

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS

Propuesta de diseño ergonómico en butacas de vehículos monoplace, para equipos
ecuatorianos participantes de la *Formula Student*

Ing. Edgar Gustavo Vera Puebla

Universidad Internacional SEK

Nota de Autor

Ing. Edgar Gustavo Vera Puebla, Maestría en Diseño Mecánico; Universidad Internacional
SEK;

Director Ing. Diana Belén Peralta Zurita, Msc.

Codirector Ing. Jaime Vinicio Molina Osejos, Msc.

Cualquier correspondencia concerniente a este trabajo puede dirigirse a:

evera.mdm@uisek.edu.ec

PROPUESTA DE DISEÑO DE BUTACAS PARA *FORMULA STUDENT*

Declaración Juramentada

Yo, Ing. Edgar Gustavo Vera Puebla, con cédula de identidad N° 1715264105, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y, que se ha consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Ing. Edgar Gustavo Vera Puebla

CI: 1715264105

Índice

Portada.....	1
Índice	3
Lista de Figuras	9
Lista de Tablas	15
Lista de ecuaciones.....	16
Lista de símbolos y nomenclaturas	17
Resumen	19
Abstract	20
Introducción	21
Antecedentes	22
Planteamiento del problema	23
Objetivo general	24
Objetivos específicos	24
Justificación.....	25
Estado del arte	26
Butaca	26
Clasificación de las butacas en vehículos	27
Formula Student.....	29
Butacas para Formula Student	30
Normativas para una butaca FSAE 2017 – 2018.	31
Visibilidad del conductor.....	32
Antropometría estática y dinámica.....	34

PROPUESTA DE DISEÑO DE BUTACAS PARA *FORMULA STUDENT*

Antropometría estática	34
Antropometría dinámica	34
Variabilidad antropométrica	35
Obtención de datos antropométricos.....	36
Dimensiones antropométricas	39
Datos antropométricos para el diseño automotriz.....	40
Ergonomía	41
Aplicación de la ergonomía de butacas en el Ecuador	42
Materiales para butacas en la industria automotriz de competición.....	43
Espumas de poliuretano	43
Espumas de polietileno	44
Fibra de carbono	44
Pruebas estáticas y dinámicas en Formula Student	49
Pruebas estáticas	49
Pruebas dinámicas.....	51
Sistema CAD – CAE en el desarrollo de prototipos	57
Modelado en 3d.....	57
Análisis mediante elementos finitos.....	57
Formulación de la hipótesis.....	58
Método	59
Método de investigación cualitativa y cuantitativa	59
Tipo de estudio	60
Modalidad de investigación	60

PROPUESTA DE DISEÑO DE BUTACAS PARA *FORMULA STUDENT*

Metodología	60
Revisión de literatura	61
Encuesta de confortabilidad	61
Métodos experimentales.....	61
Obtención de datos a través de la experimentación y uso de equipos de medición	61
Toma de dimensiones antropométricas.....	61
Validez y confiabilidad de los instrumentos	66
Mediciones de longitud	67
Medición de diámetros	70
Biacromial.....	70
Obtención por ingeniería inversa en modelos de butacas del 2012 y 2014, las medidas iniciales para la propuesta de diseño.	73
Validación de modelos 2012 y 2014 en tiempo real, para determinar el nivel de confortabilidad inicial	74
Confort general	74
Altura de la butaca	75
Anchura de asiento.....	75
Profundidad de asiento.....	76
Inclinación del asiento	76
Material de la butaca	77
Forma de la butaca	77
Imperfecciones en la butaca.....	78
Altura del respaldo	78

PROPUESTA DE DISEÑO DE BUTACAS PARA *FORMULA STUDENT*

Anchura del respaldo	79
Altura del borde inferior del respaldo	79
Inclinación del respaldo	80
Perfil vertical del respaldo	80
Curvatura horizontal de respaldo	81
Imperfecciones en el respaldo.....	81
Toma de datos estáticos de puntos de presión en el cuerpo	82
Construcción de la estructura.....	83
Ensayo de confortabilidad.....	84
Ángulos de posicionamiento correcto del piloto en la cabina con el prototipo de butaca .	86
Rediseño de butaca.....	87
Metodología para la construcción del prototipo final	87
Construcción de la cabina y prototipo de butaca	89
Molde para obtención de geometría humana	89
Fabricación de la cabina donde se aloja la butaca.....	91
Construcción de la butaca final	93
Validación con el prototipo rediseñado	98
Confort general	99
Altura de la butaca	99
Anchura de asiento.....	100
Profundidad del asiento.....	101
Inclinación del asiento	101

PROPUESTA DE DISEÑO DE BUTACAS PARA *FORMULA STUDENT*

Material de la butaca	102
Forma del asiento	103
Imperfecciones en el asiento	103
Altura de borde superior e inferior del respaldo	104
Anchura del respaldo	105
Inclinación del respaldo	106
Perfil vertical del respaldo	106
Curvatura del respaldo	107
Imperfecciones en el respaldo de la butaca.....	108
Selección de pilotos.....	108
Diseño de la butaca	109
Análisis por elementos finitos	110
Mallado.....	111
Fuerza de frenado.....	113
Fuerza centrífuga sobre la butaca	113
Resultados	119
Resultados antropométricos	119
Comparación de las medidas tomadas en Estados Unidos y Ecuatorianas	121
Medidas ergonómicas.....	122
Comparación de datos ergonómicos.	124
Resultados de confortabilidad del piloto	125
Resultados de cálculos para fuerzas que sufre la butaca en competencia	126
Condiciones de borde.....	126

PROPUESTA DE DISEÑO DE BUTACAS PARA *FORMULA STUDENT*

Fuerza de frenado.....	127
Fuerza centrífuga	128
Peso del asiento.....	128
Presión del piloto sobre el respaldo de la butaca	129
Momento debido a la fuerza centrífuga	130
Análisis y discusión de resultados.....	130
Encuestas de evaluación subjetiva y objetiva.....	130
Resultados de la butaca con medidas antropométricos	131
Ensayo de confortabilidad.....	132
Simulación de los modelos 2012, 2014 y propuesta de la butaca	133
Diagrama de deformación total.....	134
Diagrama de esfuerzos de VON-MISES	135
Diagrama de esfuerzo máximo	137
Construcción del prototipo	138
Conclusiones	140
Recomendaciones.....	141
Referencias bibliográficas	143
ANEXOS.....	147
Anexo 1	147
Anexo 2	152
Anexo 3	154
Anexo 4.....	155
Anexo 5	160
Anexo 6	167

Lista de Figuras

Figura 1. Partes de la butaca.....	26
Figura 2. Butaca para vehículos de competencia	27
Figura 3. Butacas individuales	28
Figura 4. Butacas corridas.....	28
Figura 5. Butacas según el alojamiento.....	29
Figura 6. Butaca del Formula Student equipo ecuatoriano.	30
Figura 7. Restricción Fórmula SAE para butacas	31
Figura 8. Estructura de impacto lateral Formula Student.....	31
Figura 9. Cabina de monoplaza fórmula SAE.....	32
Figura 10. Posicionamiento del piloto sobre la cabina Formula Student.....	33
Figura 11. Medidas antropométricas.....	35
Figura 12. Tallímetro.....	37
Figura 13. Báscula.....	37
Figura 14. Antropómetro.....	38
Figura 15. Cinta antropométrica.....	38
Figura 16. Plicómetro	38
Figura 17. Percentiles antropométricos	39
Figura 18. Dimensiones antropométricas de ciudadanos estadounidenses.	40
Figura 19. Postura de conducción monoplaza Formula Student.....	42
Figura 20. Espuma de polietileno.....	44
Figura 21. Fibra de carbono	45
Figura 22. Butaca de fibra de vidrio.....	46
Figura 23. Fuerzas actuantes en un vehículo.....	52

PROPUESTA DE DISEÑO DE BUTACAS PARA *FORMULA STUDENT*

Figura 24. Ángulo de curva en el vehículo	53
Figura 25. Fuerza de rozamiento en un automóvil.....	55
Figura 26. Resistencia a la rodadura	55
Figura 27. Sistema de tracción	56
Figura 28. Sistema de frenos	56
Figura 29. Escáner 3D	57
Figura 30. Modelo de Butaca en ANSYS	58
Figura 31. Instrumentos de medición	64
Figura 32. Calibre deslizante o antropómetro	64
Figura 33. Medición con cinta antropométrica	65
Figura 34. Medidor de fuerza digital de 200N	65
Figura 35. Medición acromio – radial	67
Figura 36. Medición Radial – estilóidea	68
Figura 37. Medición estilóidea – dactilóidea	68
Figura 38. Altura llioespinal.....	69
Figura 39. Altura tibiale laterale	69
Figura 40. Tibiale mediale – maleolar tibiale	70
Figura 41. Medida Biacromial	70
Figura 42. Medida Biliocrestídeo.....	71
Figura 43. Longitud del pie	71
Figura 44. Medida transversa del tórax.....	72
Figura 45. Profundidad ántero – posterior del tórax	72
Figura 46. Escaneado de butacas utilizadas	73
Figura 47. Modelos escaneados del 2012, 2014 y prototipo de butaca.....	73
Figura 48. Construcción de modelos 2012 y 2014.....	74

PROPUESTA DE DISEÑO DE BUTACAS PARA *FORMULA STUDENT*

Figura 49. Confort General	74
Figura 50. Altura de la butaca	75
Figura 51. Anchura de asiento.....	75
Figura 52. Profundidad de asiento.....	76
Figura 53. Inclinación de asiento	76
Figura 54. Material de la butaca.....	77
Figura 55. Forma del asiento.....	77
Figura 56. Imperfecciones en la butaca.....	78
Figura 57. Altura del respaldo.....	78
Figura 58. Anchura del respaldo	79
Figura 59. Altura del borde inferior del respaldo.....	79
Figura 60. Inclinación del respaldo	80
Figura 61. Perfil vertical del respaldo	80
Figura 62. Curva horizontal de respaldo	81
Figura 63. Imperfecciones en el respaldo.....	82
Figura 64. Posiciones del cuerpo en asientos de competición	83
Figura 65. Perforación de los modelos de butacas	83
Figura 66. Medidor de fuerza digital de 200N	84
Figura 67. Perforaciones en modelos del 2012 y 2014	85
Figura 68. Puntos para toma de datos de confortabilidad en el cuerpo humano.....	85
Figura 69. Posición ergonómica del piloto de acuerdo FSAE 2017 - 2018.....	86
Figura 70. Distancias fijas en Formula Student	87
Figura 71. Moldeo de la butaca con espuma Poliuretano	88
Figura 72. Espuma de poliuretano.....	90
Figura 73. Madera Triplex de 6mm de espesor.....	90

