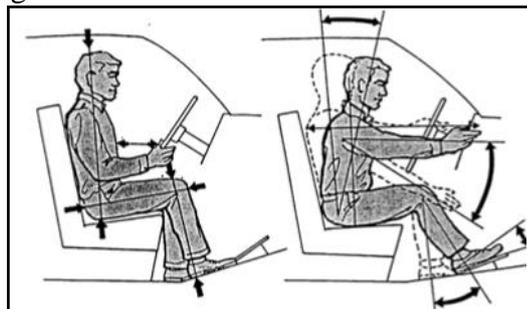


Fuente: (HYNES, y otros, 2006)

## 2.5 Diseño automotriz

Debido al interés que genera el conocimiento de las dimensiones humanas y los factores que intervienen en el desarrollo óptimo de las actividades y funciones, la antropometría se ha convertido en una ciencia indispensable para el desarrollo de objetos y espacios que cumplan con requerimientos específicos. Tal es el caso de la industria automotriz, dentro de la cual, el adecuado desempeño del conductor está determinado por un sin número de factores, pero entre los cuales destacan las dimensiones, la adaptación, si el diseño es individual o público, etc., como se indica en la Figura 21.

Figura 21. Diseño del entorno del conductor



Fuente: (BAUTISTA, 2002 pág. 77)

Debido a que la antropometría es definida como el proceso de medición de las dimensiones del cuerpo, de la misma forma la antropometría estática se enfoca en la medición del cuerpo humano, pero en posiciones estandarizadas y rígidas, y cuyos datos son utilizados para el diseño del equipo de trabajo o función, como lo es la profundidad, altura y ancho del asiento, donde el movimiento del cuerpo no es una variable importante.

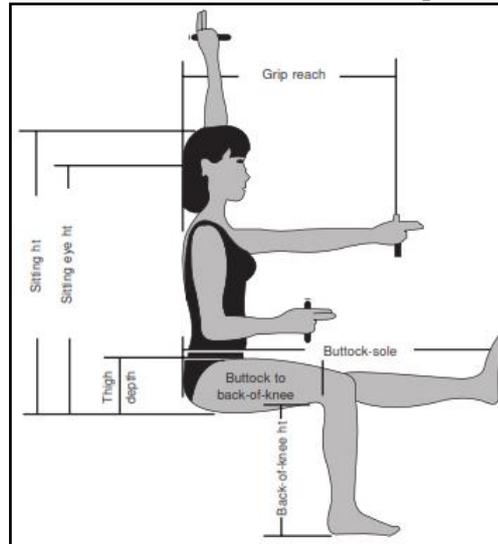
La antropometría dinámica se enfoca en la medición del cuerpo humano durante movimiento desarrollado o la ejecución de su trabajo, como lo es el alcance funcional de los brazos, que es un factor de la longitud del brazo superior, inferior y la mano; así como también el rango de movimiento del hombro, codo, muñeca y dedos. Los datos generados por la antropometría dinámica son utilizados para determinar y establecer la ubicación de controles usando el alcance proyectado por las manos, los pies y la cabeza.

Los cinturones de seguridad y los air bags utilizan los datos concernientes a los arcos descritos por varias partes del cuerpo, obtenidas en condiciones de choque. La biomecánica por otro lado, se centra en la medición de rangos, fuerzas, resistencia, velocidad y exactitud de los movimientos humanos; dichos datos de igual manera son utilizadas para el desarrollo de controles para determinar rangos satisfactorios de control de movimiento y fuerzas de operación.

Los datos antropométricos y biomecánicos son comúnmente especificados en términos de percentiles, en el cual se requiere dividir a la población en 100 partes, clasificándose desde el menor hasta el mayor, respecto a un tipo específico de medidas corporales. Los datos obtenidos mediante estas dos ciencias son extremadamente útiles para el diseñador durante las fases iniciales del diseño o cuando un diseño innovador está siendo considerado. Los datos generados pueden decirnos hasta donde una persona puede estirarse, pero no como el diseño, la ubicación y la dirección del recorrido de una variedad de controles pueden afectar el desarrollo de la conducción, comodidad y seguridad del individuo.

Los métodos antropométricos han cambiado en la actualidad, debido al uso de scanner de cuerpo, dicho sistema permite la recolección de miles de puntos de información del cuerpo del ser humano, por lo cual este tipo de información está empezando a ser usado en los sistemas de modelación humana, como se indica en la Figura 22.

Figura. 22. Dimensiones consideradas para el diseño



Fuente: (HAPPIAN, 2002)

2.5.1 *Tratamiento de datos antropométricos para el diseño automotriz.* La estrategia utilizada en el sector automotriz compete una serie de pasos para garantizar datos fidedignos para el proceso de diseño, los cuales se describe a continuación:

- Se ha de determinar los datos relevantes a obtener de los usuarios previstos, teniendo en cuenta su raza, ocupación, edad, sexo y discapacidades. Los datos obtenidos han de ser determinadas de acuerdo a tareas específicas como, por ejemplo: alcanzar una palanca que será presionada.
- Al diseñar para rangos ajustables donde la fatiga mínima, desempeño óptimo, comodidad y seguridad son requeridas, se utilizará el valor del primer percentil del sexo femenino y el nonagésimo noveno percentil del sexo masculino en donde sea necesario.
- Al realizar el diseño para el promedio, cuando la adaptabilidad no es factible, el valor promedio será usado con el fundamento de que causaría menos inconvenientes y dificultad a la población usuaria que a alguien fuera de dicha población.
- Los límites de diseños se han de establecer de acuerdo con el valor del quinto percentil para el sexo femenino y el nonagésimo quinto percentil para el sexo masculino.

- Al diseñar para individuos extremos, se ha de establecer el espacio libre a partir del valor percentil superior y el alcance máximo o fuerza, a partir del valor percentil inferior.

2.5.2 **Modelos a escala “Quick and Dirty”.** Los modelos quick and dirty son recursos frecuente mente usados tanto en la industria como en los proyectos de estudiantes de diseño automotriz para obtener información de forma rápida y de un nivel de exactitud aceptable, que en lo posterior serán utilizados para informar, resolver el diseño actual o informar acerca del desarrollo en CAD o modelos físicos, para ser usados en métodos formales. El modelo quick and dirty es generado a partir de materiales disponibles, ya sea madera, espuma o metal. Dicho modelo es utilizado cuando la información requerida no está disponible y los recursos como el dinero y tiempo son restringidos.

Los modelos a escala permiten examinar los problemas concernientes al asiento y los rangos de modificación de la dirección de las ruedas, ingreso/egreso y la visibilidad hacia la parte posterior. Los sujetos de prueba son aquellos que resulten adecuados y que cumplen los percentiles de la población estudiada, como se indica en la Figura 23.

Figura 23. Modelo a escala de “Quick and Dirty”



Fuente: (HAPPIAN, 2002)

2.5.3 **Modelos asistidos por softwares de diseño.** El uso de softwares para el desarrollo de modelos se logra mediante la aplicación de datos antropométricos, si es que estos existen en una base de datos para la población de estudio, pero a menudo dichos datos poseen defectos debido a que han sido obtenidos sin tomar consideraciones de las necesidades que los sistemas de diseño y modelado 3D requieren.

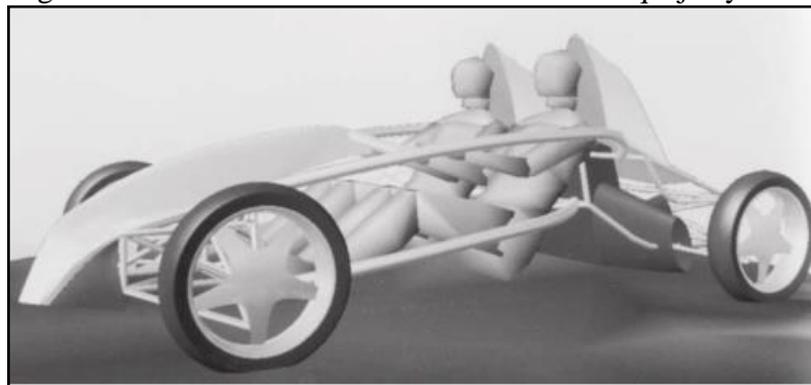
La técnica de escaneo 3D, que es un proceso relativamente reciente, por medio del cual se obtienen miles de puntos de información desde la superficie de cualquier cuerpo, lo que permite modelar a cualquier persona u objeto con un nivel de exactitud considerable.

Debido a que los modelos humanos poseen varios números de articulaciones, los cuales plantean problemas para los diseñadores, quienes deben decidir una postura realista del modelo; la aplicación de softwares facilita la determinación de decisiones gracias a las pruebas de alcance automáticas, dinámica inversa y comportamiento de la sujeción. El desarrollo de modelos humanos en sistemas CAD tiene el potencial de ofrecer mayor validez a través de una simulación que los tradicionales maniquís 2D.

2.5.4 *Características de diseño de un asiento.* La naturaleza del vehículo, combinado con el peso y las restricciones de costo, requieren que el material de fabricación, el ángulo del espaldar fijado y el estilo del compartimiento del asiento constituyan la solución más sencilla, además para el ajuste del asiento se ha de considerar el tamaño y distancia de los pedales. Subsecuentemente, el diseño del asiento es desarrollado en arcilla, basándose en las dimensiones antropométricas básicas, las mínimas para la longitud del asiento y las máximas para la altura y anchura del espaldar.

Los diseñadores son reacios al incluir una restricción para la cabeza como una parte del diseño, asegurando que esto arruina el estilo y la estética del vehículo. La forma y la estética del asiento son desarrolladas con referencia a constantes de ambos extremos de la población objetivo del diseño, como se indica en la Figura 24.

Figura 24. Desarrollo del diseño a través de bosquejos y CAD



Fuente: (HAPPIAN, 2002)

## 2.6 **Fibras naturales**

Las fibras naturales presentan formas alargadas extraídas propiamente de plantas y pieles de animales, que al ser hiladas se puede obtener hebras, hilos para el uso dentro de la industria textil u otros ámbitos de la manufactura.

Los textiles elaborados por fibras naturales han sido parte fundamental de la vida humana desde sus inicios.

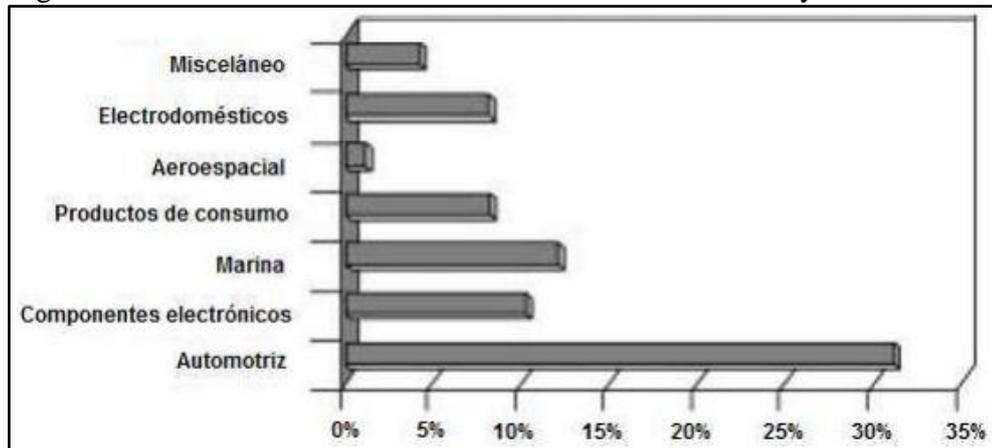
Según la FAO en su folleto, Año internacional de las fibras naturales 2009, menciona que “En México y en Pakistán se han encontrado vestigios de artículos de algodón de 5.000 a C. Según la tradición china, la historia de la seda se inicia en el siglo XVII a C.

El tejido de lana más antiguo, descubierto en Dinamarca, data de 1.500 a C, y el tapete de lana más antiguo, de Siberia, es del año 500 a C. Fibras como el yute y el bonote se cultivan desde la antigüedad.”

Si bien desde entonces han evolucionado los métodos para la obtención, procesamiento, tratamiento y fabricación de fibras naturales para la industria textil.

Sin embargo, también son utilizadas para otros sectores como se indica en la Figura 25, los cuales se usan también cada vez más con propósitos industriales: como elementos de materiales compuestos, en implantes médicos y en geotextiles, agrotextiles y en el sector automotriz.

Figura 25. Uso de fibras naturales en la industria automotriz y otros sectores



Fuente: (YAMAGATA, 2015)

En la Tabla 3 se presentan las propiedades mecánicas de las principales fibras naturales de origen vegetal y animal que se utilizan dentro de la industria a nivel mundial. Una de las destacadas a nivel industrial en los últimos años es el sector automotriz que se dedica a realizar elementos auto montables fabricados con materiales compuestos reforzados con fibras naturales, ayudando a la preservación del ambiente.

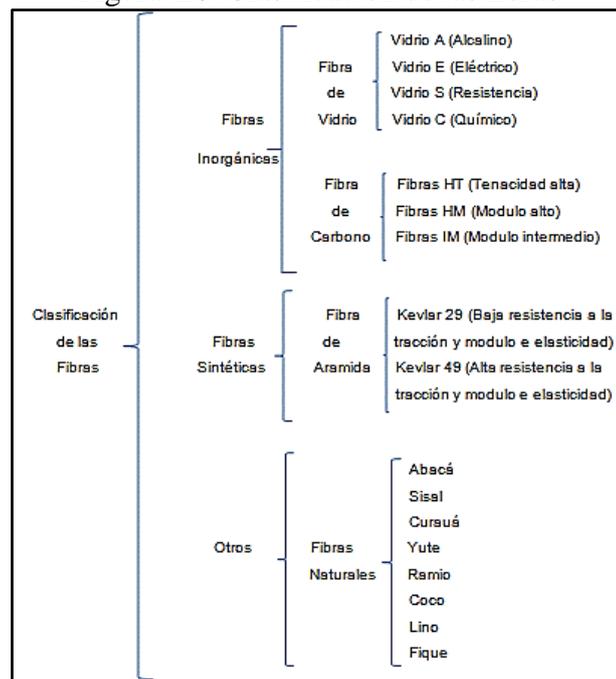
Tabla 3. Características mecánicas de diferentes fibras naturales y sintéticas

Fibra	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Resistencia a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (GPa)	Elongación a la fractura (%)	Absorción de la humedad (%)
Cabuya	1,3	305,15	7,5	4,96	...
Yute	1,3	393 – 773	26,5	1,5 – 1,8	12
Coco	1,2	175 – 220	4 – 6	15 – 30	10
Abacá	1,3	400 – 1289	45	2,7	8 – 10
Sisal	1,5	511 – 635	9,4 – 22,0	2,0 – 2,5	...
Algodón	1,5	393 – 773	27,6	7 – 8	8 – 25
Ramio	1,5	400 – 938	61,4 – 128	3,6 – 3,8	12 – 17
Lino	1,5	345 – 1035	27,6	2,7 – 3,2	7
Cáñamo	1,4	690	35	1,6	8
Vidrio – S	2,5	2000 – 3500	70	2,5	...
Vidrio – E	2,5	4570	86	2,8	...
Aramida	1,4	3000 – 3150	63 – 67	3,3 – 3,7	...
Carbono	1,4	4000	230 -240	1,4 – 1,8	...

Fuente: (TAMAYO DUQUE, 2012)

Las fibras naturales, están constituidas de filamentos de origen vegetal, natural, mineral y animal que, por sus características físicas y químicas, tienen aplicaciones diversas. Su aprovechamiento se ha evidenciado desde épocas tan antiguas como la humanidad misma.