PROPUESTA DE DISEÑO DE BUTACAS PARA *FORMULA STUDENT*

Figura 74. Bolsas plásticas.....	91
Figura 75. Tubo cuadrado Acero A-36	91
Figura 76. Cabina de un Formula Student.....	92
Figura 77. Construcción de un módulo estructural	92
Figura 78. Módulo de pruebas.....	93
Figura 79. Cabina de madera.....	93
Figura 80. Espuma de poliuretano.....	94
Figura 81. Solidificación de la espuma	94
Figura 82. Perfil de la butaca	95
Figura 83. Molde de empaste de vinil	95
Figura 84. Pulido del molde	96
Figura 85. Laminado por vía húmeda	96
Figura 86. Fabricación de la butaca reforzada con fibra de vidrio.....	97
Figura 87. Extracción de la butaca	97
Figura 88. Forma final de la butaca.....	98
Figura 89. Encuesta a pilotos ecuatorianos universitarios	98
Figura 90. Confort general	99
Figura 91. Altura del asiento	100
Figura 92. Anchura de asiento.....	100
Figura 93. Profundidad de asiento.....	101
Figura 94. Inclinación de asiento	102
Figura 95. Material de la butaca.....	102
Figura 96. Forma del asiento.....	103
Figura 97. Imperfecciones de la butaca.....	104
Figura 98. Altura de borde superior del respaldo.....	104

PROPUESTA DE DISEÑO DE BUTACAS PARA *FORMULA STUDENT*

Figura 99. Altura de borde inferior del respaldo	105
Figura 100. Anchura del respaldo	105
Figura 101. Inclinação del respaldo	106
Figura 102. Perfil vertical del respaldo	107
Figura 103. Curvatura del respaldo	107
Figura 104. Imperfecciones en el respaldo de la butaca	108
Figura 105. Construcción del molde	109
Figura 106. Modelos 2012 (a) y 2014 (b) para el diseño	109
Figura 107. Diseño de la butaca realizado en SolidWorks	110
Figura 108. Geometría de la butaca en ANSYS.....	111
Figura 109. Mallado de la butaca en ANSYS	112
Figura 110. Fuerza de frenado.....	113
Figura 111. Fuerza centrífuga	115
Figura 112. Peso del piloto sobre la butaca.....	116
Figura 113. Presión del piloto sobre el respaldo de la butaca	117
Figura 114. Momentos de torsión por fuerza centrífuga	118
Figura 115. Medidas antropométricas	122
Figura 116. Posición ergonómica de conducción.....	123
Figura 117. Percentiles P95 en hombres	124
Figura 118. Percentiles P5 en mujeres	124
Figura 119. Perfil de modelo de butaca.....	126
Figura 120. Condiciones de borde en los modelos 2012, 2014 y propuesta final.....	127
Figura 121. Fuerza de frenado.....	127
Figura 122. Fuerza centrifuga	128
Figura 123. Peso del asiento.....	129

PROPUESTA DE DISEÑO DE BUTACAS PARA *FORMULA STUDENT*

Figura 124. Presión del piloto sobre el respaldo	129
Figura 125. Momento de la fuerza centrífuga	130
Figura 126. Consideración de la butaca en forma general	131
Figura 127. Toma de datos de confort en respaldo y asiento	133
Figura 128. Diagrama de deformación total modelo 2012.....	134
Figura 129. Deformación máxima total del modelo 2014	134
Figura 130. Deformación total en la propuesta de butaca.....	135
Figura 131. Esfuerzo máximo de tensión en modelo 2012	135
Figura 132. Esfuerzo máximo de tensión en modelo 2014.....	136
Figura 133. Diagrama de esfuerzos de Von Mises en la propuesta de butaca	136
Figura 134. Diagrama de esfuerzo máximo en el modelo 2012.....	137
Figura 135. Esfuerzo máximo de tensión en modelo 2014.....	137
Figura 136. Diagrama de esfuerzo máximo	138
Figura 137. Butaca final	139

Lista de Tablas

Tabla 1. Ajuste estándar de confort Formula Student 2017 – 2018.....	33
Tabla 2. Características técnicas de espumas de poliuretano.....	43
Tabla 3. Características de la fibra de carbono	45
Tabla 4. Propiedades de la fibra de vidrio.....	46
Tabla 5. Características de la fibra de Cabuya	48
Tabla 6. Propiedades Mecánicas de los materiales empleados en Butacas.....	49
Tabla 7. Fuerzas de compresión y tracción	66
Tabla 8. Ángulos en posición óptima de un conductor	86
Tabla 9. Valores estándar para Formula Student	87
Tabla 10. Propiedades de la fibra de vidrio.....	111
Tabla 11. Detalle de malla en ANSYS.....	112
Tabla 12. Medidas antropométricas	119
Tabla 13. Comparación de medidas EE. UU. y ecuatorianas	121
Tabla 14. Medidas ergonómicas.....	123
Tabla 15. Comparación de datos ergonómicos	125
Tabla 16. Toma de datos de confortabilidad en el respaldo y asiento	125
Tabla 17. Resultados antropométricos en posición sedente.....	132

PROPUESTA DE DISEÑO DE BUTACAS PARA *FORMULA STUDENT*

Lista de ecuaciones

Ecuación (1) Movimiento de traslación	54
Ecuación (2) Movimiento Rotacional	54
Ecuación (3) Fuerza de fricción	56
Ecuación (4) Fuerza de frenado	113
Ecuación (5) Fuerza centrífuga	114
Ecuación (6) Fuerza centrífuga en x	114
Ecuación (7) Fuerza centrífuga en y	114
Ecuación (8) Peso del piloto en el respaldo	115
Ecuación (9) Peso del piloto en el asiento.....	115
Ecuación (10) Peso del piloto.....	116
Ecuación (11) Presión sobre el piloto	117
Ecuación (12) Momentos de torsión paralelo a la trayectoria.....	117
Ecuación (13) Momentos de torsión perpendicular a la trayectoria.....	118

PROPUESTA DE DISEÑO DE BUTACAS PARA *FORMULA STUDENT***Lista de símbolos y nomenclaturas**

CAD	Diseño asistido por computadora
CAE	Ingeniería asistida por computadora
SAE	Sociedad de ingenieros automotrices
P95	Percentil del 95%
ΣF	Sumatoria de fuerzas
m	Masa
a	aceleración
ΣT	Sumatoria de torques
I	Momento de inercia
α	Aceleración angular
μ	Coeficiente de fricción
W	Peso
SMAW	Soldadura por arco revestido
E-6011	Electrodo revestido
f_r	Fuerza de frenado
F_c	Fuerza centrífuga
v	Velocidad
r	Radio de curvatura
F_{c_x}	Fuerza centrífuga paralela a la trayectoria
F_{c_y}	Fuerza centrífuga perpendicular a la trayectoria
W_r	Peso del piloto en el respaldo de la butaca
W_a	Peso del piloto en el asiento de la butaca
g	Aceleración de la gravedad

PROPUESTA DE DISEÑO DE BUTACAS PARA *FORMULA STUDENT*

k	Factor de aceleración
P_e	Presión ejercida sobre el piloto en el respaldo de la butaca
A_e	Área del respaldo de la butaca
M_{T_{x_{FC}}}	Momento de torsión por la fuerza centrífuga paralela a la trayectoria
M_{T_{y_{FC}}}	Momento de torsión por la fuerza centrífuga perpendicular a la trayectoria
X, Y	Centro de masa

Resumen

El presente proyecto presenta una propuesta de diseño y construcción de un prototipo de butaca para mejorar características ergonómicas bajo parámetros antropométricos en equipos ecuatorianos participantes en *Formula Student*. Utilizando encuestas de juicio objetivo y subjetivo para evaluar geometría y *comfort* de butacas utilizadas en competencia. Además, se efectuó una encuesta de comparación de la propuesta de butaca con modelos utilizados en competencias en los años 2012 y 2014.

Se tomaron medidas antropométricas a pilotos ecuatorianos con instrumentos de medida calibrados como antropómetro, cinta antropométrica y balanza. En el país no se registran datos antropométricos de pilotos en manuales ni tablas. Por lo tanto, fue necesario realizar un estudio que se consideró parámetros ergonómicos para el mejoramiento de la butaca de equipos ecuatorianos basados en percentiles P95 para hombres y P5 en mujeres, según la Norma FSAE 2017 – 2018 de la *Formula Student*. Adicionalmente, se realiza un ensayo de confortabilidad donde la butaca debe soportar en el respaldo una fuerza de 7 N y en el asiento un valor de 36,4 N como máximo, siendo necesario un amoldamiento correcto que no canse al piloto en conducción. Para el desarrollo de la butaca se utilizaron herramientas de diseño como SolidWorks, Siemens NX y ANSYS. Obteniendo una deformación máxima de 1,2 mm en la unión de los hombros y el casco, un esfuerzo de Von Mises de 15,42 MPa y una deformación máxima de 15,52 MPa. Para la fabricación de la butaca se empleó un material compuesto de matriz polimérica con refuerzo de fibra de vidrio laminada por vía húmeda. Para esto, se construyó una cabina de madera donde el piloto sentado sobre espuma de poliuretano esperó que se solidifique y así se obtuvo un molde para la manufactura del prototipo. El mismo que fue tapizado para reducir incomodidad en el piloto.

Palabras clave: Butaca, antropometría, ergonomía, *Formula Student*, confortabilidad.