Figura 26. Clasificación de las fibras



Fuente: (RANA, Sohel & FANGUEIRO, Raul, 2016)

Las plantas productoras de fibra son de gran importancia, después de las plantas alimenticias, por la influencia social y economía que representa para el ser humano. Muchas de estas plantas han sido usadas por el hombre para la fabricación de tejidos e hilos. Las fibras se han obtenido a partir de raíces, tallos, hojas, frutos y semillas, (Figura 26) se identifica claramente una clasificación general según su origen.

Actualmente, existe una creciente demanda mundial de fibras naturales gracias a la conciencia que se ha ido tomando frente al enorme impacto que las fibras sintéticas ejercen sobre el planeta, pues se calcula que estos filamentos tardan más de 500 años en descomponer. Esto representa una gran oportunidad para el potencial que el Ecuador tienen en el campo, ya que en su territorio se han registrado cerca de 25 especies de plantas basculantes. De esta manera, se consigue el remplazo de materiales importados con locales naturales, lo cual es una vía para incrementar la competitividad de los productos ecuatorianos contribuyendo a la conservación del ambiente. (PICKERING, 2008)

2.6.1 ***Fibra de cabuya como material de refuerzo.*** Esta fibra es extraída de la hoja de la cabuya (*Furcraea Andina*), la misma que es una planta originaria de la región andina que crece en forma silvestre o cultivada en los valles y laderas, pertenece a la familia de las agaváceas. (VALDANO, 2011)

Figura 27. Planta de cabuya



Fuente: Autores

La cabuya es ampliamente distribuida en la región interandina del Ecuador, se trata de una planta con hojas arrosetada que alcanza hasta 1,5 metros de altura en su parte vegetativa y si se incluye el tallo a su estructura reproductora que puede alcanzar hasta los 15 metros.

Según datos obtenidos por el MAGAP, la producción de cabuya en el Ecuador se da en la región central interandina perteneciente a las provincias de Chimborazo, Cotopaxi y Tungurahua., donde se tiene una producción de acuerdo a la superficie correspondiente, como se puede apreciar en la Tabla 4.

Tabla 4. Producción de cabuya en región interandina del Ecuador

<b>Provincia</b>	<b>Cantón</b>	<b>Parroquia</b>	<b>Cultivo</b>	<b>Superficie (Ha)</b>	<b>Potencial en Ha de la zona</b>
Chimborazo	Guano	La Matriz	Cabuya	2,5	225
Chimborazo	Guano	Valparaíso	Cabuya	1	115
Chimborazo	Guano	Guanando	Cabuya	2	50
Chimborazo	Riobamba	Licán	Cabuya	2	165
Chimborazo	Riobamba	Calpí	Cabuya	2	185
Tungurahua	Pelileo	Salasaca	Cabuya	5	90
Cotopaxi	Pijilí	La Victoria	Cabuya	4	105
Cotopaxi	Pijilí	La Matriz	Cabuya	2	
Cotopaxi	Pijilí	Angamarca	Cabuya	2	
Cotopaxi	Pijilí	Guangaje	Cabuya	1	
Cotopaxi	Pijilí	Zumbagua	Cabuya	2	
Cotopaxi	Latacunga	11 de Noviembre	Cabuya	5	115
Cotopaxi	Latacunga	Matriz	Cabuya	3	
Cotopaxi	Latacunga	Tanicuchí	Cabuya	3	
Cotopaxi	Latacunga	Belisario Quevedo	Cabuya	4	
Cotopaxi	Latacunga	Juan Montalvo	Cabuya	3	
Cotopaxi	Latacunga	Guaytacama	Cabuya	6	
Cotopaxi	Latacunga	Alaquéz	Cabuya	2	
Cotopaxi	Latacunga	José Guango Bajo	Cabuya	4	
Cotopaxi	Latacunga	Mulaló	Cabuya	1	
Cotopaxi	Salcedo	San Miguel	Cabuya	4	125
Cotopaxi	Salcedo	Antonio José Olguín	Cabuya	1	
Cotopaxi	Salcedo	Cusubamba	Cabuya	2	
Cotopaxi	Salcedo	Mulalillo	Cabuya	1	
Cotopaxi	Saquisilí	Canchagua	Cabuya	3	124
Cotopaxi	Saquisilí	Matriz	Cabuya	2	
Cotopaxi	Saquisilí	Cochapamba	Cabuya	1	
Cotopaxi	Sigchos	Isinlivi	Cabuya	3	110
Cotopaxi	Sigchos	Chigchilá	Cabuya	2	
Cotopaxi	Sigchos	Matriz	Cabuya	4	

Fuente: Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca.

2.6.1.1 *Propiedades y características mecánicas de la fibra de cabuya.* Las fibras naturales presentan una excelente resistencia mecánica, en especial la cabuya, que además de ser liviano posee una densidad de 1,3 g/cm<sup>3</sup>.

La cabuya es una fibra valorada por el uso cordaje debido a su resistencia, durabilidad y aspereza, sus propiedades mecánicas se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Características mecánicas de la fibra de cabuya

Resistencia a la tracción	305 (MPa)
Resistencia al corte	112 (MPa)
Módulo de elasticidad	7,5 (MPa)
Elongación a la fractura	5 %
Densidad	1,3 g/cm <sup>3</sup>

Fuente: (LEVY, 2006)

Los ensayos realizados en este tipo de material compuesto han demostrado propiedades inferiores a la de otros compuestos sintéticos, sin embargo, su proceso de fabricación, producción y disponibilidad en el mercado lo hacen una materia factible para la producción de matrices de resina poliéster con refuerzo de fibra natural de cabuya llegando a tener materiales compuestos.

Las propiedades de los compuestos se pueden mejorar aplicando una mayor cantidad de fibras, las cuales reducen la fuerza aplicada sobre una matriz.

Tabla 6. Características físicas de la fibra de cabuya

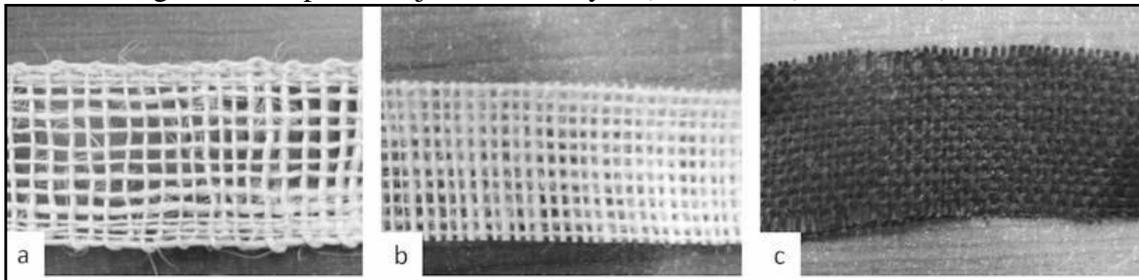
<b>CARACTERÍSTICA</b>	<b>VALOR</b>
Longitud	80 a 120 cm
Color	Habano
Brillo	Opaco
Textura	Dura
Absorción color	Superficial
Absorción humedad	Mala
Punto de fusión	No se funde
Efectos ante los álcalis	Resistente
Efectos ante los ácidos	Mala
Resistencia a la luz solar	Regular
Efecto de los oxidantes	Variable

Fuente: (TAMAYO, 2012)

Debido a que la cabuya posee uniformidad y consistencia en su estructura, permite obtener resistencia mecánica en varias orientaciones. La orientación de la fibra de cabuya a  $0^\circ$  y  $45^\circ$  el cual permite el incremento de su rigidez y tracción. A su vez, el incremento de la rigidez del material afecta directamente en el ensayo de elongación a la ruptura, lo que quiere decir que la capacidad del material a la elongación ha decrecido.

Los materiales compuestos están constituidos por refuerzos de tejidos de cabuya los cuales mostraron un incremento en el módulo de elasticidad que aquellos que estaban constituidos por simples fibras continuas longitudinales, como se indica en la Figura 28.

Figura 28. Tipos de tejidos de cabuya: a) Grueso, b) Normal, c) Fino



Fuente: (PICKERING, 2008)

**2.6.2 Uso de fibras en un vehículo monoplaza.** En la actualidad un monoplaza está constituido básicamente de un material compuesto, polímeros no metálicos, formado por resinas tipo poliéster y fibras de carbono, el cual se utiliza en componentes como el chasis, los cascos, los alerones, etc.; el asiento del piloto no está exento del mismo; el zylon, otro material sintético, son utilizados en los espacios donde se requiere mayor seguridad. Además, los materiales compuestos ofrecen ventajas como bajo peso, seguridad, resistencia a la fatiga; pero de igual manera, también presenta desventajas sobre todo en lo referente al precio de adquisición, pues la manera en la que son producidas eleva sus costos excesivamente. (YAMAGATA, 2015)

Debido a que los costos de este tipos de material compuesto son muy elevados, actualmente se han desarrollado y se desarrollan investigaciones de diversas fibras naturales con el objetivo de caracterizar su propiedades mecánicas entre otras, por tal razón se ha optado por el uso de un tipo de fibra local “cabuya”, el cual ya ha sido investigado y cuyas características han sido consideradas para la manufactura del asiento ergonómico para la FSAE, de tal manera que ofrezca garantías de seguridad, peso,

resistencia y sobre todo coste de producción y adquisición en comparación con los materiales compuestos usados hoy en día.

2.6.3 **Ventajas y desventajas de los materiales compuestos en la industria automotriz.** En realidad, los materiales compuestos presentan un gran número de ventajas que desventajas en su uso industrial puesto que los materiales han sido la columna vertebral de la industria automotriz y por la legislación de emisiones de CO2 se ha ido perfeccionando su procesamiento y aplicación.

Tabla 7. Ventajas y desventajas de los materiales compuestos de fibra natural.

<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
Es un recurso renovable	Baja estabilidad dimensional
Presenta alta resistencia	Baja resistencia a microorganismos
Bajo peso específico	Baja resiliencia
Biodegradables	Termoplásticos de baja temperatura de fusión
Económicas	Demanda y ciclos de suministro variables
Bajo costo de manufactura	Susceptible a daños provocados por ácidos minerales y orgánicos
Bajo costo de producción	

Fuente: Autores

## 2.7 **Resina**

Es una sustancia tipo pastosa o sólida que se obtiene de manera natural a partir de una segregación orgánica de ciertas plantas tipo coníferas, que, gracias a sus propiedades químicas, pueden ser utilizadas para la elaboración de perfumes, adhesivos, barnices y aditivos alimenticios, entre otros productos para el uso ya sea industrial o doméstico.

Las resinas también pueden ser de origen sintético que toman como base las naturales, que al agregar sustancias químicas mejoran sus propiedades como: alta resistencia al calor, excelentes propiedades de adhesión, buena resistencia eléctrica, excelente resistencia química., dando lugar a resinas naturales y resinas sintéticas. (YAMAGATA, 2015)

2.7.1 **Clasificación de las resinas.** La resina es una de las más empleadas en la industria, además está presente en diversas aplicaciones de materiales compuestos, por lo que en nuestro tema de titulación se enfocará en ella, a continuación, su clasificación:

- Resinas de poliéster
- Resina de viniléster
- Resina epoxy
- Resinas fenólicas
- Resinas bismaleimida
- Resinas polimida
- Esteres de cianato
- Polieteramida

2.7.2 **Resina de poliéster.** Las resinas de poliéster, ocupan un 90% del consumo industrial entre las matrices termoestables y, dadas sus características, son las más utilizadas en la construcción de materiales compuestos. (BESEDNJAK, 2005)

La resina de poliéster se produce a partir de una reacción de policondensación entre un monómero llamado ácido dicarboxílico y otro diol, como resultado se tiene un polímero al cual se lo disuelve en un medio reactivo conocido como estireno, para disminuir su viscosidad y facilitar su procesabilidad, el porcentaje adecuado para el producto final oscila entre el 40-45%. (BESEDNJAK, 2005)

Las resinas de poliéster se consideran como inestables que poseen tendencia a polimerizar y gelificarse, por ello se trata de estabilizar utilizando inhibidores químicos.

2.7.2.1 **Curado de la resina de poliéster.** Se puede considerar como curado al proceso al cual la resina pasa de estado líquido a un estado sólido, dicho proceso no es realizado por sí solo, por lo cual se utiliza aplicación de calor o a una exposición a la radiación. (BESEDNJAK, 2005)

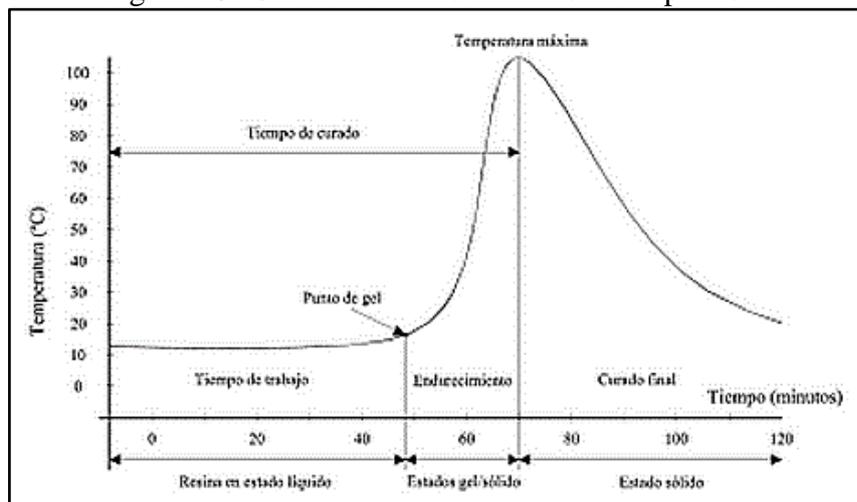
Para facilitar la reacción de polimerización y, por consiguiente, el cambio de estado en la resina de poliéster a temperatura ambiente es necesario añadir porcentajes adecuados según las indicaciones del fabricante la sustancia denominadas catalizador y acelerador de resinas. (BESEDNJAK, 2005)

- El catalizador, sustancia basado en peróxidos orgánicos, provoca el inicio de la reacción a temperatura ambiente, el porcentaje adecuado es de 1 y 3% de acuerdo

al peso de la resina de poliéster. A este proceso se lo conoce como tiempo de gel y endurecimiento del sistema. (BESEDNJAK, 2005)

- El acelerador, basado en sales de cobalto orgánico, va de acuerdo a la cantidad de catalizador, este proceso se lo realiza a temperatura ambiente en porcentajes adecuados de 0,1 y 0,3% de acuerdo al peso de la resina de poliéster. A esta pasta se la denomina como resina preacelerada. (BESEDNJAK, 2005)

Figura 29. Curva de curado de la resina de poliéster



Fuente: (BESEDNJAK, 2005)

En la Figura 29, se puede apreciar la curva característica del periodo de curado teniendo a la temperatura vs tiempo, teniendo una temperatura pico o máxima pasando de estado de gel sólido a estado sólido en su totalidad.

El tiempo de curado de las resinas de poliéster depende de las siguientes variables, siempre y cuando se cumplan con las especificaciones del fabricante: (BESEDNJAK, 2005)

- Cantidad de acelerador.
- Cantidad de catalizador.
- Temperatura del lugar de trabajo.

La temperatura adecuada para los lugares de trabajo está entre los 17 ° y 22° C obteniendo excelentes ideales, entre 15° y 25° C buenos resultados y por debajo de los 10° C o encima de 30° C nunca debe laminarse. (BESEDNJAK, 2005)

## 2.8 **Hipótesis**

La obtención de un asiento ergonómico basado en la utilización de materiales compuestos con refuerzos de fibra natural de cabuya y resina de poliéster, aportando a la implementación de un vehículo tipo FSAE para la Carrera de Ingeniería Automotriz.

## 2.9 **Determinación de variables**

Según el criterio metodológico para estudios experimentales las variables pueden ser: independientes y dependientes. (URQUIZO, 2012)

2.9.1 ***Variables independientes.*** Materiales compuestos reforzado de fibra natural de cabuya y resina de poliéster.

2.9.2 ***Variables dependientes.*** Propiedades mecánicas.

2.9.3 ***Relación entre variables.*** Mejora del material compuesto que ayudaran a manufacturar un asiento ergonómico tipo FSAE.

## CAPÍTULO III

### 3. DISEÑO DEL ASIENTO ERGONÓMICO

A la hora de diseñar un asiento ergonómico es importante tener en consideración, múltiples y diversos factores como, por ejemplo: el peso del conductor, puntos de anclaje de cinturones de seguridad, montaje, fabricación, etc. En este trabajo de titulación se pretende desarrollar un análisis estático estructural, para determinar el comportamiento del elemento al estar sometido a cargas y momentos producidos en el ciclo de conducción.

#### 3.1 Parámetros de diseño

El proceso de diseño de un asiento ergonómico en base a lo establecido en el reglamento de la FSAE., descrito anteriormente, establece ciertas condiciones de ergonomía, seguridad, confiabilidad y confort adecuadas para el piloto durante pruebas de pista o durante la competencia misma, se debe cambiar varias veces la geometría del prototipo, hasta conseguir los objetivos deseados, por ello es primordial la utilización de diferentes programas computacionales para el diseño CAD.

Todo prototipo de butaca determinado, para cualquier tipo de competición tiene sus características propias en geometría, ergonomía, estética y originalidad, es necesario tener en cuenta estas características como parámetros principales de diseño.

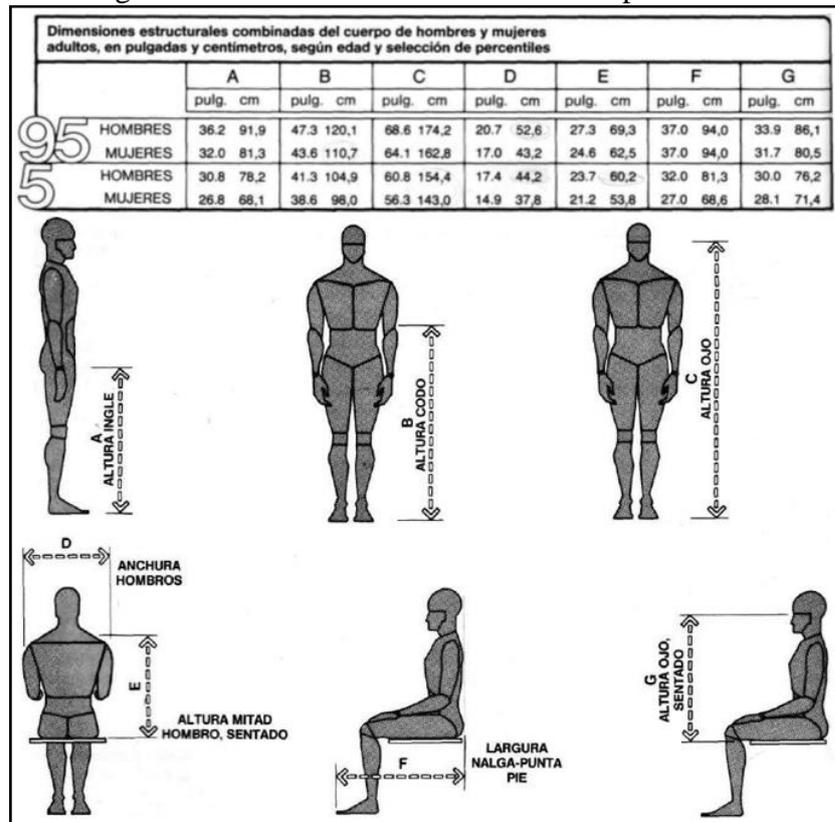
3.1.1 *Criterios de espacio.* Lo más importante a tener en cuenta con respecto al espacio es la evacuación del piloto en caso de accidente, así como la previa evaluación de su estado dentro del habitáculo, siempre que se garantice seguridad y una relativa comodidad durante la conducción. Por lo tanto, en cuanto al diseño, se tendrá en cuenta lo siguiente:

- 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 se debe 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 30.

Figura. 30. Datos dimensionales del cuerpo humano



Fuente: (PANERO, 1996)

3.1.2 **Rigidez Torsional.** En ingeniería, la rigidez es la capacidad de un objeto sólido o elemento estructural para soportar esfuerzos sin adquirir grandes deformaciones o desplazamientos. (BEER, y otros, 2010). Por lo tanto, se puede decir que la rigidez torsional en un asiento ergonómico es la capacidad que tiene el mismo para oponerse a ser deformado por las cargas a las cuales está sometido. Esta viene expresada en N.m por grado de deformación (N.m/°).

$$k = \frac{M}{\theta} \quad (1)$$

En donde:

**K** = Rigidez torsional

**M** = Momento

**$\theta$**  = Ángulo de deformación

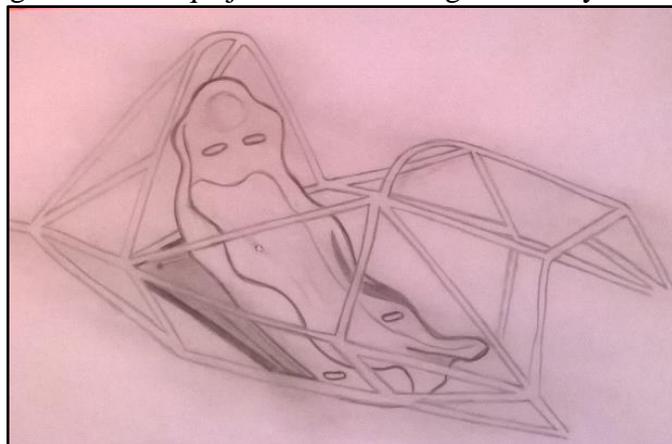
### 3.2 Desarrollo de las fases de diseño

3.2.1 **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 la FSAE, como son: ubicación de arnés de seguridad, posición del conductor, espacio del interior del habitáculo, posición del volante del sistema de dirección, ubicación del firewall, etc., descritos en el capítulo anterior.

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 5 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 de la Fórmula SAE.

Figura 31. Bosquejos del asiento ergonómico y firewall



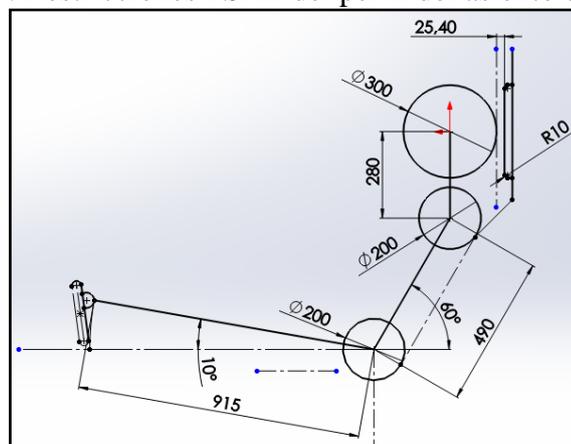
Fuente: Autores

3.2.2 **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 de la FSAE 2015, 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 firewall y los cinturones de seguridad que se encargaran de dotar seguridad durante el ciclo de conducción y aislamiento térmico producido por el motor, entonces este debe ser rígido pero ergonómico encargado de soportar cargas y esfuerzos reales.

La protección del piloto se debe tomar en cuenta en el proceso del diseño de todos los factores que contribuyen a un mejor desempeño del mismo. Para el estudio del asiento ergonómico y firewall se debe tomar en cuenta el peso del conductor, posición de conjunto de pedales del vehículo, posición del volante, ubicación de los cinturones y posición del motor, etc. Estos serían entre otros los principales factores para un rendimiento óptimo durante la competencia. En el software CAD (SolidWorks 2015) se realiza el modelado en 3D y en el software CAE (Ansys 17.1) el respectivo análisis estructural del asiento ergonómico en conjunto con el firewall.

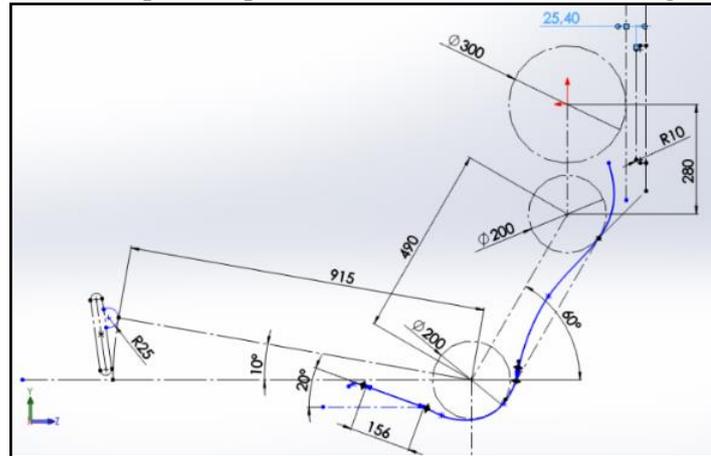
3.2.2.1 **Modelado geométrico del asiento ergonómico.** En primer lugar, se realiza un croquis, mediante líneas que nos indique la forma que tomará la curvatura de la espalda y muslos según el perfil del piloto. Estas líneas posteriormente son modificadas de acuerdo a las medidas antropométricas del conductor, por lo general en un monoplaza el peso del conductor está restringido en 77 Kg (170 Lbs), como se indica en la Figura 32.

Figura 32. Restricciones FSAE del perfil del asiento ergonómico



Fuente: Autores

Figura 33. Croquis del perfil del contorno del asiento ergonómico



Fuente: Autores

En la Figura 33 se puede visualizar el perfil que llevará el asiento, que para la obtención del diseño final de la butaca ergonómica, donde se utiliza herramientas como: coquizado del perfil ergonómico de la butaca, superficies complejas, operaciones de extrucción y corte, que nos presenta el programa CAD SolidWorks 2015, en las siguientes figuras se muestra el modelado del asiento ergonómico y firewall en diferentes vistas, iniciando con una vista isométrica, seguidamente de una vista frontal, lateral y superior, las cuales proporcionan una idea clara del diseño final de la butaca ergonómica (Figura 34).

Figura 34. Vistas del asiento ergonómico y firewall. a) Isométrica, b) Frontal, c) Lateral, d) Superior



Fuente: Autores

Una vez terminado el modelo en 3D, se procede a definir cada uno de los elementos constitutivos del asiento que permita la confortabilidad, además de ser ergonómico y el firewall permite un aislamiento térmico entre el motor y el asiento, los cuales se catalogan con diferentes colores, como se indica en la Tabla 8.

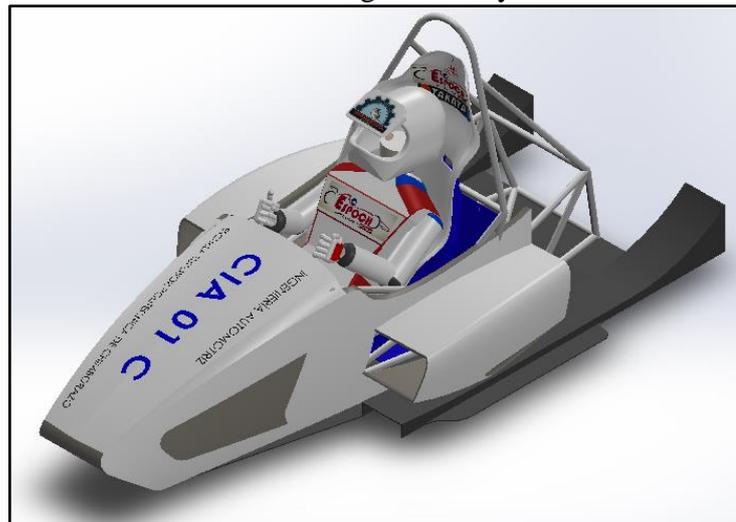
Tabla 8. Codificación de los elementos ergonómicos diseñados

<b>COLOR</b>	<b>ESPESOR (mm)</b>	<b>MATERIAL</b>
Azul	3	Material Compuesto Fibra de cabuya y resina poliéster
Blanco	4	Material Compuesto Fibra de cabuya y resina poliéster

Fuente: Autores

Una vez terminado el diseño del conjunto ergonómico se ancla al chasis y carrocería, llegando a tener el ensamble final como se muestra en la Figura 35.

Figura 35. Ensamble del asiento ergonómico y firewall con la carrocería



Fuente: Autores

### 3.3 **Análisis del asiento ergonómico**

3.3.1 **Métodos de elementos finitos (MEF).** El método de los elementos finitos ha adquirido una gran importancia en la solución de problemas ingenieriles, el cual permite realizar un modelo matemático de cálculo del comportamiento de un sistema real ante conjuntos de acciones tales flujos aerodinámicos, fuerzas, presiones, condiciones de temperatura, momentos, etc., que hace tiempos eran prácticamente imposibles de resolver por métodos matemáticos tradicionales.

El MEF consiste en discretizar una región continua, dando lugar a un conjunto de nodos relacionados entre sí a través de formas geométricas simples llamadas elementos finitos los cuales son analizados con la ayuda de programas computacionales. Así las propiedades de materiales y sus ecuaciones constitutivas, son consideradas sobre esos elementos según una serie de cargas y restricciones previamente aplicadas las cuales permiten realizar cálculos que se ajusten a la realidad. Para la solución de problemas ingenieriles utilizando métodos de elementos finitos, se considera las siguientes etapas:

- **Preproceso.** Esta etapa consiste en la construcción del modelo utilizando información necesaria, como: propiedades del material seleccionado, condiciones de carga, restricciones que está sometido el objeto y la discretización del mallado en base a un dominio finito de elementos.
- **Resolución.** Esta etapa se caracteriza por la realización del cálculo numérico en función a los parámetros anteriormente seleccionados para el análisis. La solución del conjunto de ecuaciones generado por Ansys 17.1, permite conocer el comportamiento del fenómeno que se está pretendiendo estudiar.
- **Posproceso.** En esta última etapa se observa deformaciones y esfuerzos en el elemento y se analizará los resultados obtenidos luego del análisis planteado al elemento.

3.3.2 **Análisis estático.** El análisis estático se caracteriza porque determina el comportamiento del elemento cuando se aplican cargas actuantes externas que permanecen constantes, es decir, no sufre variación durante el transcurso del tiempo.

Dicho estudio calcula esfuerzos, desplazamientos, deformaciones y factores de seguridad generados por las cargas aplicadas.

3.3.2.1 **Análisis por tensión plana.** El estudio a realizar en el modelo de asiento ergonómico seleccionado es un análisis estático, para esto se utiliza el software Ansys 17.1 en donde se opta por utilizar el método por tensión plana que se define como: el estudio simplificado que se puede aplicar sobre un elemento diseñado en 3D, utilizando un modelo plano 2D cuando: una de las tres cotas que definen la pieza es mucho más pequeña que las otras dos, las cargas aplicadas están contenidas en el plano que definen

las dos dimensiones que predominan en la pieza y en este tipo de problemas se ignora una de las tensiones principales para que el estado de tensiones sea bidimensional.

Una de las ventajas al utilizar este tipo de análisis es que los modelos 2D requieren menos elementos de mallado y las condiciones de contorno son más simples en comparación con los modelos 3D. Los elementos sometidos a este estudio soportan cargas axiales, cortantes, flexionantes y de torsión, cuando existe la relación entre desplazamiento y fuerzas, las cuales son calculadas considerando la geometría del asiento y las propiedades del material compuesto utilizado.

3.3.3 *Parámetros establecidos por el reglamento FSAE.* El proyecto actual está enmarcado en el desarrollo de un asiento FSAE con un sistema de 5 puntos, para el cual es necesario cumplir una serie de parámetros:

- Debe existir una distancia de 50.8 mm (2 pulgadas) entre el casco del piloto y una línea recta a lo largo del aro principal y el aro frontal.
- Debe consistir de un cinturón de regazo, correas para los hombros y una correa antisubmarina sencilla.