Abstract

This project is based on a proposal of design and construction of a prototype armchair to improve the ergonomic characteristics under anthropometric parameters in Ecuadorian teams that compete in Formula Student. Objective and subjective opinion surveys were carried out to evaluate the geometry and comfort of armchairs used in competition. In addition, a final one was carried out comparing the armchair proposal with previous models used in 2012 and 2014. Anthropometric measurements were taken to Ecuadorian pilots using calibrated measuring instruments such as an anthropometer, an anthropometric tape and a balance. There's no anthropometric information in Ecuador about pilots in manuals or tables. That's why it was necessary to make a study that include ergonomic parameters for the improvement of the seat of Ecuadorian equipment based on P95 percentile for men and P5 for women, according to the Rule FSAE 2017 – 2018 de la Formula Student. In addition, there's an essay of comfort where the seat should resist in its back side the strength of 7 N and on the seat a weight of maximum 36,4 N. For that reason, it is important to have a correct molding that allow the pilot's comfort. The data obtained are recorded in tables that will serve as parameters for the improvement of the Ecuadorian team seats based on P95 percentiles for men and P5 for women, according to the Formula Student Code FSAE 2017 - 2018. SolidWorks, Siemens NX.10 and ANSYS were applied for the development of the armchair, applying a structural design and analysis under maximum stroke conditions where the prototype must withstand a maximum deformation of 1.2 mm between the shoulder and hull joints, a maximum stress of 15.42 MPa and a maximum deformation of 15.52 MPa. For the manufacture of the armchair, a polymer matrix composite material with a wet rolled glass fiber reinforcement was used.

Keywords: Seat car, anthropometry, ergonomics, *Formula Student*, comfort.

Introducción

La *Formula Student* es una competencia automovilística de diseño, construcción y desarrollo de vehículos monoplace, destinada a universidades de todo el mundo, que cuenten con la carrera de ingeniería automotriz.

Estos vehículos deben contar con elementos de sujeción encargados de la seguridad del piloto en competencia como la butaca y cinturones de seguridad, que cumplen normativas de carrera y deben ser confortables para un mayor rendimiento del conductor.

La butaca es la encargada de soportar el peso del piloto restringiendo sus movimientos para que en competencia no se mueva de un lado a otro en curvas ni cambie de posición por las aceleraciones y desaceleraciones durante el desempeño.

Esta investigación propone un diseño de butaca a través de un estudio ergonómico, para vehículos monoplazas pertenecientes a equipos ecuatorianos inmersos en esta modalidad de competición automovilística. Actualmente la mayoría de los equipos ecuatorianos utilizan butacas de construcción empírica, que dificulta el desempeño de los pilotos tanto en entrenamientos como en competencia. Este tipo de butacas deben contar con características específicas de carrera que establecen condiciones de *confort*, ergonomía y posición de arnés de seguridad para el piloto. En el desarrollo de la presente investigación se realiza modelados y simulaciones con la ayuda de paquetes computacionales como lo es Siemens NX.10 y *ANSYS Workbench* respectivamente, de esta manera garantizar la fiabilidad de la butaca mediante un análisis estático y dinámico de fuerzas que actúan sobre la misma. (Monotoa & García, 2016).

Antecedentes

Un estudio realizado por los Ingenieros Caraguay Christian y Caraguay Santiago de la Universidad Politécnica Salesiana, matriz en Cuenca, en la Facultad de Ingeniería Mecánica Automotriz, bajo el tema: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN DE UN VEHÍCULO MONOPLAZA PARA LA COMPETENCIA *FORMULA STUDENT*, realizan una investigación que describe el diseño y construcción del sistema de suspensión de un monoplaza para la *Formula Student*, en la que, a su vez, analizan la reglamentación de la competencia y efectúan análisis dinámicos y estáticos de la misma. Adicionalmente hacen un estudio de los procesos de manufactura, ensamble y costos de la construcción del sistema de suspensión, además de mejoras para la siguiente competencia (Caraguay & Caraguay, 2015).

Una investigación hecha por el Ingeniero Fernández Guillermo de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona titulado ESTUDIO Y PROPUESTA ERGONÓMICA DE UN *FORMULA STUDENT*, se basa en el análisis ergonómico de un monoplaza para *Formula Student* que analiza elementos de sujeción y materiales favorables para un mayor rendimiento en pista, además del mantenimiento y cambio de elementos caducados como cinturones de seguridad para la próxima carrera (Fernández, 2015).

ESTRUCTURA MECÁNICA DE UN MONOPLAZA PARA *FORMULA STUDENT* es el título de un estudio realizado por los Ingenieros Andrés García, Poveda María quienes se basan en el diseño y construcción anual del módulo metálico para la escudería EPSA de Lyon. Como política en esta escudería, el nuevo prototipo debe mejorar un 20% con respecto al año anterior, por lo que ha llegado al top 20 de la clasificación general (García & Poveda, 2015).

Los Ingenieros Manotoa William y García Héctor de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo de la Facultad de Ingeniería Mecánica Automotriz trabajan sobre el DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ASIENTO ERGONÓMICO EN FIBRA NATURAL

APLICADO A UN VEHÍCULO DE COMPETENCIA TIPO FÓRMULA SAE PARA LA ESPOCH en el que aplicaron las normas SAE internacionales para desarrollar un asiento y cortafuegos, basado en parámetros como ergonomía y antropometría con un material compuesto reforzado con fibras naturales, tomando en cuenta análisis computacional, construcción de probetas y verificación de las propiedades mecánicas de los materiales compuestos que servirán como materia prima para la fabricación del asiento (Monotoa & García, 2016).

Planteamiento del problema

A partir del año 2011 el Ecuador incursionó en la competencia denominada *Formula Student* y con el transcurrir del tiempo se han integrado más equipos en esta modalidad de competencia mundial, pero su evolución tiene mayor énfasis en el mejoramiento en los sistemas aerodinámicos, mecánicos y propulsión, dejando de lado un elemento fundamental de estudio como lo es en este caso el piloto. Al ubicar una butaca sin las condiciones ergonómicas el rendimiento del piloto disminuye provocando agotamiento físico, dolores de cuello, propenso a accidentes por falta de visibilidad y dolores de espalda. En cambio, al considerar la preparación psicofísica en la ergonomía que debe tener al momento de conducir, mejora la eficiencia, lo que brinda mayor destreza y desempeño en conducción, disminución de agotamiento físico, reducción de tiempos en carrera y así obtener mejores resultados en competencia.

Para un vehículo *Formula Student*, la butaca cumple un papel fundamental en la interacción entre el monoplaça y el piloto, pues soporta el peso del conductor, siendo necesario la resistencia en condiciones de carrera, restricción de movimiento del piloto en aceleraciones y desaceleraciones, favorecer el giro del volante y actuación sobre la pedalera, durante el desempeño en conducción.

Para obtener la necesidad que pretende solucionar esta investigación, previamente se realizó una encuesta de *confort*. Como se indica los resultados en el Anexo1 dirigida a pilotos ecuatorianos que han conducido sobre la butaca que cuenta un monoplazas *Formula Student*, la cual permitió conseguir como resultado principal lo siguiente:

Confort: Es ligeramente incómodo.

Base de la butaca: Posee una altura correcta, es demasiado ancho, corta de profundidad, el material con el que está construido es muy duro, tiene una forma poco contorneada.

Respaldo de la butaca: Altura del borde superior es correcta, altura del borde inferior es demasiado bajo, es demasiado ancho, las curvaturas son poco planas.

Globalmente la butaca es considerada algo incómoda.

Por los resultados indicados, la presente investigación pretende solucionar este inconveniente que poseen en la actualidad los equipos participantes al proponer un diseño de butaca bajo un estudio técnicamente ergonómico, para lo cual se genera la siguiente interrogante:

¿Cómo generar un diseño ergonómico para butaca de un monoplaza *Formula Student*, que proporcione seguridad y *confort* durante su conducción?

Objetivo general

Proponer un diseño de butaca para monoplazas *Formula Student*, que mejore las características ergonómicas bajo parámetros antropométricos ecuatorianos y brinde mayor *confort* a pilotos durante la conducción.

Objetivos específicos

- Realizar un estudio dirigido a la obtención de datos antropométricos para pilotos de equipos ecuatorianos que participan en *Formula Student*.

- Efectuar pruebas objetivas y subjetivas mediante equipo instrumental no invasivo y pruebas de *confort* destinado a pilotos ecuatorianos.
- Analizar los resultados finales a través de *software* CAD, CAE de modelado y simulación que permita proponer un diseño de butaca para equipos participantes en la *Formula Student*.

Justificación

El presente proyecto de investigación genera una propuesta de diseño y construcción de un prototipo de butaca para vehículos monoplace, bajo la reglamentación estructural *Formula Student* (FSAE 2017 - 2018) por parte de la Universidad Internacional SEK, a partir de la creación de datos antropométricos a 10 pilotos ecuatorianos, mediante un *test* de *confort* general y juicio subjetivo (Anexo 6). Estos informan que la butaca necesita un rediseño tomando en cuenta partes como el asiento, que es demasiado ancha, con una profundidad corta y material de fabricación duro. Así mismo, con relación al respaldo los resultados obtenidos fueron: demasiado baja, ancho excesivo, escasa inclinación, poca adaptabilidad a la espalda e insuficiente curvatura horizontal. Es por eso por lo que se debe realizar un nuevo diseño tomando en cuenta los aspectos ergonómicos.

La butaca debe ser cómoda en condiciones de carrera y de fácil montaje. Para el mantenimiento de la misma o de componentes internos del vehículo, se emplean *software* de diseño como Siemens NX 10 para realizar el modelado del prototipo y *ANSYS Workbench* para el análisis de puntos críticos y su resistencia bajo cargas de competencia, los resultados obtenidos permitirán generar ideas que serán plasmadas en una propuesta de mejora de un prototipo que ofrezca al piloto un apoyo corporal estable y le brinde la confianza necesaria para desarrollar de mejor manera sus habilidades detrás del volante. De esta manera se busca conseguir mayor control de movimientos, un aumento de capacidad visual y óptimo

aprendizaje kinestésico, que se refiere al “Procesamiento de la información asociándolas a nuestras sensaciones y movimientos, a nuestro cuerpo”(Ocaña, 2010, pág. 157).