Para una posición de conducción vertical (ángulo del respaldo del asiento de 30° o menor desde la vertical) o para una posición de conducción reclinada (ángulo del respaldo de asiento de más de 30° desde la vertical) debe cumplir con el formulario del 95<sup>to</sup> percentil masculino.

Todos los sistemas de restricción del piloto deben aplicar las especificaciones SFI 16.1, 16.5 o FIA 8853/98.

La restricción correspondiente a la cabeza debe:

- Ser vertical o cercano a vertical en la vista lateral.
- Tener una anchura mínima de 15 centímetros (6 pulgadas).
- Tener un área mínima de 235 centímetros cuadrados (36 pulgadas cuadradas) y una altura mínima regulable de 17.5 centímetros (7 pulgadas) o una altura mínima de 28 centímetros (11 pulgadas).

- Ser rellena con un material que absorba energía como ETHAFOAM o ENSOLITE con un espesor mínimo de 38 milímetros (1.5 pulgadas).
- La restricción no sea mayor que 25 milímetros (1 pulgada) lejos de la parte trasera del casco, con el piloto en la posición normal de manejo.
- El punto de contacto entre la espalda del piloto y su casco, para la restricción de cabeza no es menor que 50 milímetros (2 pulgadas) para cualquier contorno de la restricción de cabeza.

3.3.4 **Condiciones extremas de estudio según la FSAE.** El auto prototipo es sometido a pruebas extremas en pista con velocidades promedio entre 48 km/h (29.8 mph) – 57 km/h (35.4 mph), por lo tanto, el asiento diseñado debe ser resistente a los esfuerzos generados por las permanentes aceleraciones que dan como resultado un valor mínimo de 0.9 G y un valor máximo superior a 1.5 G en combinación con el peso del piloto.

También es necesario considerar que los puntos de anclaje del asiento a la estructura principal y detallar cada una de las fuerzas actuantes que son utilizadas en el análisis, las cuales generan como resultado factores de seguridad que validen el diseño. A continuación, se detallan los datos utilizados en el estudio (Ítem 3,5,1).

Existen fuerzas externas que afectaran al comportamiento del asiento ergonómico que provocaran su deformación debido a la acción de la fuerza de frenado, la fuerza centrífuga provocadas por el peso del piloto durante el paso por curvas propias del circuito de competición las cuales generaran momentos que son analizados posteriormente a través de un análisis estático.

En el firewall existen temperaturas que provocaran su deterioro por ser fabricados de fibra de cabuya y resina poliéster por lo cual se colocará material ignífugo para precautelar fallas en el elemento.

3.3.5 **Escenario de simulación.** El asiento es un elemento fijo del monoplaza que se encuentra en el interior del habitáculo. En la parte frontal soportará las cargas producidas por la acción del piloto y por la parte posterior se une al firewall el cual tiene la función de proteger al mismo en caso de incendio o en la transferencia de calor.

Cuando el vehículo se desplaza tiende a generar fuerzas centrífugas, fuerzas de frenado, fuerzas de aceleración las cuales actuarán directamente sobre el conductor y asiento provocando momentos que pondrán a prueba la calidad del material del cual está fabricado la butaca.

A fuerzas bajas, las deformaciones serán relativamente pequeñas, a fuerzas altas se convierte en la principal consideración que debe soportar el asiento para conseguir deformaciones adecuadas y evitar que se fracture.

La magnitud de las fuerzas que se generan en condiciones extremas de la FSAE cuando el vehículo se desplaza en la pista, va a depender del peso y talla del conductor, tipo de circuito a competir. En este caso el radio de curvatura utilizado para este estudio de competencia es de 27 m.

3.3.6 **Asignación de las propiedades de la fibra de cabuya.** El material que se utiliza para el análisis estático del asiento ergonómico y firewall, es la fibra de cabuya, cuyas propiedades mecánicas se obtuvieron del programa de ingeniería CES EduPack 2013, las cuales están tabuladas en la Tabla 9.

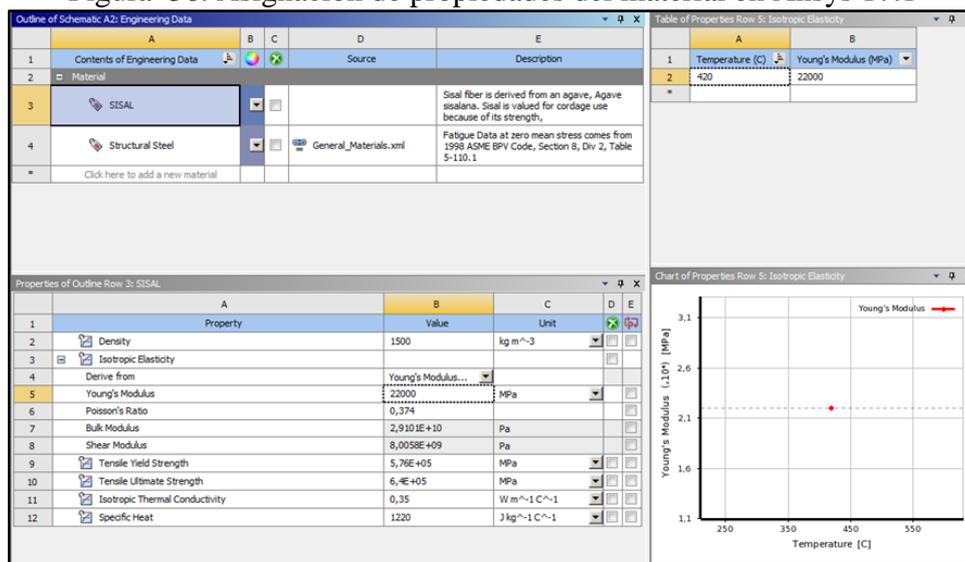
Tabla 9. Propiedades mecánicas de la fibra de cabuya

Densidad	1,47e3- 1,5e3 Kg/m <sup>3</sup>
Composición	Celulosa 70 wt% y Lignia 12 wt%
Material Natural	100 %
Módulo de Young	9,4 -22 GPa
Módulo de Flexión	9,4 -22 GPa
Módulo de Corte	3,67 – 9,17 GPa
Coefficiente de Poisson	0,359 – 0,374
Límite Elástico	460 – 576 Mpa
Resistencia a la Tracción	511 -640 MPa
Tenacidad a la Fractura	19,6 – 101 MPa
Elongación	2 – 7%

Fuente: CES EduPack 2013 Selector

A continuación, se asigna cada una de las propiedades mecánicas correspondientes a la fibra de cabuya al software Ansys Workbench 17.1 en su ventana de Engineering Data como se indica en la Figura 36.

Figura 36. Asignación de propiedades del material en Ansys 17.1



Fuente: Autores

### 3.4 Consideraciones para los estudios por elementos finitos

Rojas. O y L, Mencionan en: Diseño asistido por computador, que; “El concepto básico del análisis por elementos finitos para una estructura radica en sustituir la estructura continua real por una estructura idealizada equivalente compuesta por un numero finito de partes discretas (puntos interconectados entre si llamados nodos y al conjunto se le conoce como malla) por medio de un enmallado (bidimensionales; cuadriláteros y triángulos; tridimensionales: hexaedros y tetraedros), al cual se aplican cargas en los nodos de los elementos límites del modelo, después del cual empleando teoremas de energía (relación entre fuerzas actuantes en los nodos y su desplazamientos; ley de Hooke, módulo de Young, módulo de Poison, etc.), se llega a derivar una matriz de rigidez (stiffness matriz, - las ecuaciones que rigen el comportamiento de la malla regirán también para la estructura). De esta forma se consigue pasar de un sistema continuo (infinitos grados de libertad), que es regido por un sistema de ecuaciones diferenciales, a un sistema con un número de grados de libertad finito”.

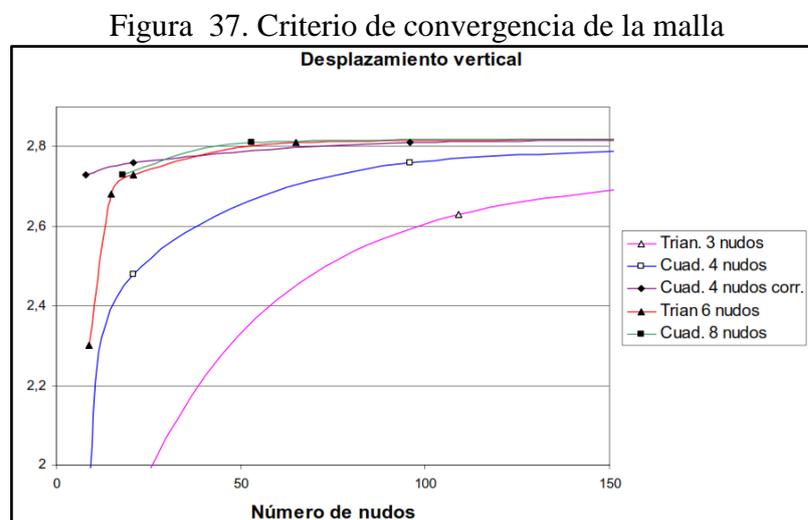
3.4.1 **Solucionador.** El análisis por elementos finitos (FEA) ha ayudado a disminuir la cantidad de prototipos necesarios, fijar ciertos valores referenciales de coeficientes de seguridad y analizar distintas opciones de diseño modificando la geometría o el material en un tiempo reducido; permitiendo que los productos no lleguen tarde al mercado lo que

implicaría una pérdida considerable de su ciclo de vida, y dando como réditos el aumento de rentabilidad para la empresa/industria.

El FEA está considerado como una de las herramientas más potentes y probadas para la solución de problemas de ingeniería y ciencia aplicada.

Ansyes ofrece una cartelera de softwares que abarca toda la gama de la física, que proporcionan acceso a simulaciones prácticos y reales de cualquier campo de la ingeniería que requieren de un proceso de diseño. Organizaciones mundiales confían sus trabajos de ingeniería para obtener simulaciones de acuerdo al mundo real.

3.4.2 **Convergencia.** El criterio de convergencia en un análisis por elementos finitos (MEF) nos ayuda a definir la calidad y malla correcta, para definir la tendencia hacia una mejor solución mediante relación entre número de elementos y la deformación o el esfuerzo máximo, como se indica en la Figura 37., la precisión de una solución se alcanza con un mayor número de elementos debido a que esto reduce el error por una mayor cobertura de análisis.



Fuente: (Criterios de convergencia de la malla, s.f.)

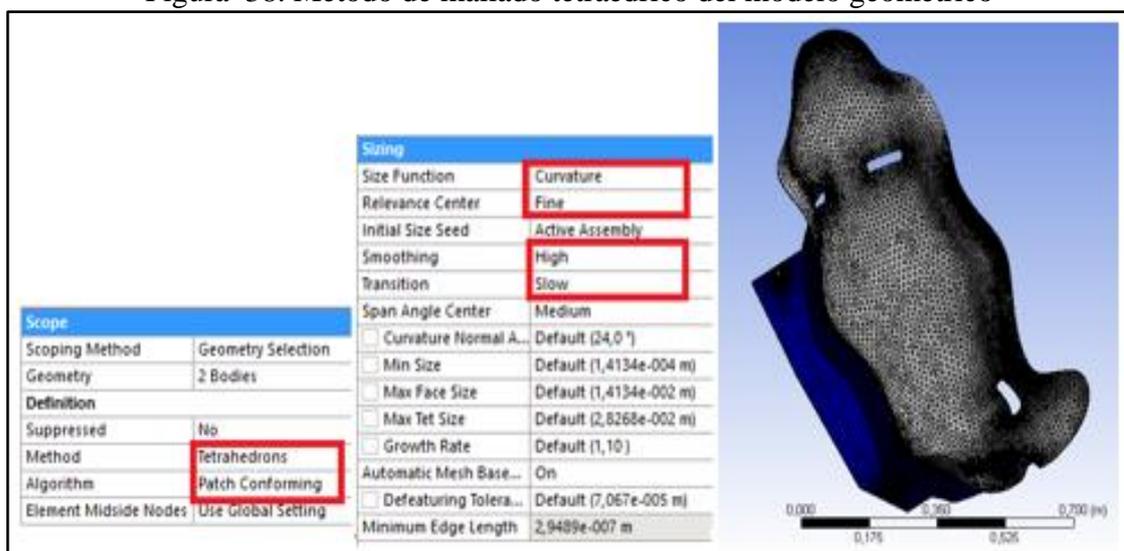
3.4.3 **Mallado.** Después del diseño del modelo geométrico del asiento ergonómico, se utiliza diversos procedimientos para definir y dividir el modelo en elementos pequeños, mediante la unión entre sí de sus nodos se forma la malla. Los nodos representan puntos sobre los cuales se realizarán los diferentes cálculos.

Los softwares de análisis por elementos finitos enumeran los nodos como una herramienta de identificación. Los elementos están determinados por un conjunto de nodos y definen propiedades localizadas de superficie y rigidez. La gran ventaja por un análisis de elementos finitos (MEF) es la generación automática de malla lo que permite mallar las diferentes secciones del modelo además refinarlas mediante la dimensión y forma de los elementos con los que se discretizará un mallado correcto para mejorar los resultados de análisis MEF, como se indica en la Figura 38.

3.4.3.1 *Métrica de la malla.* Los controles del mallado se guían en un proceso con parámetros de entrada y salida para poder evaluar la calidad de malla con datos de entrada como el tamaño del elemento, la altura de la capa inicial de inflación, el método utilizado y tasa de crecimiento, así como los de salida como son el número de elementos, el número de nodos y valores métricos que permiten ver la información adecuada que ayudará en la solución para obtener un análisis satisfactorio.

Para el estudio se utiliza el método de mallado 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.

Figura 38. Método de mallado tetraédrico del modelo geométrico



Fuente: Autores

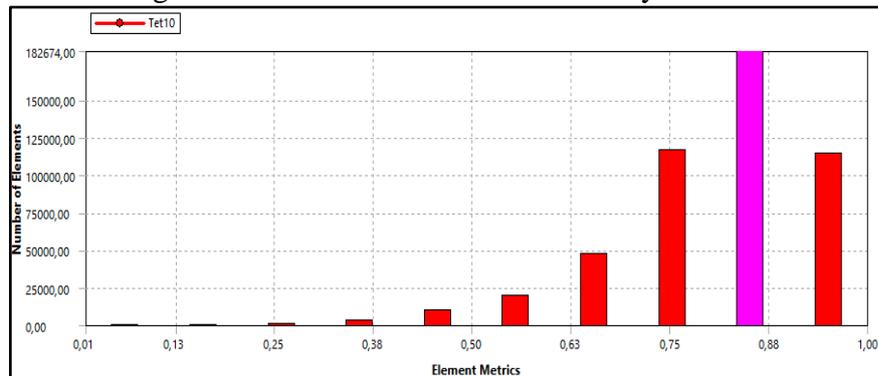
3.4.3.2 *Criterio de aceptación del análisis.* Para la aceptación de calidad de elemento para el mallado del asiento y firewall, se presentan datos estadísticos que permiten su validación y están detallados en la Tabla 10 y Figura 39. Los parámetros obtenidos permiten que el análisis tenga una aproximación lo más cercana posible a la realidad con una calidad del elemento de un 0,81 para reducir errores durante la simulación.

Tabla 10. Datos estadísticos para aceptación del análisis

<b>Estadísticas</b>	
Nodos	752292
Elementos	467551
<b>Malla Métrica</b>	<b>Calidad de elemento</b>
Mínimo	1,4196 e-002
Máximo	1,00
Promedio	0,80917
Desviación Estándar	0,12068

Fuente: Autores

Figura 39. Calidad del mallado asiento y firewall.

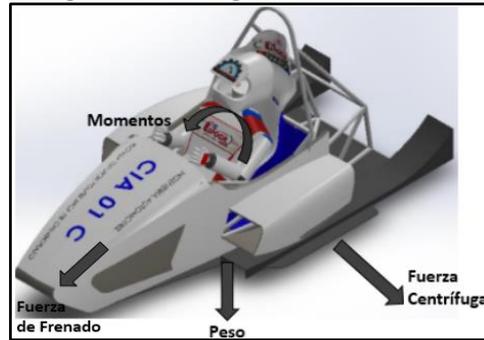


Fuente: Autores.

### 3.5 Condiciones de contorno del asiento ergonómico y firewall

3.5.1 *Cálculo de cargas 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 cabuya y resina poliéster con los que se fabrica el asiento ergonómico y el firewall, 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.

Figura 40. Cargas externas generadas en el vehículo FSAE



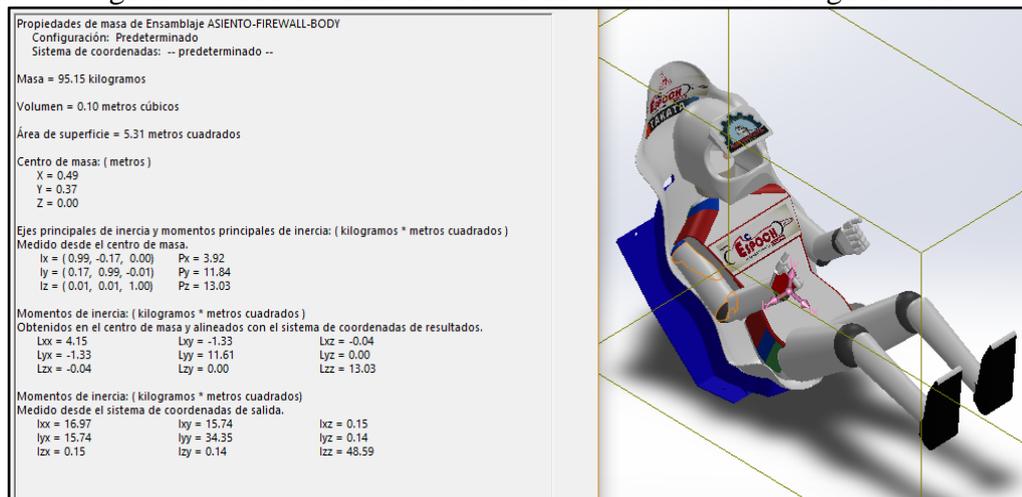
Fuente: Autores

- Coordenadas del centro de masa

$$\begin{cases} x = 0,49 \text{ m.} \\ y = 0,37 \text{ m.} \\ z = 0,00 \text{ m.} \end{cases}$$

- Masa total = 95,15 Kg
- Volumen total = 0,10 m<sup>3</sup>
- Superficie total = 2,6680 m<sup>2</sup>
- Superficie del espaldar = 0,7281 m<sup>2</sup>

Figura 41. Coordenadas del centro de masa del asiento ergonómico



Fuente: Autores

3.5.1.1 *Fuerza de frenado del vehículo.* Se realiza el análisis de la fuerza de frenado que soporta el asiento ergonómico con el firewall cuando el conductor activa el sistema de freno, esta fuerza se presenta de forma paralela a la trayectoria del FSAE y está

formada por la componente rectangular en x, sentido contrario al movimiento del vehículo.

$$F_f = m * a \quad (2)$$

Donde:

**F<sub>f</sub>** = Fuerza de frenado del vehículo

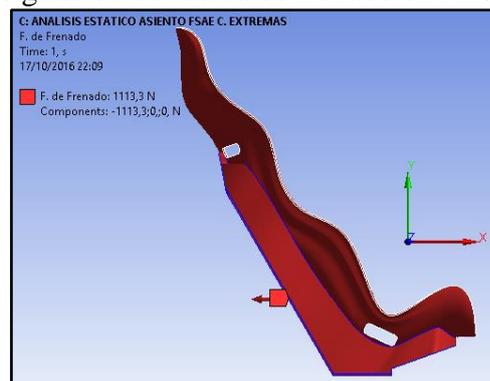
**m** = Masa del vehículo

**a** = Aceleración del vehículo

$$F_f = (407,82 \text{ Kg}) * (2,73 \text{ m/s}^2)$$

$$F_f = 1113,35 \text{ N}$$

Figura 42. Asignación de fuerza de frenado en Ansys-Workbench



Fuente: Autores

3.5.1.2 *Fuerza centrífuga producida por el piloto.* Se realiza el análisis de la fuerza centrífuga que soporta el asiento ergonómico con el firewall en una curva, esta fuerza se presenta de forma perpendicular a la trayectoria del FSAE y está formada por dos componentes rectangulares como en x, como en y, para este caso de estudio.

$$F_c = \frac{m*v^2}{r} \quad (3)$$

Donde:

**F<sub>c</sub>** = Fuerza centrífuga producida por el piloto

**m** = Masa del piloto

$v$  = Velocidad del vehículo

$r$  = Radio de la curva de la pista (Prueba de Autocross)

$$F_c = \frac{(77 \text{ Kg}) * (15,83 \text{ m/s})^2}{23 \text{ m}}$$

$$F_c = 838,93 \text{ N}$$

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  $2^\circ$  como inclinación del monoplaza, cuyo valor corresponde a la inclinación que sufre el sistema de suspensión.

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

$$F_{c_x} = 838,93 \text{ N} * \cos 2^\circ$$

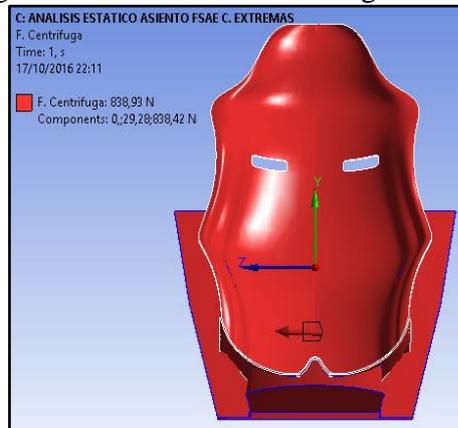
$$F_{c_x} = 838,42 \text{ N}$$

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

$$F_{c_y} = 838,93 \text{ N} * \sin 2^\circ$$

$$F_{c_y} = 29,28 \text{ N}$$

Figura 43. Asignación de la fuerza centrífuga en Ansys-Workbench



Fuente: Autores

3.5.1.3 *Peso del piloto.* Se realiza el análisis del peso del conductor que soporta el asiento ergonómico con el firewall 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.

$$W = m * g * k \quad (4)$$

Donde:

**W** = Peso del piloto

**m** = Masa del piloto

**g** = Gravedad

**k** = Factor de aceleración máximo “1,5”

**Wa** = Peso del piloto sobre el respaldo del asiento

**We** = Peso del piloto sobre el asiento

$$W = (77 \text{ Kg}) * (9,81 \text{ m/s}^2) * (1,5)$$

$$W = 1133,01 \text{ N}$$

Componentes rectangulares del peso del piloto

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

$$\cos(60^\circ) = \frac{W_a}{1133,01 \text{ N}}$$

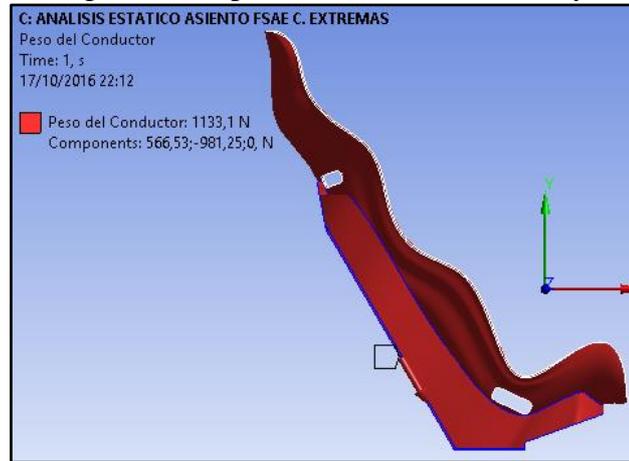
$$W_a = 566,53 \text{ N}$$

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

$$\sin(60^\circ) = \frac{W_e}{1133,01 \text{ N}}$$

$$W_e = 981,25 \text{ N}$$

Figura 44. Asignación de peso del conductor en Ansys-Workbench



Fuente: Autores

3.5.1.4 *Presión ejercida por el piloto (P).* Se realiza el análisis de presión que se produce sobre el asiento ergonómico con el firewall 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.

$$P_e = \frac{W}{A_e} \quad (5)$$

Donde:

**P<sub>e</sub>** = Presión sobre el espaldar

**W** = Peso del piloto

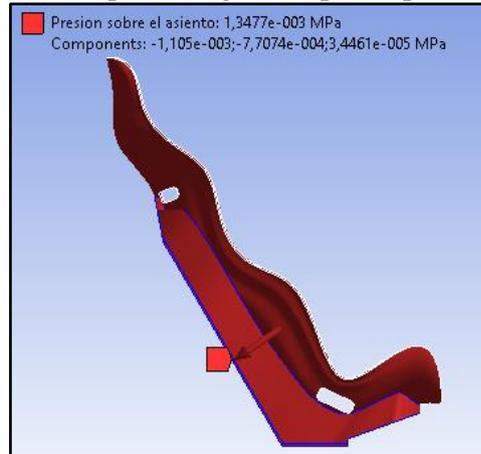
**A<sub>e</sub>** = Superficie del espaldar en contacto con el piloto

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

$$P_e = \frac{981,25 \text{ N}}{0,7281 \text{ m}^2}$$

$$P_e = 1347,69 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Figura 45. Asignación de la presión ejercida por el piloto en Ansys-Workbench



Fuente: 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 SAE, las mismas que son las máximas permitidas dependiente del tipo de prueba a la que el vehículo se verá sometido.

3.5.1.5 *Momentos de torsión generada por la fuerza centrífuga ( $M_{t_{Fc}}$ ).* Se realiza el análisis del momento torsor generado por la presencia de la fuerza centrífuga que soporta el asiento ergonómico con el firewall en una curva.

$$M_{t_{Fc}} = F_{c_x} * X \quad (6)$$

$$M_{t_{Fc}} = F_{c_y} * Y \quad (7)$$

Donde:

$M_{t_{Fc}}$  = Momento de torsión respecto al eje X

$M_{t_{Fc}}$  = Momento de torsión respecto al eje Y

$F_{c_x}$  = Fuerza centrípeta respecto al eje X

$F_{c_y}$  = Fuerza centrípeta respecto al eje Y

$X$  = Coordenada del centro de masa

$Y$  = Coordenada del centro de masa

$$M_{t_{Fc}} = F_{c_x} * X$$

$$M_{t_{Fc}} = (838,42 \text{ N}) * (0,49 \text{ m})$$

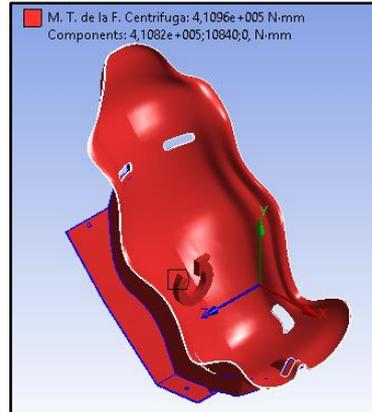
$$\mathbf{Mtx}_{F_c} = 410,82 \text{ N.m}$$

$$\mathbf{Mty}_{F_c} = F_c * Y$$

$$\mathbf{Mty}_{F_c} = (29,28 \text{ N}) * (0,37 \text{ m})$$

$$\mathbf{Mty}_{F_c} = 10,84 \text{ N.m}$$

Figura 46. Asignación del momento torsor en Ansys-Workbench



Fuente: Autores

3.5.1.6 *Momento de flexión generado por la fuerza de frenado ( $Mf_{F_f}$ )*. Se realiza el análisis del momento de flexión generado por la fuerza de frenado o aceleración que soporta el asiento ergonómico con el firewall durante el ciclo de conducción.

$$Mf_{F_f} = F_f * Y \quad (7)$$

Donde:

$\mathbf{Mf}_{F_f}$  = Momento de flexión respecto al eje Y

$\mathbf{F_f}$  = Fuerza de frenado

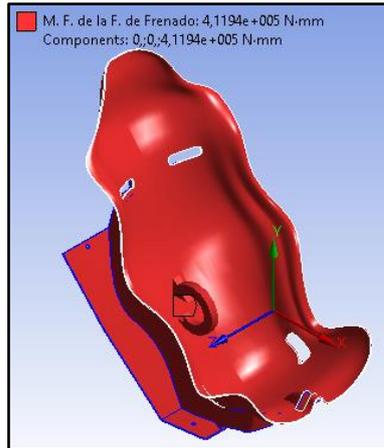
$\mathbf{Y}$  = Coordenada del centro de masa

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

$$Mf_{F_f} = (1113,35 \text{ N}) * (0,37 \text{ m})$$

$$Mf_{F_f} = 411,94 \text{ N.m}$$

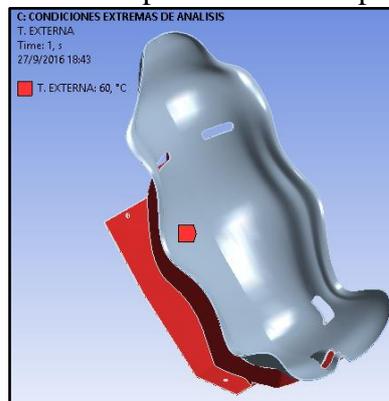
Figura 47. Asignación de momento flector en Ansys-Workbench



Fuente: Autores

3.5.1.7 *Temperatura externa producida por el motor.* Esta temperatura es producida propiamente por el motor de combustión interna ubicado detrás el conjunto ergonómico lo que es transmitido directamente sobre el firewall, posteriormente al asiento y conductor. La condición de temperatura utilizada para este análisis estructural es de 60 °C y está indicada en la Figura 48.

Figura 48. Asignación de temperatura externa producida por el motor



Fuente: Autores

### 3.6 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

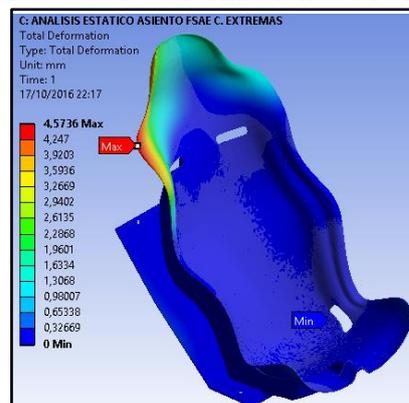
un Static Structural en Ansys 17.1, lo cual permite realizar cálculos y estudios de manera rápida reduciendo costes en relación con la fabricación y ensayos reales en el banco de ensayos de asientos.

### 3.7 Análisis de resultados

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

3.7.1 **Diagrama de deformación total.** Los valores de la deformación total obtenidos en la simulación del análisis estructural (Figura 49). Para obtener la deformación se aplica a todos los componentes de sistema llegando a tener una deformación máxima de 4,5736 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 49. Resultado de la deformación total en el asiento FSAE

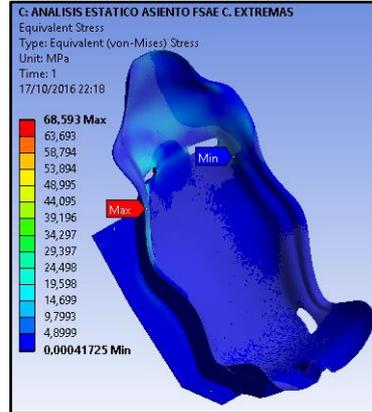


Fuente: Autores

3.7.2 **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 50 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 68,593 MPa en la sección donde aloja a los hombros. 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 50. Resultado del esfuerzo de Von Mises en el asiento FSAE

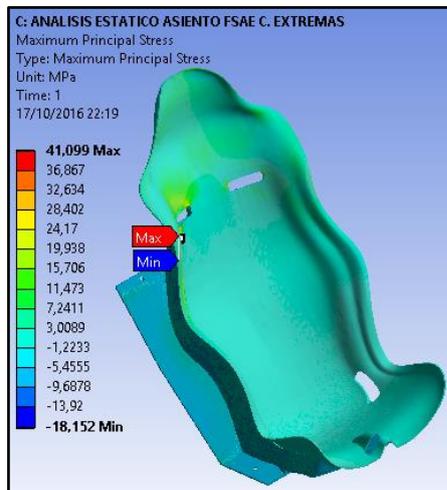


Fuente: Autores

3.7.3 **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 cabuya empleado en la butaca ergonómica.