Estado del arte

Butaca

Es el principal componente de unión entre el conductor y el vehículo. Consta de asiento, espaldar y apoyo de cabeza. El asiento se encarga de forma directa de la comodidad, el espaldar y el respaldo de la seguridad de la persona mediante la utilización de elementos de sujeción y apoyo como los cinturones de seguridad y los respaldos de apoyo para la cabeza.

En la Figura 1 se muestra un asiento con sus respectivas partes y accesorios.



Figura 1. Partes de la butaca

La Butaca o asiento va colocado en el piso de la cabina, ya sea para vehículos en serie o para competición. Al emplear asientos que no son ergonómicos existe una carga en el conductor que genera cansancio y dolores de espalda, por lo que debe ser un alojamiento cómodo y acolchado que favorezca a la implementación de partes adicionales como protecciones laterales y que sea fácil de regular en el caso de cambio de conductor.

Para competencias, las condiciones de uso de asientos son diferentes. Se necesita una mejor unión entre el piloto y el vehículo por las velocidades que alcanzan en carrera. Así es necesario tomar en cuenta factores como la forma de conducción, las fuerzas a la que es sometido el cuerpo, la facilidad de mantenimiento y favorecer a la salida en caso de accidente. En la Figura 2 se indica un asiento para vehículos de competencia.



Figura 2. Butaca para vehículos de competencia

Clasificación de las butacas en vehículos

Las butacas para automóviles se pueden clasificar de acuerdo con los siguientes criterios:

Por su estructura

Butacas individuales, son empleadas en la parte frontal de vehículos en serie para darle al conductor autonomía sobre el vehículo, como se muestra en la Figura 3.



Figura 3. Butacas individuales

Butacas corridas, son las utilizadas en la parte posterior de los vehículos para la utilización de todo el espacio disponible; como se observa en la Figura 4.



Figura 4. Butacas corridas

Según el alojamiento

Butacas fijas, son los asientos de vehículos en serie que permiten movimiento regulable según el tipo de conductor. Suelen ser de estructura rígida y con cinturones de seguridad a sus lados, como se muestra en la Figura 5 (a).

Butacas plegables, son asientos que permiten su manipulación para aumentar el espacio en la parte interior del automóvil, son generalmente para el transporte masivo de personas, como se observa en la Figura 5 (b).

Butaca de competencia, son realizados por escuderías o equipos participantes en competencias de automovilismo. Se caracterizan por ser de diseño para cada piloto, el mismo se realiza por moldeo o diseño según las curvas y la cabina donde se instalará. En la Figura 5 (c) se indica una butaca de competencia.



Figura 5. Butacas según el alojamiento

Formula Student

La *Formula Student* es una competición internacional organizada por SAE (*Society of Automotive Engineers*) en la que varios equipos universitarios que cuentan con la carrera de ingeniería automotriz concursan con pruebas estáticas y dinámicas que brindan un buen rendimiento y fiabilidad en el automóvil. Dicha prueba consta de vehículos entre 150 y 250 kg que pueden alcanzar 100 km/h en 2,15 seg. Los equipos que alcanzan una mayor posición realizan estudios ergonómicos completos para mejorar en cada carrera (García & Poveda, 2015, pág. 33), la comodidad del piloto y la accesibilidad de los controles del vehículo durante la competición maximizan las capacidades de rendimiento del automóvil.

La competencia inició en 1979 con la participación de partes estándar de vehículos *car-cross*, que no permitía modificaciones y era muy complicada la puesta a punto del vehículo. En 1981 la Universidad de Texas organiza una competición SAE con 4 equipos de 40 alumnos, que se torna importante por ser una competición de ingenio e implementación de diferentes diseños por parte de estudiantes del país donde se organiza.

En el año 2000 la competición organizada en Inglaterra incluyó la participación de Universidades de América y del resto del mundo, y así comenzó un concurso de ingenio para estudiantes de ingeniería automotriz a nivel mundial.

Butacas para Formula Student

Para evaluar un vehículo en esta competición se realizan pruebas estáticas y dinámicas, en las que se verifica la normativa del evento para su participación en la carrera. La evaluación establece un máximo de 1000 puntos donde se califica su diseño, resistencia, costo e inspección técnica.

La butaca tiene medidas reglamentarias que toman en cuenta el espacio del alojamiento y la distancia hasta los pedales de aceleración y frenado. En la Figura 6 se observa una butaca para *Formula Student*.



Figura 6. Butaca del Formula Student equipo ecuatoriano.
(Monotoa & García, 2016)

Normativas para una butaca FSAE 2017 – 2018.

El diseño estructural y el asiento son normalizados según el reglamento FSAE 2017-2018, que establece una distancia de 50 mm desde el casco hasta la estructura del chasis, además el casco no debe encontrarse atrás de la línea de la estructura. En la Figura 7 se muestra la estructura normalizada.

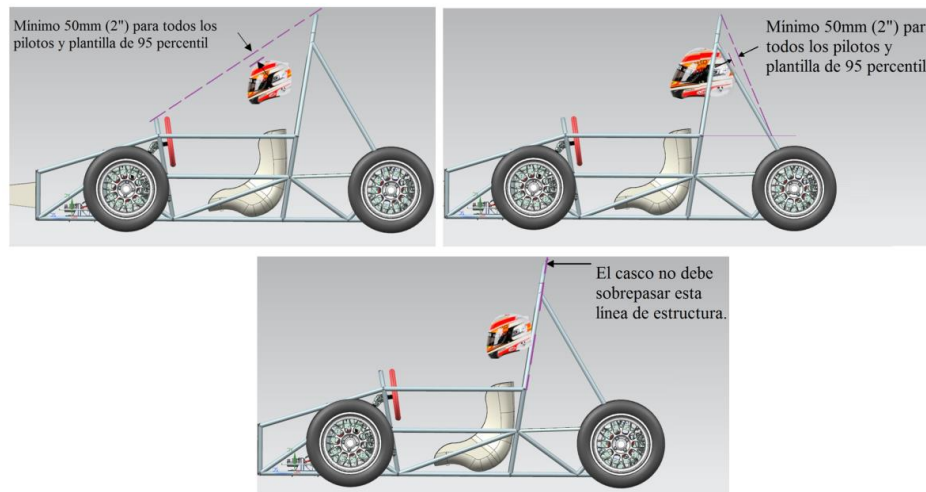


Figura 7. Restricción Fórmula SAE para butacas

La estructura de impacto lateral en vehículos de *Formula Student* debe ser tubular y situada en cada lado del conductor, mientras se encuentra sentado en posición normal, como se muestra en la Figura 8.

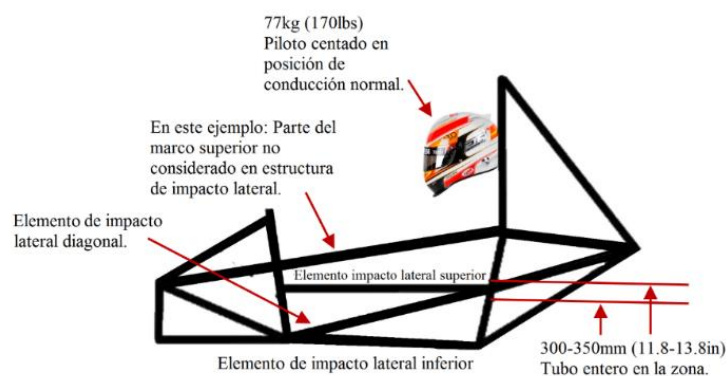


Figura 8. Estructura de impacto lateral *Formula Student*

Visibilidad del conductor.

Debe contar con un campo de visión frontal de 200° y mínimo 100° en sus lados, empleando espejos.

Acceso a cabina.

Para garantizar que la cámara sea de tamaño adecuado, se dispone de una cabina de apertura, que permite al conductor salir del vehículo en un tiempo no mayor a 5 segundos desde su posición normal. En la Figura 9 se registran las medidas de la cabina.

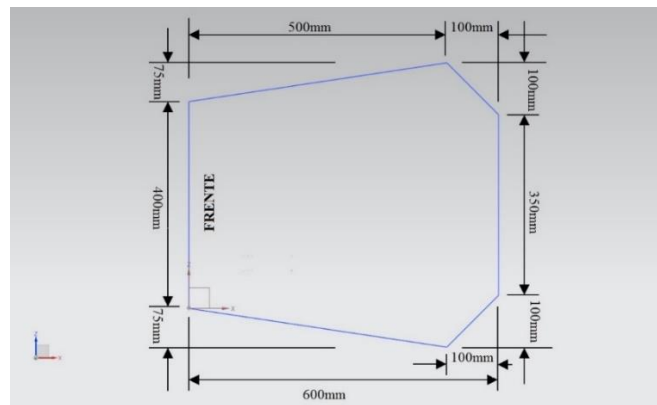


Figura 9. Cabina de monoplace fórmula SAE

Geometría de asiento

La superficie del asiento debe ser lisa, sin cambios bruscos de dirección ni formas complicadas para que favorezcan el montaje y el proceso de manufactura. En la etapa de diseño se considera también la tecnología, herramientas y factor económico con la que se cuenta. Así es necesario realizar el diseño y construcción de manera eficiente, obteniendo un producto de buena calidad sin exceder gastos innecesarios. Las dimensiones más importantes en el asiento son: el ángulo de reposo, el ángulo de la base, el lugar de dirección, el lugar del pedal del freno y la posición del punto de la cadera.