El esfuerzo máximo obtenido en la simulación es de 41,099 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 51. Resultado del esfuerzo máximo sobre el asiento FSAE

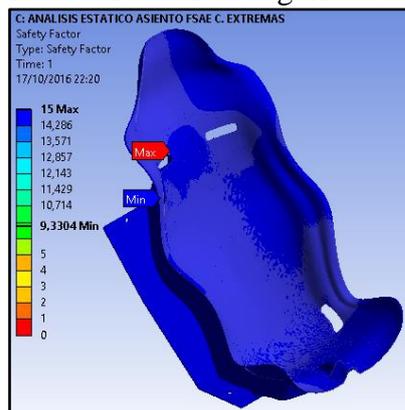


Fuente: Autores

3.7.4 **Diagrama del factor de seguridad.** Al reducir el espesor del asiento y firewall, buscábamos reducir peso como la cantidad de material empleado para su fabricación, y por lo tanto hemos obtenido un factor de seguridad considerable y adecuado 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 9,3304, lo que significa que podría soportar un esfuerzo 15 veces mayor del que está asignado en la simulación (Figura 52). Este valor es perfectamente confiable ya que presenta un margen de trabajo adecuado cuando el asiento y firewall sean expuestos 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 52. Resultado del factor de seguridad en el asiento FSAE



Fuente: Autores

## CAPÍTULO IV

### 4. FASE DE PRUEBAS Y CONSTRUCCIÓN DE ASIENTO

Para la obtención del asiento ergonómico se parte desde la fabricación del mock up estructura metálica o de madera que ayuda de manera eficaz en la toma de medidas ergonómicas y antropométricas del piloto.

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

#### 4.1 Selección de material de refuerzo para la matriz

El material que se emplea generalmente en la fabricación de este tipo de asientos es la resina poliéster con refuerzo de fibra de vidrio, carbono, etc.; teniendo como objetivo obtener propiedades adecuadas entre resistencia/peso, facilidad en el proceso de manufactura, que se encuentre existente en el mercado ecuatoriano, entre otros. No obstante, para reducir costo y con el desafío de aplicar un material natural, se ha optado por la utilización de fibra de cabuya como material de refuerzo para la matriz de resina poliéster.

Existen varios estudios que se han realizado con este tipo de fibra natural para crear materiales compuestos, es necesario realizar ensayos del mismo para validar la información existente, además de proporcionar datos absolutamente necesarios que se requieren para ingresar al software ANSYS para la caracterización de dicho material y su correspondiente análisis.

4.1.1 *Caracterización de material.* Los ensayos necesarios para la caracterización del material compuesto con matriz de resina poliéster y fibra de cabuya como refuerzo se han realizado mediante la aplicación de normas ASTM, donde se tabulan cada uno de los datos obtenidos en los diferentes ensayos, estos están en las tablas que se aprecian a continuación según el tipo de ensayo empleado a este tipo de material.

4.1.2 *Desarrollo de probetas según la norma ASTM D790.* Para realizar los ensayos necesarios para la caracterización del material compuesto de la matriz de resina poliéster con refuerzo de fibra de cabuya, es necesario determinar específicamente la forma de la probeta que debe cumplir, además de los requerimientos de la ASTM D790 debido a que el mismo en primera instancia se forma una sustancia líquida que posteriormente se solidificará y dará lugar al material compuesto reforzada de fibra natural de cabuya.

Las probetas normalizadas y fabricadas mediante el uso de la norma ASTM D790 serán sometidas a las exigencias que el asiento FSAE diseñado deberá soportar.

Para ejecutar este proyecto se tomaron datos de los ensayos realizados en el trabajo de titulación denominado “APLICACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS PARA LA FORMACIÓN DE GUARDABARROS Y TAPAS LATERALES DE UNA MOTO DE 125CC, 4 TIEMPOS” de los autores Tixe Subina Joffre Marcelo, Vistín Bastidas Jhonatan David. A continuación, los datos de los ensayos realizados:

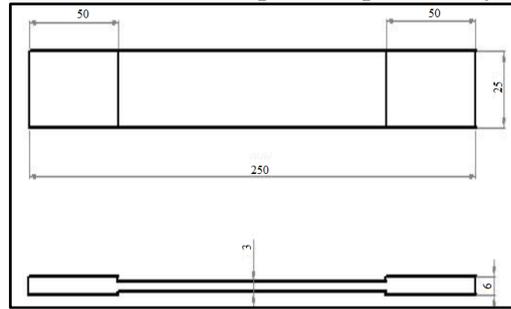
4.1.2.1 *Ensayo de resistencia a la tracción.* Los ensayos necesarios para la caracterización de la matriz de resina de poliéster con refuerzo de fibra de cabuya se han realizado mediante la aplicación de las normas ASTM 3039, de la misma manera los datos obtenidos mediante este tipo de ensayo se detallan a continuación:

Tabla 11. Resultado promedio del ensayo de tracción

Ensayo de Tracción Resina Poliéster con Refuerzo de Fibra Natural de Cabuya						
	Carga Máxima (kg)	Deformación máxima (mm)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Elongación (mm)	Módulo de Elasticidad (Mpa)
<b>Fibra Larga de Cabuya</b>						
F.C.L. 40%	394	0,6	3864	42,93	0,012	3760
F.C.L. 30%	443	0,66	4341	54,25	0,0131	4157
F.C.L. 25%	294	0,43	2881	37,21	0,0085	4413
<b>Fibra Tejida de Cabuya</b>						
T.C.N. 35%	277	0,72	2716	35,05	0,0145	2436
T.C.N. 30%	160	0,41	1568	22,75	0,0082	3018
T.C.N. 25%	157	0,39	1539	22,75	0,0078	3298

Fuente: (TIXE, 2015)

Figura 53. Dimensiones de la probeta para ensayo de tracción



Fuente: Norma ASTM D-3039/08

Figura 54. Probeta de ensayo de tracción



Fuente: (TIXE, 2015)

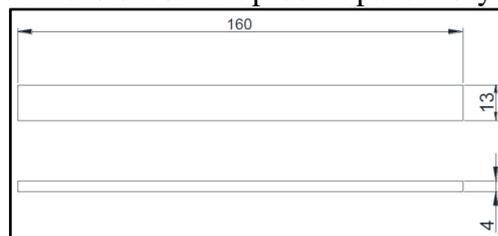
4.1.2.2 *Ensayo de resistencia a la flexión.* Este tipo de ensayo se realiza mediante el uso de una probeta a la cual se le somete a una deformación plástica según lo indica la norma ASTM D-7264.

Tabla 12. Resultado promedio del ensayo de flexión

Ensayo de Flexión Resina Poliéster con Refuerzo de Fibra Natural de Cabuya					
	Carga Máxima (kg)	Deflexión Máxima ruptura (mm)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Módulo de Flexión (Mpa)
<b>Fibra Larga de Cabuya</b>					
F.C.L. 30%	12,6	23,24	123	111	3425
<b>Fibra Tejida de Cabuya</b>					
T.C.N. 35%	9,9	12	97	83	5285

Fuente: (TIXE, 2015)

Figura 55. Dimensiones de la probeta para ensayos de flexión



Fuente: Norma ASTM D-7264/07

Figura 56. Probeta de ensayo de flexión



Fuente: (TIXE, 2015)

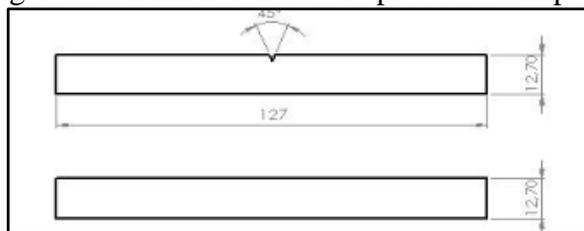
4.1.2.3 *Ensayo de impacto*. Este ensayo es de tipo dinámico y destructivo, a través del cual podemos obtener datos de resiliencia, desplazamiento lateral, zona dúctil, etc. El método Charpy que consiste en una probeta colocada horizontalmente, sobre el cual se deja caer una de masa determina en reposo a partir de una altura específica será aplicado de acuerdo a la norma ASTM D-6110.

Tabla 13. Resultado promedio del ensayo de impacto

Ensayo de Impacto		
Resina Poliéster con Refuerzo de Fibra Natural de Cabuya		
	Péndulo	Resistencia Máxima al Impacto (J)
<b>Fibra Larga de Cabuya</b>		
F.C.L. 30%	25 J	5,2
<b>Fibra Tejada de Cabuya</b>		
T.C.N. 35%	25 J	3,2

Fuente: (TIXE, 2015)

Figura 57. Dimensiones de la probeta de impacto



Fuente: Norma ASTM D-6110

Figura 58. Probeta de ensayo de impacto



Fuente: (TIXE, 2015)

## 4.2 Análisis de tiempos

Tabla 14. Análisis de tiempos en el proceso de manufactura

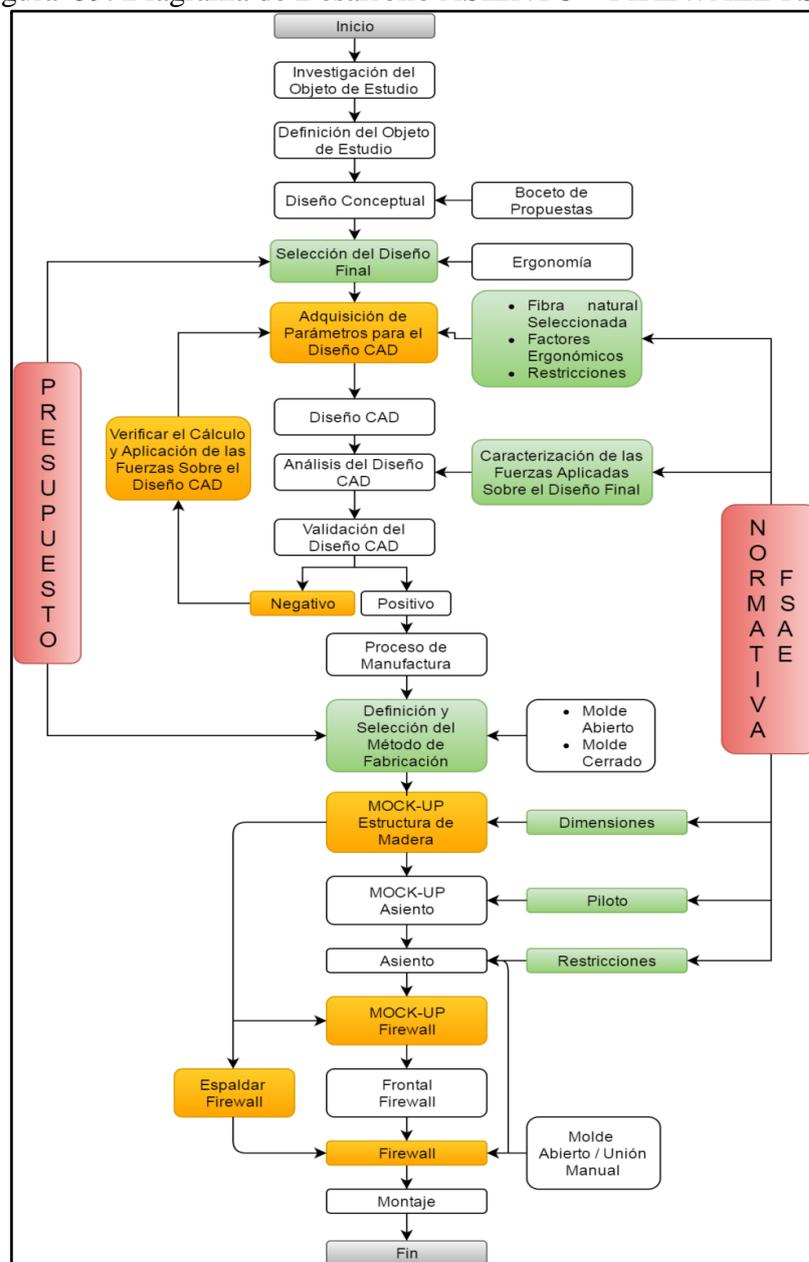
<b>Actividad</b>	<b>Duración</b>
<b>Obtención del molde para la fabricación</b>	
Construcción de Mock-up	24 horas
Construcción del molde para el prototipo	96 horas
Obtención de la matriz del prototipo	48 horas
<b>Fabricación del prototipo</b>	
Mercerización de la fibra de cabuya	6 horas
Preparación de la resina poliéster	30 min
Aplicación de cera desmoldante	15 min
Aplicación de MECK	20 min
Colocación de 3 capas de fibra natural	25 min por capa
Secado	8 horas
<b>Detalles finales al prototipo del diseño</b>	
Diseño del perfil de asiento y firewall	10 horas
Cortado del asiento y firewall según el diseño	4 horas
Proceso de desmolde del prototipo	1 hora
Preparación de la superficie	48 horas
<b>Pintado del prototipo</b>	
Limpieza de la superficie del conjunto ergonómico	2 horas
Asignación de fondo automotriz a las superficies	20 min
Pintado de las superficies	20 min
Aplicación de barniz automotriz	20 min
Secado	2 horas
<b>Anclaje del prototipo al chasis</b>	
Definición de los puntos de anclaje en el chasis	1 hora
Preparación de los anclajes	45 min
Soldar los anclajes del conjunto y los soportes del arnés de seguridad	20 min
Verificación de la posición del asiento y firewall	45 min
<b>Verificación del cumplimiento de las restricciones FSAE en el prototipo</b>	
Verificación del ángulo de inclinación del asiento	10 min
Medición de la distancia existente entre los arcos principales de la estructura y el casco del conductor	20 min
Espacio para el tanque de combustible	20 min
Verificación de la posición del arnés de seguridad	2 horas

Fuente: Autores

En el proceso de obtención del molde y posteriormente en la fabricación del conjunto ergonómico para la FSAE se llega a realizar un análisis de tiempos aproximado de cada una de las operaciones a realizar. En este estudio se pretende optimizar el tiempo en cada una de las operaciones a realizar, evitando desperdicio de materia prima y gastos económicos adicionales al proceso de manufactura, esto ayudará a trabajar de manera óptima con este tipo de material compuesto (Tabla 14).

#### 4.3 Diagrama de desarrollo asiento – firewall FSAE.

Figura 59. Diagrama de Desarrollo ASIENTO – FIREWALL FSAE



Fuente: Autores

#### 4.4 **Manufactura del asiento-firewall FSAE**

##### 4.4.1 *Método y manufactura de moldes asiento y firewall*

4.4.1.1 *Definición y selección del método de manufactura.* 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 los mock-ups necesarios para el asiento y firewall respectivamente, como se indica en la Figura 60.

Figura 60. Mock-up de la estructura metálica del vehículo en madera

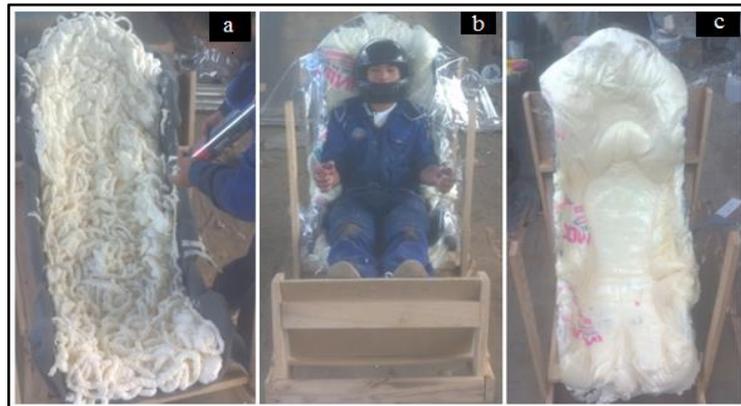


Fuente: Autores

4.4.1.2 *Manufactura del mock-up asiento FSAE.* Una vez obtenido 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 FSAE (Figura 60). La espuma de poliuretano en spray utilizada genera 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 61). 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 61. a) Relleno de espuma de poliuretano, b) Posición de confort del piloto, c) Molde final del asiento



Fuente: Autores

El molde de espuma de poliuretano (Figura 61), 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 62. a) Molde frágil en espuma de poliuretano, b) Molde reforzado con yeso

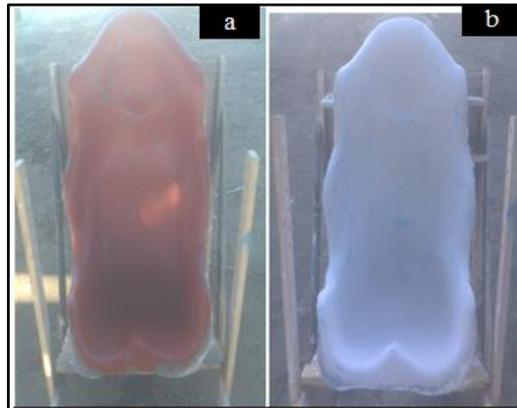


Fuente: Autores

Debido a que el molde fabricado a partir de la espuma de poliuretano resulta 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 62), 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 63), para darle un acabado superficial mucho más parejo y listo para manufacturar el asiento.

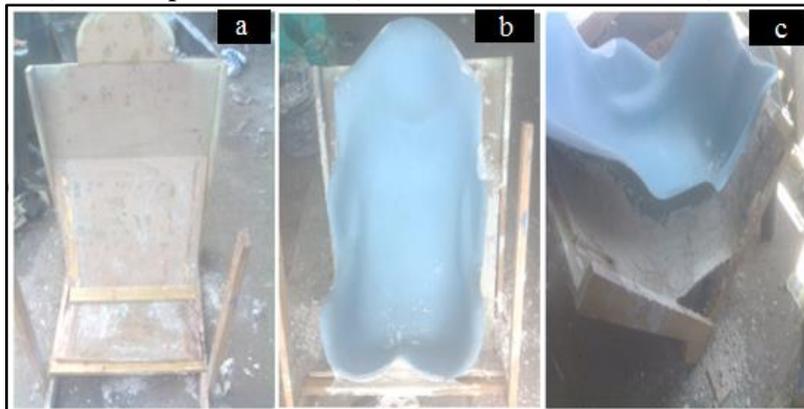
Figura 63. a) Superficie con capa de masilla automotriz, b) Superficie con fondo automotriz



Fuente: Autores

4.4.1.3 *Manufactura del mock-up firewall FSAE.* Para la construcción del molde del firewall, el mock-up de madera, junto con el asiento manufacturado fueron utilizados de forma que ambos se acoplen, recubriendo los lados y la parte interna con una capa de yeso para obtener una estructura resistente, como se indica en la Figura 64.

Figura. 64. a) Mock up de madera, b) Asiento manufacturado, c) Firewall en yeso

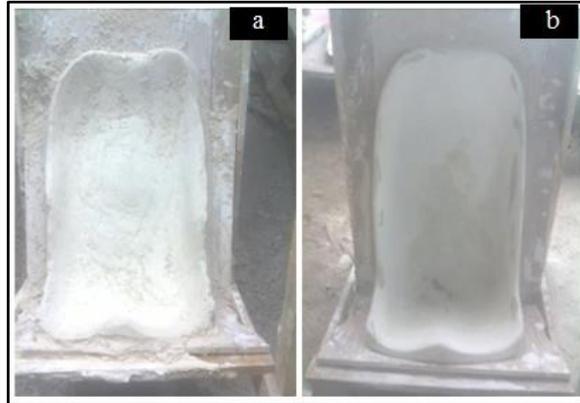


Fuente: Autores

Como observamos, se obtiene un segundo molde para el firewall, pero al rectificar las superficies notamos imperfecciones, por lo cual se recurre a aplicar una capa de yeso adicional, hasta alcanzar una superficie uniforme, la cual se pule utilizando una lija fina.

Sin embargo, para obtener una superficie mucho más uniforme se aplica una capa de masilla automotriz, y recubierta por una última capa de pintura de fondo automotriz para mejorar su acabado superficial (Figura 65).

Figura. 65. a) Superficies lisa, b) Aplicación de masilla automotriz



Fuente: Autores

#### 4.5 Método y manufactura ASIEN TO- FIREWALL FSAE

4.5.1 *Definición y selección del método de manufactura.* Durante los últimos años se ha observado el incremento en el uso de materiales compuestos en elementos estructurales en la industria náutica, automotriz, aeroespacial, y mercados de consumo. Los métodos para la construcción de elementos plásticos con fibras sintéticas o naturales se han dividido en 2 tipos que son los de molde cerrado y molde abierto.

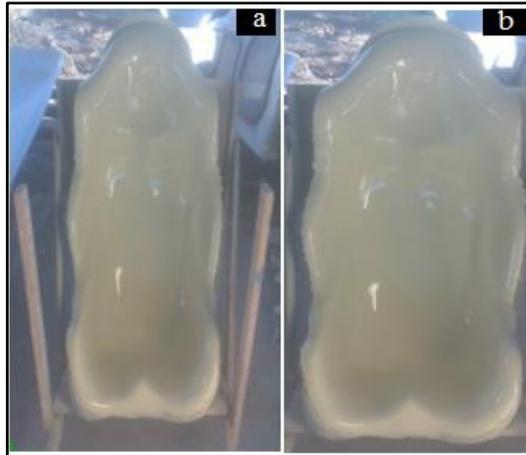
Existen numerosos procesos para el método molde cerrado, entre los cuales los más comúnmente utilizados son el moldeo por compresión e inyección, laminar de compuestos, y continuo de pultrusión. No obstante, aunque las ventajas de estos procesos en la industria automotriz son muchas, los mismos son aplicados para obtener una mayor eficiencia en cuanto a producción en gran volumen se refiere.

El método de molde abierto consiste en 4 diferentes procesos los cuales son el de unión manual, pulverizado, bobinado de filamentos, embolsado al vacío y autoclave. No obstante, se ha decidido 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 consisten en: la impregnación, laminado y solidificación del material compuesto.

#### 4.5.2 *Proceso de manufactura ASIENTO FSAE.*

4.5.2.1 *Impregnación:* Obtenido el mock-up del asiento (Figura 62), se procede a recubrir con una capa de gel antiadherente (cera desmoldante) para facilitar la extracción de la matriz finalizado el curado. Una vez secado la superficie antiadherente, se recubrió una capa de Yielcold de manera uniforme en todo el contorno del molde, debido a que presenta similares características antiadherentes que la cera (Figura 66).

Figura 66. a) Superficie con capa de gel antiadherente, b) Aplicación de Yielcold



Fuente: Autores

Para la preparación de la resina poliéster se mezcla conjuntamente con talco chino, aditivos estirenos, acelerador (octoato de cobalto), catalizador y peróxido de MEK, que garantizan que la fibra de cabuya tome la forma del molde evitando humedad en la misma (Figura 67).

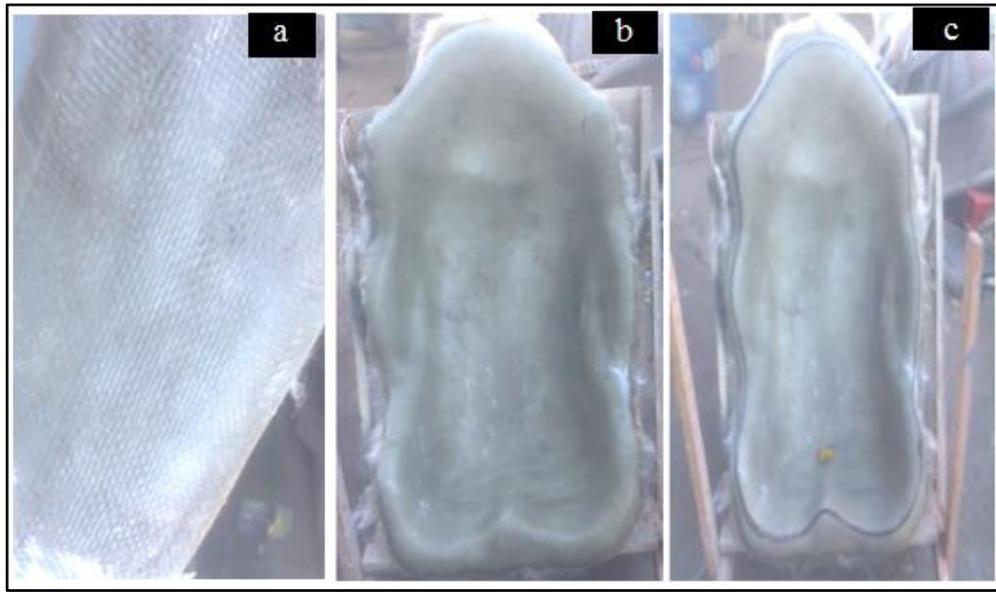
Figura 67. Resina poliéster



Fuente: Autores

4.5.2.2 *Laminado:* Para esta etapa fueron colocadas 2 capas de material de refuerzo de fibra de cabuya para obtener el espesor deseado de acuerdo al diseño planteado. Para esta etapa se puede utilizar una brocha o rodillo para evitar que se formen burbujas de aire en la estructura de la matriz del asiento.

Figura 68. a) Aplicación de fibra de cabuya y resina, b) Secado c) Diseño del contorno del asiento



Fuente: Autores

Luego de ser colocadas las capas de fibra natural, viene el secado a temperatura ambiente, una vez que la superficie presente una forma rígida se realiza el diseño del contorno del asiento ergonómico como se indica en la Figura 68.

4.5.2.3 *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.

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 cabuya durante el proceso de laminado y puliendo su contorno de la matriz empleando una amoladora.

El tiempo de curado de la matriz dependió de la mezcla y concentración de la resina poliéster con los otros elementos utilizados.

Figura 69. Asiento extraído desde el mock-up



Fuente: Autores

#### 4.5.3 *Proceso de manufactura FIREWALL FSAE.*

4.5.3.1 *Impregnación:* Obtenido el molde del firewall (Figura 63), se recubre con gel antiadherente la parte frontal del firewall y el espaldar del mock-up para generar 2 matrices que serían unidas en lo posterior. Luego de verificar que la superficie este totalmente seca se aplica una capa de Yielcold antes de proceder a colocar las diferentes capas de fibra de cabuya (Figura 70).

Figura 70. Mock-up del firewall recubierta con una capa de gel antiadherente



Fuente: Autores

4.5.3.2 *Laminado:* Para esta etapa, las 2 partes del firewall se manufactura independientemente, colocando por separado 3 capas de resina y material de refuerzo en

cada elemento. Para unir las dos partes se aplicó masilla automotriz para resina poliéster en todo su contorno (Figura 71).

Figura 71. a) Parte frontal del firewall, b) Parte posterior o espaldar



Fuente: Autores

4.5.3.3 *Curado*: La última etapa de la manufactura del firewall consiste en curar ípor completo el elemento durante 24 horas, sometido a condiciones de presión y temperatura ambientales. Una vez juntado los dos elementos del firewall tenemos un sólido como se indica en la Figura 72.

Figura 72. Firewall extraído desde el mock-up



Fuente: Autores

4.5.4 *Proceso de perforación de agujeros para el arnés de seguridad*. De acuerdo al diseño realizado en SolidWorks 2015, el asiento manufacturado cuenta con una serie de taladros, los cuales mantienen la butaca firme junto con el firewall, y que permite la adaptación del arnés del cinturón de seguridad de 5 puntos (Figura 73).

Figura 73. Agujeros para el arnés de seguridad



Fuente: Autores

4.5.5 **Proceso de pintado.** Antes de iniciar con la etapa de pintado del asiento y firewall, ambos elementos se impregnaron con un fondo de pintura gris para asegurar el correcto proceso de pintura y barnizado de los elementos.

Figura 74.a) Firewall, b) Asiento ergonómico con fondo automotriz



Fuente: Autores

Para el proceso de pintura, los colores seleccionados, azul y blanco, se han basado en los colores de la carrocería actual para contribuir a la estética del vehículo se observa en la Figura 75, 76.

Figura 75. Pintado de la superficie del firewall



Fuente: Autores

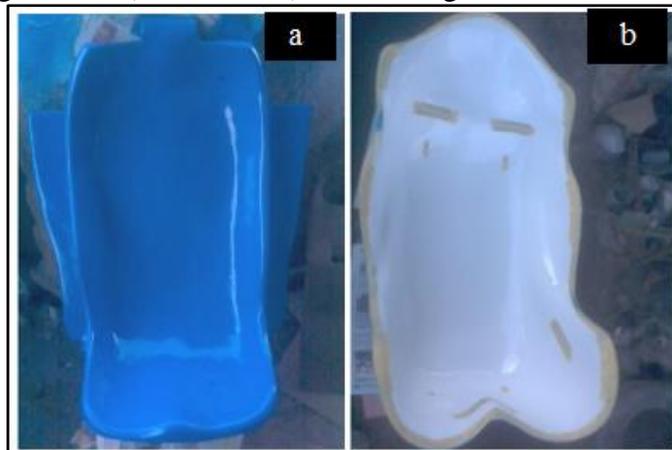
Figura 76. Pintado de la superficie del asiento ergonómico



Fuente: Autores

Se puede observar en la Figura 77, que el firewall y la parte posterior del asiento se pinta de color azul. Sin embargo, la parte frontal del asiento se lo pinta de color blanco para mantener la estética agradable al ojo humano con colores suaves que inspiren frescura y sencillez. Finalmente se barnizó con acabado para superficies de fibra natural que permitirá presentar un brillo considerable y evitando que el asiento y firewall se raye cuando se manipule al colocar en el chasis y realizar las respectivas comprobaciones según las restricciones de la FSAE.

Figura 77. a) Firewall, b) Asiento ergonómico barnizados



Fuente: Autores

#### 4.6 Anclaje del asiento ergonómico al chasis

Antes de definir los puntos donde se ancla los elementos 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.

Figura 78. Conjunto ergonómico nivelado



Fuente: Autores

Una vez nivelado el conjunto ergonómico al chasis se procede a colocar unas bases que permita su sujeción tanto en la parte superior como inferior del firewall, ya que el asiento está asegurado a este elemento.

Además, los soportes de los puntos de sujeción del cinturón de seguridad, están tomados en consideración el espacio para otros elementos como la ubicación del tanque de combustible y la caja de protección para la computadora del vehículo.

Figura 79. Bases de anclaje soldadas el chasis



Fuente: Autores

Posteriormente se procede a colocar el conjunto ergonómico al chasis para verificar su posición dentro de la estructura quedando como se indica en la Figura 80.

Figura 80. Bases de anclaje soldadas al chasis



Fuente: Autores

#### 4.7 Verificación del cumplimiento de las restricciones según la FSAE

Una vez obtenido la manufactura del asiento ergonómico y el firewall respectivamente se procede a realizar la verificación de cumplimiento de las restricciones geométricas FSAE mencionadas en el Capítulo 2, Literal 2.2.1.1

4.7.1 **Posición ergonómica del conductor.** En esta parte se procede a verificar el cumplimiento de los requerimientos de la reglamentación SAE, específicamente relacionados con la posición ergonómica que dota el asiento con el chasis, el cual posee un ángulo de inclinación de  $60^\circ$  con respecto a la horizontal.