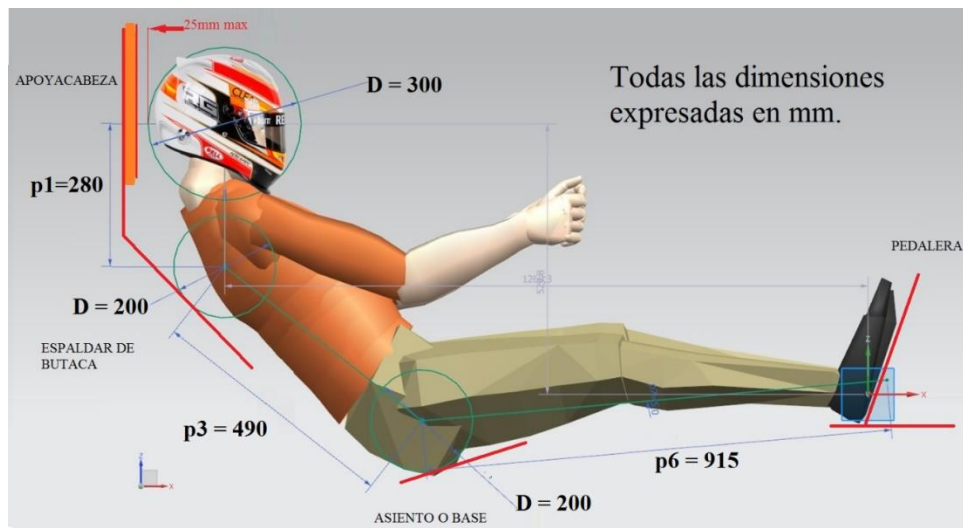


Figura 10. Posicionamiento del piloto sobre la cabina *Formula Student*.

En la Tabla 1 se registran las medidas de la Figura 10, las mismas que permiten al piloto el desenvolvimiento óptimo dentro del volumen del habitáculo y, a su vez, la facilidad para el ingreso y salida del monoplaza (SAE, 2016).

Tabla 1.

Ajuste estándar de confort Formula Student 2017 – 2018

Referencia	Dimensión
Recta dibujada de la tapa principal del arco superior al arco delantero.	50 mm (2 in)
Círculo de encaje para caderas y glúteos.	200 mm (7.87 in)
Círculo de encaje para hombro – cervical.	200 mm (7.87 in)
Círculo para representación de cabeza con casco.	300 mm (11.81 in)
Línea recta que conecta a los círculos de 200 mm	490 mm (19.29 in)
Línea recta que conecta el centro de 200 mm superior con el centro del círculo de cabeza de 300 mm	280 mm (11.02 in)

(SAE, 2016)

Antropometría

Proviene del griego *Anthropos* (hombre) y *métricos* (medida), es el encargado de estudiar las características cuantitativas del hombre (Valero, 2004). En Grecia se establecieron canon del cuerpo humano que dividían al cuerpo en 8 cabezas que servían a los artistas implementar medidas según el observador. Leonardo da Vinci en el siglo XV realizó un dibujo basado en el arquitecto Romano Marco Vitrubio, el cual se basa en el dibujo de proporciones geométricas del cuerpo humano.

Antropometría estática y dinámica

Antropometría estática

Es aquella medición que se realiza al cuerpo humano bajo posición fija, permite establecer distancias entre el ser humano y el área de trabajo. Las dimensiones estáticas se toman en condiciones sin movimiento ya sea de pie o sentado, según la postura que se necesita.

Antropometría dinámica

Son las predominantes en la vida diaria en el ser humano y están presentes en cada actividad que realiza, siendo es necesario la medición de las articulaciones del cuerpo y mediante un estudio dinámico de estas comprender de mejor manera su funcionamiento. Por ejemplo, el movimiento del brazo, la rodilla, el hombro, entre otros. En la Figura 12 se muestra las medidas antropométricas más empleadas.

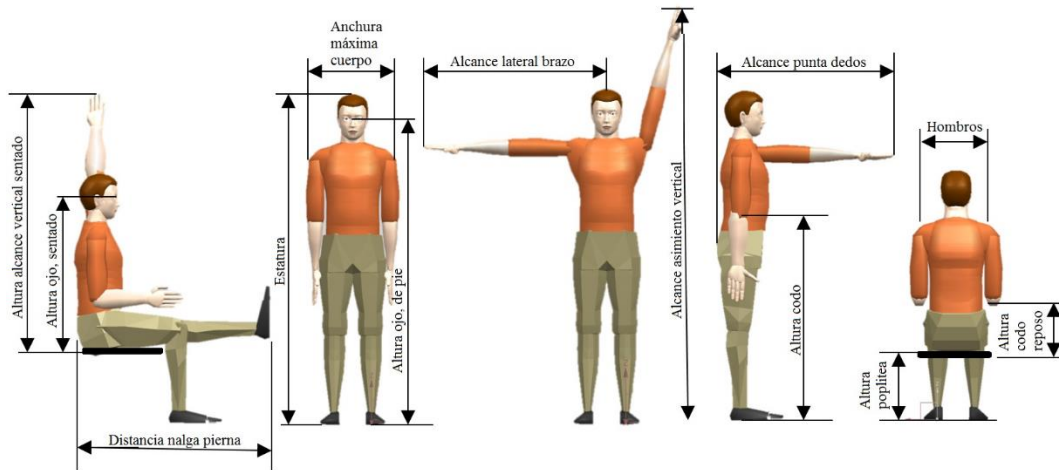


Figura 11. Medidas antropométricas

La antropometría estática y dinámica son parámetros importantes en el diseño de componentes, es decir si se realiza un análisis del alcance del brazo, la longitud del mismo no es la única medida que actúa. Adicionalmente, se necesita un estudio del movimiento de la mano, hombro y tronco. Dando como resultado un conocimiento biomecánico aplicable en el movimiento diario de una persona.

Variabilidad antropométrica

La recopilación de datos es una actividad costosa que necesita conocimiento y personal entrenado en toma de datos antropométricos, el desarrollo de la antropometría se debe al sector militar, ya que necesita dotar de vestimenta y armamento a las fuerzas armadas, dando como resultado costos menores por la utilización de fondos administrativos destinados para este fin. Estas mediciones tienen una gran desventaja puesto que se limitan al sexo masculino, altura preestablecida y edad (Panero & Zelnik, 1996). Actualmente las fuerzas armadas realizan estudios antropométricos asistidos por estudios civiles que se encargan de posturas específicas según el país donde se realizan.

Los parámetros que influyen en las medidas antropométricas son los siguientes: (Valero, 2004).

Sexo, las dimensiones corporales y longitudinales son diferentes variando con un 20% con grupos de la misma edad, pero de genero distinto.

Raza, existen diferencias entre grupos étnicos como son aspectos genéticos, alimenticios, ambientales, entre otros. Un ejemplo son los miembros de raza negra, los que tienen piernas más largas, mientras que un asiático tiene un tronco más largo.

Edad, según la fisiología humana a partir de los 50 años empieza una disminución de estatura, siendo necesario tomar en cuenta parámetros como promedio de crecimiento de cabello, que contribuye al desarrollo del cuerpo.

Alimentación, cada cultura es diferente en costumbres y alimentación, la comida presente en cada región favorece al desarrollo del cuerpo y minimiza enfermedades.

Obtención de datos antropométricos

Se emplean material antropométrico para la toma de datos, este debe ser preciso y de manejo sencillo, la mayoría de estos son costosos, los cuales deben ser calibrados periódicamente, es por eso por lo que no se toman medidas con varios instrumentos, limitando así la confiabilidad de los datos. Los instrumentos de medida utilizados para obtener datos antropométricos son los siguientes (Sillero, 2006).

Tallímetro, se utiliza para la medición de la estatura de un ser humano sentado y de pie. Puede ser una cinta milimétrica o una barra metálica ubicada en la pared, la que cuenta con un regulador que registra la medida y de precisión de 1 mm, como se indica en la Figura 12.



Figura 12. Tallímetro

Báscula, debe tener una capacidad de 0 hasta 150 kg, con una precisión mínima de 50 gramos. En la Figura 13 se aprecia la báscula.



Figura 13. Báscula

Antropómetro, barra metálica con un cursor regulable que se extiende hasta la longitud necesaria, la cual es de 1mm de precisión alcanzando hasta 2 m de altura. Según su disposición puede medir altura, longitud y diámetro. En la Figura 14 se observa un antropómetro.



Figura 14. Antropómetro

Cinta antropométrica, aparato de medida flexible de 7 mm de ancho empleado para medir diámetros y longitudes. En la Figura 15 se muestra una cinta antropométrica.



Figura 15. Cinta antropométrica
(Valero, 2004)

Plicómetro, empleado para medir grasa corporal oprimiendo de manera cuidadosa las pinzas y registrando la medida final. Este puede ser analógico o digital alcanzando una precisión de 0,2 a 1 cm midiendo como máximo 48 mm sin que se desequilibre. En la Figura 16 se indica el Plicómetro.



Figura 16. Plicómetro

Percentiles antropométricos

El percentil expresa un porcentaje de personas de una población con una dimensión corporal igual o menor a un determinado valor. Es decir, si se cuenta con una distribución en 100 partes, cada punto expresa el valor igual o menor, estos valores comprenden un valor del todo, ejemplo si se cuenta con un percentil P25, se cuenta con 25 personas y la variable a tratar solo servirá para el 25% de la población. Así mismo si se tiene un P50 el valor corresponderá a la mediana y a la moda de la distribución. Los percentiles más empleados en diseño ergonómico son los P5 y P95 que proyecta para un 90% de la población. En la Figura 17 se muestra la relación percentil en una población.



Figura 17. Percentiles antropométricos

Dimensiones antropométricas

Para población civil adulta los datos antropométricos más utilizados son los que ofrecen medidas del cuerpo humano con un percentil del 95% en hombres y el 5% en mujeres, para edades compuestas de 18-24, 25-34, 35-44, 45-54, 55-64, 65-74 y 75-79 años. En la Figura 18 se muestra un estudio antropométrico de población de Estados Unidos.

Dimensiones estructurales combinadas del cuerpo de hombres y mujeres adultos, en pulgadas y centímetros, según edades y selección de percentil.

	A		B		C		D		E		F		G	
	pulg.	cm	pulg.	cm	pulg.	cm	pulg.	cm	pulg.	cm	pulg.	cm	pulg.	cm
95 HOMBRES	36,2	91,9	47,3	120,1	68,6	174,2	20,7	52,6	27,3	69,3	37,0	94,0	33,9	86,1
95 MUJERES	32,0	81,3	43,6	110,7	64,1	162,8	17,0	43,2	24,6	62,5	37,0	94,0	31,7	80,5
5 HOMBRES	30,8	78,2	41,3	104,9	60,8	154,4	17,4	44,2	23,7	60,2	32,0	81,3	30,0	76,2
5 MUJERES	25,8	68,1	38,6	98,0	56,3	143,0	14,9	37,8	21,2	53,8	27,0	58,6	28,1	71,4

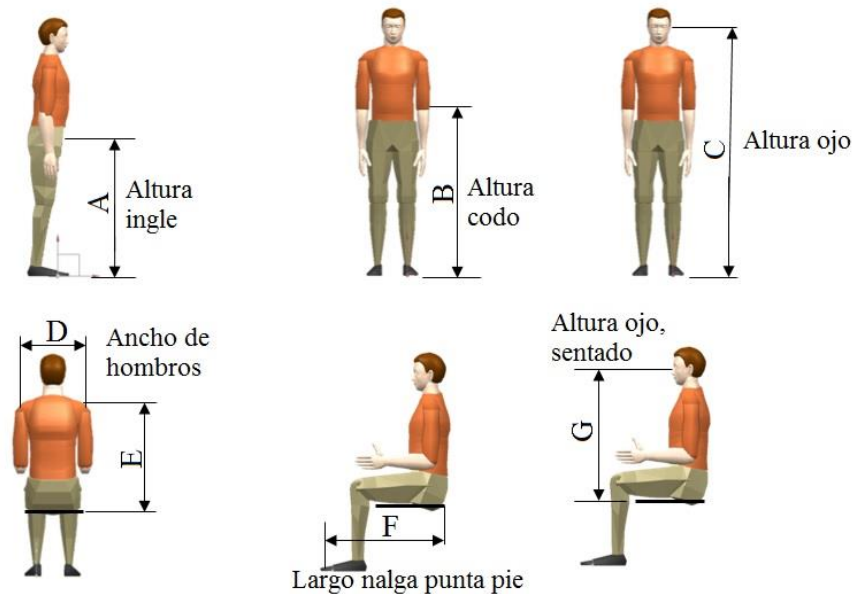


Figura 18. Dimensiones antropométricas de ciudadanos estadounidenses.

Datos antropométricos para el diseño automotriz.

En la industria automotriz, la adecuación de los componentes se ha convertido en un factor importante en el desarrollo de objetos y componentes automotrices.

Para el tratamiento de datos se han establecido los siguientes pasos en el diseño automotriz:

Los datos de usuarios previstos son las tareas específicas que un ser humano puede realizar, tomando en consideración sexo, raza y discapacidad si existe.

Diseño promedio, cuando no es posible tomar en consideración una población total, se realiza un fundamento promedio, disminuyendo la dificultad e inconvenientes.

Rangos ajustables de fatiga mínima, donde se solicitan condiciones de seguridad y comodidad, además se utiliza el valor del primer percentil del sexo femenino y nonagésimo percentil del sexo masculino (Monotoa & García, 2016)

Ergonomía

La ergonomía es la ciencia que estudia la interacción del ser humano (piloto) y su entorno de trabajo (vehículo). Esta ciencia es un aspecto crucial en cualquier vehículo de competición, por lo que se requiere tomar en cuenta su diseño, proceso de construcción y validación, pues es una interfaz donde interactúa el piloto y la máquina. Es importante señalar que la carrocería del vehículo está destinada a proporcionar un espacio adecuado para el piloto y partes propias del monoplaza. La consideración del factor humano es una necesidad para la integración del diseño total (García & Poveda, 2015).

La ergonomía tradicional cumple un papel fundamental, ya que permite el estudio de las limitaciones en base al diseño del espacio establecido para el desenvolvimiento normal del conductor dentro de una cabina que puede ocasionar posturas demasiado fijas, falta de movimientos del cuerpo o excesivos movimientos articulares. Según, (Salazar, 2011) “Etimológicamente el término ergonomía proviene del griego *nomos*, que significa norma y *ego*, que significa trabajo”. Sobre la base de esta definición, el presente proyecto de investigación intenta mejorar el desenvolvimiento de los pilotos disminuyendo la fatiga y agotamiento durante el tiempo de competencia, a través de un diseño de butaca como se muestra en la Figura 19.



Figura 19. Postura de conducción monoplace Formula Student

Aplicación de la ergonomía de butacas en el Ecuador

Para la aplicación de la ergonomía dentro del campo automotriz es necesario realizar un estudio antropométrico, tomando como muestra pilotos participantes de las distintas modalidades de competencia nacional. Este debe proyectar resultados acordes a las distintas zonas etnográficas existentes en el Ecuador, con criterios antropométricos y a los percentiles extremos de la población, 95 percentil hombres y 5 percentil mujeres. El conductor es una parte importante para el aprovechamiento del rendimiento dentro de la competencia. Por este motivo, el presente proyecto investigativo pretende diseñar una butaca para la *Formula Student* en equipos ecuatorianos y que los pilotos logren una postura de conducción ergonómica. Para eso existe una base en el estudio antropométrico adecuado reduciendo la fatiga generada por la conducción, mejorando así su eficiencia en carrera y sobre todo que el presente estudio investigativo servirá de base para futuros diseños o rediseños.

Así mismo con la ayuda de nuevas herramientas tecnológicas, este estudio se sustenta a través de programas computacionales como el *software* de la empresa Siemens denominado NX.10, permitiendo generar modelados en 2 y 3 dimensiones, así como el análisis dinámico virtual comparativo del comportamiento de la butaca con datos que influyen dentro de su desempeño como la aceleración, frenado y temperatura, lo que ayuda a generar la construcción del prototipo de la butaca y de esta manera, validar el estudio para la obtención

de los resultados finales a través varias encuestas a los pilotos que colaboran con esta investigación.

Materiales para butacas en la industria automotriz de competición

Para la construcción de butacas se emplean espumas termoplásticas y materiales reforzados con fibras naturales y sintéticas.

Espumas de poliuretano

La espuma de poliuretano se emplea para tomar las dimensiones del piloto. Se trata de un producto líquido que cuando se encuentra a temperatura ambiente se expande formando una espuma sólida. Además, sirve como aislante (térmico y acústico) y rellena grietas en ductos de ventilación. Posee una alta densidad y adherencia en materiales como concreto, acero, yeso, entre otros. Adicionalmente puede ser lijado, cortado y pintado protegiendo partes exteriores con un buen acabado superficial. En la Tabla 2 se muestra características técnicas de espumas de poliuretano.

Tabla 2.

Características técnicas de espumas de poliuretano

Sistema de reacción	Poliuretano neutro por reacción con humedad ambiente
Formación de piel	10 minutos
Velocidad de curado	4 cm/h
Temperatura de aplicación	Entre 5 °C y 30 °C
Resistencia a Temperatura	De -40 °C a 90 °C
Volumen expansión	Aproximadamente 45Lt/ envase
Densidad g/cm ³	0,04
Resistencia a tracción (N/cm ²)	16
Limpieza producto fresco	Limpiador L-50 o acetona
Limpieza producto curado	Por medio mecánicos

(Rodavigo, 2016)

Espumas de polietileno

Se utiliza como empaque y adhesivo, este material presenta propiedades mecánicas como aislamiento térmico, no abrasivo de peso ligero y limpio. Se lo adquiere en forma de placas de espuma, mallas y como líquido. En la industria automovilística se emplea como un recubrimiento, se calienta láminas y se moldean con la forma deseada para cubrir deformaciones, alojamientos para consolas y maleteros. En butacas se utiliza como cinta adhesiva que recubre la forma ergonómica del asiento dando mayor comodidad en la conducción. La Figura 20 muestra un bloque de espuma de polietileno.



Figura 20. Espuma de polietileno

Fibra de carbono

Esta fibra consta por filamentos entre 5 y 10 μm de diámetro y compuesto por carbono (Mendoza, Talavera, De los Santos, Mendoza, & Jiménez, 2014). Tiene propiedades mecánicas parecidas al acero, pero con una diferencia significativa en peso, puesto que es comparable al plástico y madera.

En la fabricación de butacas se realiza un molde con la forma ergonómica del piloto, el cual puede ser fabricado en madera, yeso, entre otros. Posteriormente se utiliza un material compuesto reforzado con fibra de carbono y resinas epóxicas como matriz para manufacturar el asiento. La fibra se adquiere como un tejido como se observa en la Figura 21.



Figura 21. Fibra de carbono

(Mendoza, Talavera, De los Santos, Mendoza, & Jiménez, 2014)

Tabla 3.

Características de la fibra de carbono

Material base	Fibras De carbono, entre tejidas unidireccionalmente
Almacenamiento	Evitar el contacto con el sol
Vida útil	Ilimitada
Color	Negro
Fuerza de tensión en filamentos MPa	4,133
Módulo de elasticidad de los filamentos GPa	234.000
Peso superficial g/m ²	600
Dureza al corte D (ASTM D2240)	84D

(Fortec Stabilization, 2010)

Fibra de vidrio

La fibra de vidrio se obtiene por el entrelazo de los hilos más finos de vidrio que es producido industrialmente por el paso del vidrio líquido a través de un elemento resistente con orificios denominado espinerette, lo mismos que forman una malla que es utilizada como refuerzo en materiales compuestos.

Para la fabricación de butacas con este tipo de refuerzo se construye un molde que puede ser fabricado en madera o plástico y con resina poliéster como matriz. Con la aplicación del aglutinante se ubica las mallas de fibra de vidrio alrededor de todo el molde

evitando dejar espacios vacíos. En la Figura 22 se muestra una butaca fabricada en fibra de vidrio.



Figura 22. Butaca de fibra de vidrio

En la Tabla 4 se indica las propiedades de la fibra de vidrio para la manufactura de butacas.

Tabla 4.

Propiedades de la fibra de vidrio

Propiedades	Fibra de vidrio con oxido de Zirconio
Densidad g/cm ³	1,90
Tensión de flexión a la rotura perpendicular MPa	340
Resistencia a la compresión perpendicular a las capas MPa	350
Resistencia al Impacto Charpy kJ/m ²	33
Resistencia al aislamiento en agua Ω	5x10 ⁸
Permeabilidad eléctrica 48-62Hz	5,5
Absorción de agua mg	19
Temperatura de servicio °C	155

(Lork. Industrias, 2017)

Fibras Kevlar

Se denomina Kevlar a la fibra de Aramida derivada de polyamide, se trata de una fibra sintética utilizada en la fabricación de chalecos antibalas, neumáticos, entre otros. Se dividen en tres tipos Kevlar 29, Kevlar 49 y Kevlar 129.