Además, la ubicación del arnés de seguridad de 5 puntos con CamLock las cuales se pueden apreciar en las siguientes Figuras 81 y 82.

Figura 81. Ubicación del asiento ergonómico en el chasis y ángulo de inclinación de la posición ergonómica



Fuente: Autores

Figura 82. Distancia mínima de 50 mm (2 pulgadas) desde el casco hasta el marco tubular del chasis



Fuente: Autores

4.7.2 **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, además ángulos que debe formar conjuntamente con el chasis. A continuación de manera detallada se podrá observar en las siguientes Figura 83.

Figura 83. Ubicación del cinturón de seguridad de 5 puntos con CamLock al chasis



Fuente: Autores

Figura 84. Montaje final del conjunto ergonómico a la estructura



Fuente: Autores

## CAPÍTULO V

### 5. ANÁLISIS DE COSTOS

Para la ejecución de este proyecto se centró en el proceso de manufactura para realizar el análisis de costos, debido a los materiales y recursos que se empleó para su realización.

#### 5.1 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 15 se detallan los costos de materiales y mano de obra que se emplearon en la construcción del Mock up respectivamente.

Tabla 15. Lista de materiales y costos de construcción del Mock up

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo (USD)</b>
Plancha de Tiplax de 12 mm	1	42,00
Plancha de MDF de 8mm	1/2	32,00
Tablas de eucalipto	4	18,00
Pegamento blanco (Lt)	1	3,00
Clavos de ½ (Lb)	2	5,00
Mano de obra	1	80,00
<b>Total</b>		<b>180,00 USD</b>

Fuente: Autores

En la Tabla 16, se detallan en cambio los costos de materia prima que se emplearon en la construcción de los moldes tanto para el asiento ergonómico y firewall respectivamente.

Tabla 16. Lista de materiales y costos de construcción de moldes

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo (USD)</b>
Espuma de poliuretano en aerosol	6	52,00
Yeso (Lb)	100	37,10
Pegamento blanco (Lt)	2	6,00
Masilla plástica (Kg)	4	24,00
Masilla automotriz	1	6,90
Lijas	20	15,00
<b>Total</b>		<b>141,00 USD</b>

Fuente: Autores

En la Tabla 17 se detallan los materiales y costos de empleados en la construcción del asiento ergonómico y firewall respectivamente.

Tabla 17. Lista de materiales y costos de construcción del asiento y firewall

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo (USD)</b>
Resina poliéster (gal)	8	152,00
Estireno (gal)	2	25,40
Fibra de cabuya (m <sup>2</sup> )	30	35,00
Peróxido de MEK (Lt)	2	30,00
Talco chino (Kg)	6	9,60
Cera desmoldante	4	48,00
Yielcold (Lt)	2	24,00
Octoato de cobalto (Lt)	1	18,00
Masilla plástica	2	12,00
Masilla automotriz	1	6,90
Lijas	15	7,50
<b>Total</b>		<b>368,40 USD</b>

Fuente: Autores

Finalmente, para la fabricación en la Tabla 18 de indican los materiales y sus costos respectivos para el proceso de pintado de cada uno de los elementos del presente proyecto. El costo de alquiler de los diferentes equipos utilizados en su ejecución están en la Tabla 19.

Tabla 18. Lista de materiales y costos en el proceso de pitado

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costos (USD)</b>
Fondo automotriz (Lt)	2	30,00
Pintura (gal)	1	40,00
Barniz (Lt)	1	30,00
<b>Total</b>		<b>100,00 USD</b>

Fuente: Autores

Tabla 19. Lista de equipos utilizados y costos

<b>Descripción</b>	<b>Costo por hora</b>	<b>Cantidad (horas)</b>	<b>Costos (USD)</b>
Compresor	3,00	10	30,00
Pistola para pintura	1,50	10	15,00
Pistola de calor	1,00	20	20,00
Taladro	1,00	8	8,00
Amoladora	1,00	10	10,00
<b>Total</b>			<b>83,00 USD</b>

Fuente: Autores

Los costos de mano de obra y asesoría para la manufactura del asiento ergonómico y firewall, están detallados en la Tabla 20.

Tabla 20. Costos de mano de obra

<b>Descripción</b>	<b>Costo (USD)</b>
Mano de obra	180,00
Asesoría	100,00
<b>Total</b>	<b>280,00</b>

Fuente: Autores

Los costos de accesorios, materiales de aislamiento térmico y el arnés de seguridad del asiento, están detallados en la Tabla 21.

Tabla 21. Costos de accesorios de seguridad

<b>Descripción</b>	<b>Costo (USD)</b>
Arnés de seguridad de 5 puntos con CamLock	180,00
Adhesivos	10,00
Material ignífugo	40,00
<b>Total</b>	<b>230,00</b>

Fuente: Autores

## 5.2 Costos indirectos.

Estos costos no intervienen directamente en la ejecución del presente proyecto, pero si se les toma en consideración en el desarrollo del mismo, están en la Tabla 22.

Tabla 22. Costos indirectos

<b>Descripción</b>	<b>Costo (USD)</b>
Imprevistos	300,00
Transporte, alimentación y estadía	280,00
Documentación	200,00
<b>Total</b>	<b>780 USD</b>

Fuente: Autores

## 5.3 Costos totales.

Los costos totales de la fabricación del asiento ergonómico FSAE y firewall, es la suma de todos los gastos realizados en su ejecución, los cuales están detallados en la Tabla 23.

Tabla 23. Costos totales del proyecto

<b>Costos directos</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Costos (USD)</b>
Materiales de construcción de Mock up	180,00
Materiales de construcción de moldes	141,00
Materiales de construcciones asiento y firewall	364,40
Materiales del proceso de pintado	100,00
Equipos	83,00
Mano de obra	280,00
Accesorios de seguridad	230,00
Total costos directos	1382,40
<b>Costos indirectos</b>	
Total costos indirectos	780,00
<b>Costos Totales</b>	<b>2162,40 USD</b>

Fuente: Autores

## CAPÍTULO VI

### 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 Conclusiones

Se recopiló información de normas vigentes para el diseño y construcción de un asiento ergonómico y firewall, este trabajo se basa en la normativa Fórmula SAE 2014, para obtener un diseño adecuado que cumpla con las exigencias ergonómicas y antropométricas del conductor en función del estado actual del arte.

Se realizó el diseño del asiento ergonómico y firewall que permita el confort y cumpla con las restricciones de la Fórmula SAE. Con la utilización del software SolidWorks 2015 se obtuvo el diseño del conjunto ergonómico, aplicando las herramientas de superficies complejas correspondientes para un correcto modelado y mediante el análisis estructural realizado por Ansys Workbench 17.1 las geometrías de nuestro diseño generaron deformaciones totales máximas de 4,57 mm ubicado en la parte superior del asiento ergonómico. El valor máximo de la tensión es de 68 MPa en la sección donde aloja a los hombros, además el esfuerzo máximo obtenido en la simulación es de 41 MPa el cual está ubicado cerca de los agujeros para el arnés de seguridad y el factor de seguridad de 15 dicho valor permite validar el diseño para posteriormente ser construido.

Se construyó el asiento ergonómico utilizando materiales compuestos reforzado con fibra de cabuya debido a las propiedades mecánicas que genera y procedimientos adecuados para la construcción del Mock Up para el asiento ergonómico y firewall, construcción de los moldes correspondientes en espuma de poliuretano reforzados con yeso, construcción de la matriz y por último la manufactura del asiento ergonómico y firewall en fibra natural que garanticen un correcto desempeño del piloto dentro de una pista y cumpla con los requerimientos FSAE.

Debido a que la cabuya posee uniformidad y consistencia en su estructura, permite obtener resistencia mecánica tomando en consideración la orientación de la fibra de cabuya a 45 ° el cual permite el incremento de su rigidez y tracción.

## 6.2 **Recomendaciones**

Antes de ejecutar el trabajo de titulación es indispensable analizar la normativa FSAE referente al asiento ergonómico, firewall y arnés de seguridad para que el prototipo cumpla con todos los requerimientos establecidos dentro de la norma. Para la construcción de conjunto ergonómico es recomendable recibir capacitación sobre la utilización de fibras naturales, resinas poliéster y tener conocimiento de la cantidad exacta de aditivos 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 con materiales compuestos.

Para el diseño del asiento ergonómico y firewall se debe tomar en consideración aspectos de suma importancia como son características mecánicas del material compuesto, desempeño, eficiencia y costos de manufactura.

Cuando se trabaje con materiales compuestos reforzados con fibras naturales utilizar el equipo de protección adecuada debido a que las partículas desprendidas de fibra de cabuya, agentes químicos y sus aditivos presentes en el material obtenido pueden causar daños a nivel del sistema respiratorio, vista y la piel.

En la preparación de la resina poliéster evitar mezclar directamente el catalizador Metil etil cetona con el acelerante Octoato de cobalto debido que su mezcla tiende a inflamarse y podría ocasionar incendio conjuntamente con otros materiales de fácil combustión dentro del taller.

## BIBLIOGRAFIA

- ASKELAND, D.** *Ciencia e Ingeniería de materiales*. 3<sup>ra</sup> ed. México-México : International Thomson, 1998. pp. 517-535.
- BARRAL, Ruth; et al.** *Aspectos de Medicina legal en práctica diaria*. [En línea]. Bolivia: OPS/OMS, 2013. pp. 14-24. [Consulta: 05 de Septiembre de 2016]. Disponible en: <http://www.nunezdearco.com/Lesiones.htm>.
- BAUTISTA, Andrés.** *Manual de ergonomía*. México-México: Khulsey, 2002. pp. 3-11.
- BEER, Ferdinand; et al.** *Mecánica de materiales*. 5<sup>ta</sup> Ed. México-México: Mc GRAW HILL, 2010. pp. 817.
- BESEDNJAK, A.** *Materiales compuestos, Proceso de fabricación de embarcaciones*. Barcelona-España: Edicions UPC, 2005. pp. 19-32.
- BHISE, Vivek D.** *Ergonomics in the Automotive Design Process*. New York-USA: CRC Press, 2011. pp. 3-28.
- CEIT.,** *Criterios de convergencia*. [En línea]. [Consulta: 08 de Julio de 2016]. Disponible en: <http://www.ceit.es/asignaturas/estructuras/criterios%20convergencia.pdf>
- CRUZ GÓMEZ, Alberto J.** *Ergonomía aplicada*. 4<sup>ta</sup> ed. Bogotá-Colombia: ECOE Ediciones, 2010. pp. 21-28.
- FLORES, Cecilia.** *Ergonomía para el diseño*. México-México: D.R. Designio, 2001. pp. 17-25.
- GISBERT, J.** *Medicina legal y toxicología*. 6<sup>ta</sup> ed. Barcelona-España: MASSON, 2004. pp. 331-382.
- GKIKAS, Nikolaos.** *Automotive Ergonomics, Driver-Vehicle Interaction*. [En línea]. New York-USA: CRC Press , 2012. pp. 7-77. [Consulta: 18 de Julio de 2016]. Disponible en: <https://issuu.com/lkscunha/docs/230182383-200362597-automotive-ergo>
- HAPPIAN, Julian.** *An introduction to Modern Vehicle Desing*. [En línea]. Great Britain: Butterworth Heinemann, 2002. pp. 233-273. [Consulta: 22 de Julio de 2016 ]. Disponible en: [http://sanantonio.ucoz.ru/\\_ld/0/6\\_0750650443.Else.pdf](http://sanantonio.ucoz.ru/_ld/0/6_0750650443.Else.pdf)
- KINDLER, Handles.** *Matemática aplicada para la técnica del automóvil*. 8<sup>va</sup> ed. Barcelona-España: Reverté, 1986. pp. 201-226.

**LEVY, Neto & PARDINI, L.C.** *Compositos estruturais, Ciência e Tecnologia*. São Paulo-Brazil: Edgard Blücher, 2006. pp. 75-84.

**MARIASIU, Florin.** *Benchmark Test For A Formula SAE Student Car Prototyping*. [En línea]. 2011, (Rumania). 1(4). SP Versita, pp 423-429. [Consulta: 20 de Diciembre de 2015]. ISSN 2081-9927. Disponible en: <http://link.springer.com/article/10.2478/s13531-011-0047-0>

**NAVARRO, J.** *Elementos amovibles y fijos no estructurales*. 2<sup>da</sup> ed. Madrid- España: Paraninfo., 2010. pp. 234 - 238.

**PÁEZ MOSCOSO, Juan Carlos.** *Obtención de compuestos de polipropileno reorzado con fibras de abacá mediante moldeo por compresión*. [En línea] (tesis). (Pregrado ) Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2007, pp. 1-46. [Consulta: 20 de Enero de 2016]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/352/1/CD-0762.pdf>

**PANERO, Julius.** *Las dimensiones humanas en los espacios interiores*. 7<sup>ma</sup> ed. Barcelona- España: Gustavo Gili, 1996. pp. 21-43.

**PICKERING, Kim.** *Properties and performance of natural-fiber composites*. Washington-USA: CRC Press, 2008. pp. 3-113.

**RANA, Sohel & FANGUEIRO, Raul.** *Fibrous and Textile Materials for Composite Applications*. Singapore: Springer, 2016. pp. 171-230.

**RANA, Sohel & FANGUEIRO, Raul.** *Natural Fibres: Advances in Science and Technology Towards Industrial Applications*. [En línea]. Singapore: Springer, 2016. pp. 156-380. [Consulta: 22 de Febrero de 2016 ]. Disponible en: <http://www.springer.com/gb/book/9789401775137>

**SAE.** *Rules, 2015 Formula SAE*. [En línea]. USA: SAE International, 2014. [Consulta: 16 de Febrero de 2016]. Disponible en: [http://www.sae.org/images/cds/selfservice/410986855\\_2015-16%20FSAE%20Rules%20revision%2091714%20kz.pdf](http://www.sae.org/images/cds/selfservice/410986855_2015-16%20FSAE%20Rules%20revision%2091714%20kz.pdf)

**TAMAYO DUQUE, Napoleón Andrés.** *Obtención y caracterización de materiales compuestos de matriz poliéster con fibra de cabuya mediante estratificación*. [En línea] (tesis). (Pregrado ) Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2012. pp. 1-50. [Consulta: 20 de Enero de 2016]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4714/1/CD-4344.pdf>

**TIXE SUBINA, Joffre Marcelo & VISTÍN BASTIDAS, Jhonatan David.** *Aplicación de materiales compuestos para la formación de guardabarros y tapas laterales de una moto de 125cc, 4 tiempos*. [En línea] (tesis). (Pregrado ) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2015. pp. 28-65. [Consulta:

20 de Enero de 2016]. Disponible en:

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4123/1/65T00163.pdf>

**URQUIZO, A. 2012.** *Cómo realizar la tesis o una investigación*. Riobamba-Ecuador: Gráficas Riobamba, 2012. pp. 106-135.

**VALDANO, T. R.** *Plantas Altoandinas del Ecuador*. Quito-Ecuador: Universitaria Abya-Yala, 2011. pp.12-14.

**VARGAS, E.** *Medicina Legal*. [En línea]. 4<sup>ta</sup> ed. España: Trillas, 2012. pp. 137-173.

[Consulta: 22 de Enero de 2016 ]. Disponible en:

<https://es.scribd.com/doc/53108726/Medicina-Legal-Eduardo-Vargas-Alvarado>

**YAMAGATA, Nobuki.** *Design and Analysis of Reinforced Fiber Composites*. [En línea] California-USA: Springer International Publishing, 2015. pp. 67-85. [Consulta: 22 de Febrero de 2016 ]. Disponible en:

<http://www.springer.com/la/book/9783319200064>