El Kevlar 29 es la fibra tal como se obtiene de su fabricación. Se usa típicamente como refuerzo en tiras, por sus buenas propiedades mecánicas; o para tejidos, alta resistencia (3600 MPa) y baja densidad (1440 kg / m³). Las principales utilidades son la fabricación de cables, ropa resistente (de protección) o chalecos antibalas.

El Kevlar 49 se utiliza cuando las fibras forman un material compuesto, estas se encuentran tratadas superficialmente para favorecer su unión con la resina, tiene un gran módulo elástico (131 GPa), alta resistencia (3800 MPa), y baja densidad (1440 kg / m³). El Kevlar 49 se utiliza como equipamiento para deportes extremos, para la industria aeronáutica, aviones y satélites de comunicaciones y para cascos para motocicletas.

El Kevlar 149 tiene un muy alto módulo elástico (186 GPa), alta resistencia (3400 MPa), baja densidad (1,470 kg / m³) con fibras altamente cristalizadas que son utilizadas sobre todo en componentes aeronáuticos.

El Kevlar es más barato que la fibra de carbono y mejor en condiciones de compresión, es más ligero que el carbono, y trabaja mejor bajo esfuerzos de tensión. Debido a la resistencia a la abrasión de la aramida, el Kevlar es muy difícil de cortar, una vez definidas las dimensiones a cortar, conseguir un acabado profesional es muy difícil, e incluso suelen usarse hojas cerámicas para su corte con precisión.

Fibras de cabuya

En el Ecuador la implementación de las fibras naturales se encuentra en desarrollo, es por eso según (Monotoa & García, 2016), plantean un estudio de una butaca realizada con

resina poliéster reforzado con fibra de cabuya, realizan ensayos destructivos en probetas de este material compuesto. Al ser un material natural la implementación es factible por el costo de obtención y al contar con buenas propiedades mecánicas la fibra permite su implementación en la industria automotriz. En la Tabla 5 se muestra las características físicas de la cabuya.

Tabla 5.

Características de la fibra de Cabuya

Característica	Valor
Longitud	80 a 120 cm
Color	Habano
Brillo	Opaco
Textura	Dura
Absorción de color	Superficial
Absorción de humedad	Mala
Punto de fusión	No se funde
Efectos ante los álcalis	Resistente
Efectos ante los ácidos	Mala
Resistente a la luz solar	Regular
Efectos de los oxidantes	Variable

(Monotoa & García, 2016)

Las características mecánicas de los materiales empleados para la fabricación de una butaca se encuentran en la Tabla 6.

Tabla 6.

Propiedades Mecánicas de los materiales empleados en Butacas

	Resistencia a tensión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Densidad g/cc
Espumas de poliuretano	0,08	4,9	25	0,04
Espumas PET	1,85	10,8	20	0,15
Material compuesto reforzado con fibra de carbono	3900	230000	1,5	1,8
Material compuesto reforzado con Fibra de vidrio	103	12411	0,5	2
Fibras Kevlar	3400	125000	2,4	1,44
Material compuesto con refuerzo de cabuya	640	7,5	5	1,3

Pruebas estáticas y dinámicas en *Formula Student*

Para *Formula Student* se consideran los siguientes factores.

Pruebas estáticas

Es la encargada del estudio estático del vehículo, se limita a la descripción de trayectorias y comportamiento bajo cargas con velocidad constante o sin movimiento. En *Formula Student* se evalúan los siguientes parámetros.

Diseño, consiste en una primera fase donde se defiende el diseño ante cuatro jueces, accediendo 14 vehículos a una semifinal, en la cual se realiza la defensa por cuatro horas con 30 jueces.

Verificación técnica, si el monoplaza tiene la seguridad necesaria en la cabina, pasa una prueba de inclinación y cumple reglas técnicas de construcción el automóvil pasa a la siguiente fase.

Marketing, consiste en una exposición de 15 minutos ante jueces con experiencia en marketing donde se trata de exponer las características del coche y venderlo si es posible.

Costos, se prepara un informe de costos totales, donde se colocan el costo de ensamblaje y partes del vehículo.

Para las pruebas estáticas se requiere un estudio de la cinemática de vehículos (CEIC, 2013).

Cinemática

La cinemática expresa el cambio de posición y velocidad en función del tiempo, por esta razón se pueden describir los siguientes movimientos presentes en un vehículo:

Si la aceleración es igual a cero, la velocidad permanece constante originándose un movimiento rectilíneo uniforme.

El piloto acelera el motor hasta que suministre un par correspondiente a la calzada, generando una fuerza que venza a la aerodinámica que mediante el cambio de marchas puede alcanzar distintos valores de relación de transmisión favoreciendo a un movimiento lineal con velocidad constante.

Si la aceleración es constante con dirección igual a la velocidad se origina un movimiento rectilíneo uniformemente variado.

Se presenta en los frenados cuando existe desaceleración por curvas o por vehículos rezagados, en donde el conductor debe producir fuerzas en el terreno, es decir mediante la adherencia de los neumáticos en la calzada ya que si presenta un coeficiente de rozamiento nulo el automóvil no puede avanzar.

Si la aceleración es constante y perpendicular a la velocidad, se origina un movimiento circular uniforme.

El vehículo que sigue una trayectoria circular con velocidad constante genera una fuerza centrífuga que obliga a salir de la trayectoria y en casos extremos ocurren volcamientos por la alta velocidad. Un neumático sufre una deformación en curvas por un ángulo que forma la velocidad y el plano de la rueda, si este ángulo es pequeño el neumático transversalmente es rígido.

Pruebas dinámicas

Aceleración, para esta etapa el vehículo recorre 75 metros en un tiempo máximo de 5,8 segundos, donde se tiene dos oportunidades con dos pilotos distintos y excluyendo de la prueba si el conductor derriba los conos que están en el camino.

Skid-Pad, el automóvil deberá dar dos vueltas por circunferencias de 18,25 m de radio y 3 m de ancho. Constará de dos vueltas en sentido horario y dos antihorario, penalizando cada cono derribado con la disminución de 0,25 segundos del tiempo total.

Autocross, la pista de carreras consta de una recta de 60 m y otra de 45 m, una curva de 23 m de radio y otra de 45 m. además de una separación entre conos de 7,62 y 12,19 m. Si existen conos derribados se sumarán dos segundos al tiempo total.

Resistencia y economía del combustible, en esta prueba el vehículo recorre 22 vueltas a un circuito de 77 m y en otra de 61 m con curvas de 30 y 54 m respectivamente. La distancia entre conos es de 9 y 15 m si el monoplaza derriba conos se sumarán 2 segundo al tiempo total.

El vehículo debe considerar un estudio dinámico, donde se analizará las cargas que sufre el mismo bajo aceleraciones en pista (CEIC, 2013).

Dinámica de vehículos

En vehículos la dinámica se relaciona con el valor de la fuerza aplicada al movimiento, existen puntos de relevancia como el coeficiente de fricción, roce, velocidad de giro, resistencia al aire, entre otros. La dinámica de vehículos toma el comportamiento lineal y en curvas, la finalidad de estudios dinámicos es plantear ecuaciones que puedan ser resueltas con ecuaciones en elementos finitos con simulaciones, colocando restricciones adecuadas y siendo capaz de lograr un acercamiento real de condiciones en pista. En la Figura 23 se indican las fuerzas actuantes sobre un vehículo.

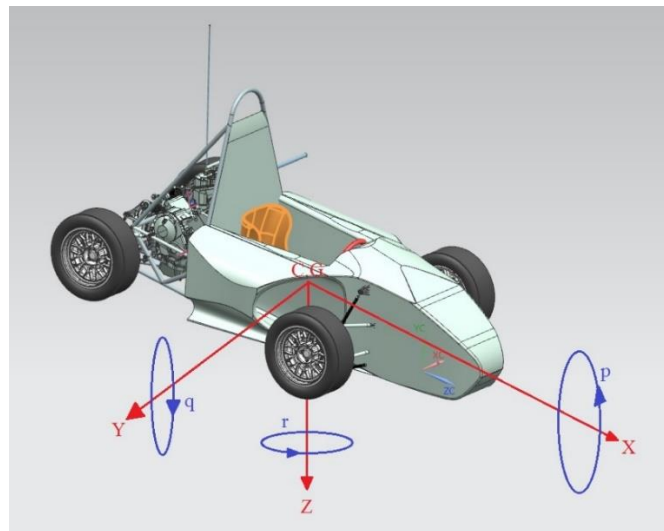


Figura 23. Fuerzas actuantes en un vehículo
(Parra, 2008)

Dónde:

X: hacia adelante y sobre el plano de simetría

Y: salida lateral del vehículo

Z: hacia abajo del vehículo

p, q, r: velocidades en el eje x, y, z respectivamente

Existen además velocidades en pista las cuales se describen como delanteras, verticales, laterales, rodar, lanzar y despiste.

Para el análisis de la dinámica de los vehículos es precisa la definición de los siguientes temas:

Actitud del vehículo en curvas

Segunda ley de Newton

Leyes de rozamiento de Coulomb

Resistencia a la rodadura

Límite para la aceleración de tracción

Interpretación del frenado

Actitud del vehículo en curvas

En un vehículo las ruedas delanteras pueden dar una vuelta de modo que el centro de rotación instantáneo se determina por cinemática media, es decir cantidad de movimiento angular y movimiento circular uniforme. Se aproxima con un modelo denominado de bicicleta y se encuentra el ángulo β que forma con la calzada, aproximando factores como camino de curvatura L , radio de curvatura R y ángulo de giro α relacionado por distancia entre ejes. En la Figura 24 se muestra el ángulo presente en el vehículo.

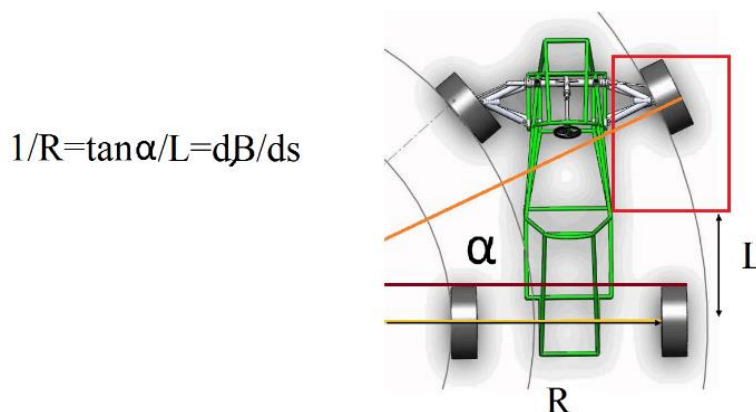


Figura 24. Ángulo de curva en el vehículo

Segunda Ley de Newton

Movimiento de traslación

La segunda Ley de Newton enuncia que la sumatoria de fuerzas actuantes es directamente proporcional a la masa de un cuerpo por la aceleración.

$$\sum F = ma \quad (1)$$

Movimiento Rotacional

La suma de torques que actúan en un cuerpo es igual al producto de sus momentos de inercia y la aceleración angular sobre el eje respectivo.

$$\sum T = I \alpha \quad (2)$$

Leyes de Rozamiento de Coulomb

En 1781 Coulomb presentó las condiciones de deslizamiento de movimiento inminente y leyes de rozamiento para el caso de un bloque afirmando que:

La fuerza rozamiento total es independiente de la magnitud del área de contacto.

Para velocidades pequeñas, la fuerza de rozamiento es independiente de la velocidad y la fuerza de rozamiento resultante es menor que cuando existe rozamiento por movimiento inminente.

La fuerza de rozamiento total es proporcional a la fuerza normal transmitida por la superficie de contacto.

En la Figura 25 se muestra la fuerza de rozamiento actuantes en un automóvil.

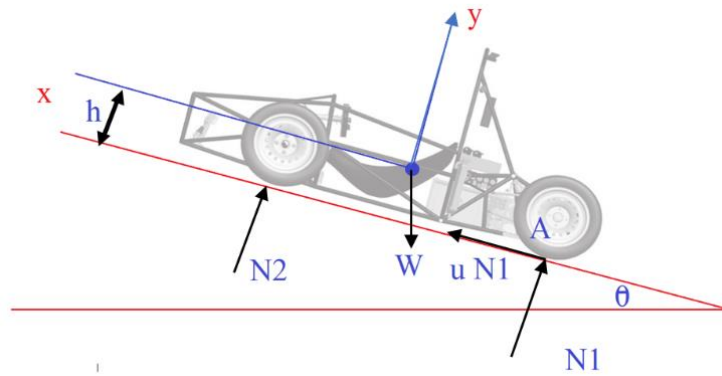


Figura 25. Fuerza de rozamiento en un automóvil

Resistencia a la Rodadura

Considerándose una rueda sin deslizarse en una superficie horizontal, existe resistencia al avance por las deformaciones de la calzada, sobre la cual actúan distintas fuerzas de contacto las cuales pueden ser paralelas o no paralelas que deben ser concurrentes para que exista equilibrio. En la Figura 26 se muestra la resistencia ala Rodadura.

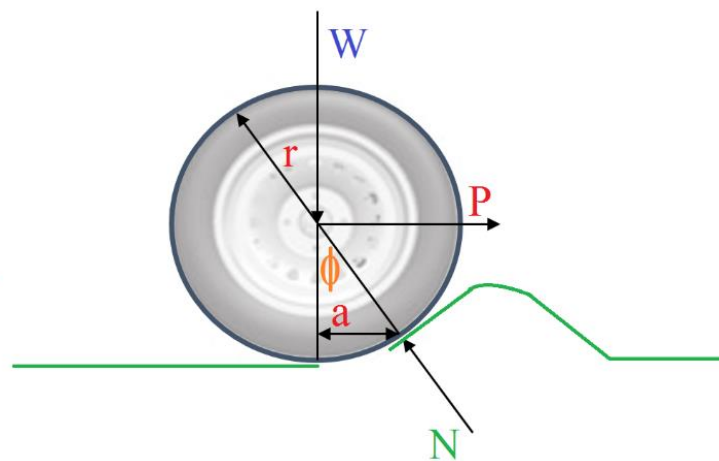


Figura 26. Resistencia a la rodadura

Dónde:

W : carga sobre la rueda

P : fuerza que provoque velocidad constante

Límite de aceleración de tracción

Cuando existe una adecuada fuerza producida por el motor, la aceleración puede ser limitada por el coeficiente de fricción entre las ruedas y la pista.

$$F = \mu W \quad (3)$$

En la Figura 27 se observa el sistema de tracción

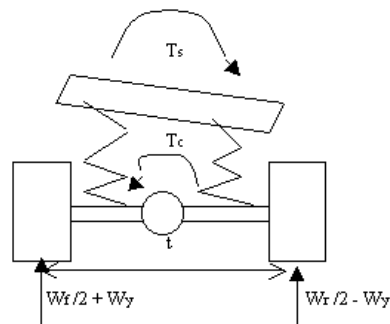


Figura 27. Sistema de tracción
(Parra, 2008)

Frenado

En el automóvil se tiene utilizan frenos de disco y tambor los cuales poseen resistencia ondulante que se opone a la velocidad del vehículo reduciendo la velocidad. En la Figura 28 se indica el sistema de freno de un automóvil.

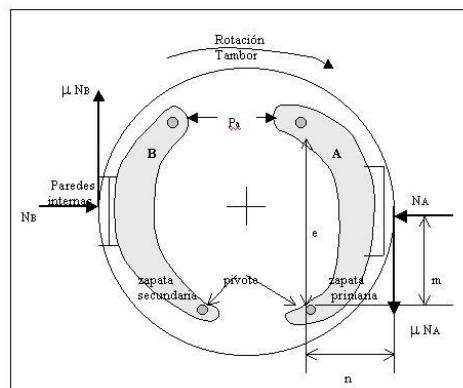


Figura 28. Sistema de frenos
(Parra, 2008)

Sistema CAD – CAE en el desarrollo de prototipos

Para la propuesta de diseño se emplearán sistemas para análisis de prototipos de diseño y simulación.

Modelado en 3d

La utilización de un *software* de diseño beneficia en la implementación de dispositivos anatómicamente mejorados.

En el caso de la butaca se emplea un escáner 3D, el cual favorece en el modelado de piezas de geometría compleja y medidas posturales tomando en consideración medidas antropométricas del piloto para realizar posteriormente una simulación de fuerzas en competencia en un *software* CAE. En la Figura 29 se aprecia el proceso de modelado de un asiento ergonómico.

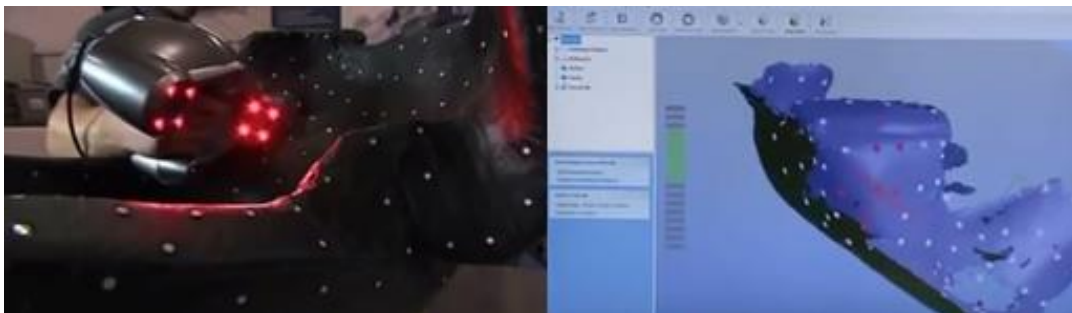


Figura 29. Escáner 3D
(Discovery Channel, 2014)

Análisis mediante elementos finitos

Se empleará el *software* ANSYS para realizar la simulación de cargas de competencia en un monoplaza para *Formula Student*. Equipos ecuatorianos utilizan este *software* para la aceptación de modelos de butacas, ya que ofrece un paquete de datos que permite el análisis

de funcionalidad del diseño bajo cargas estáticas y dinámicas. En la Figura 30 se muestra el mallado en ANSYS de un asiento ergonómico.

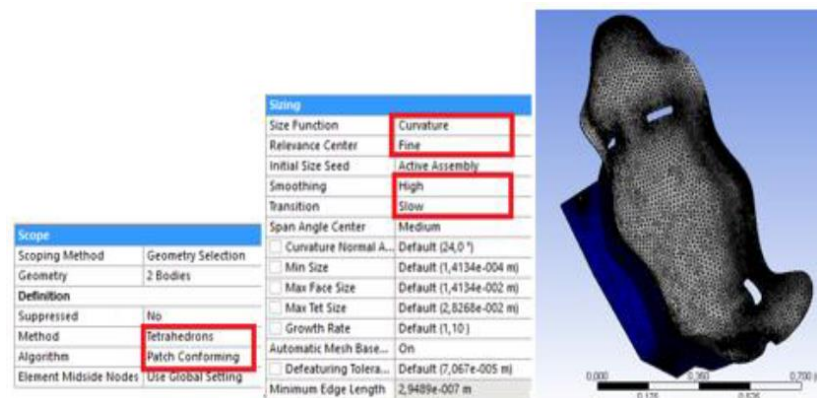


Figura 30. Modelo de Butaca en ANSYS
(Monotoa & García, 2016)

Formulación de la hipótesis

La utilización de medidas antropométricas ecuatorianas en el diseño de una butaca para un vehículo monoplaza *Formula Student*, alcanzará mayor aceptación de ergonomía por parte de los involucrados.

Método

Para el desarrollo de esta investigación se utiliza como metodología el diseño centrado en el usuario que se basa en la fabricación de una propuesta de diseño de una butaca partiendo de dos modelos fabricados en el 2012 y 2014. Este método fomenta al ser humano a realizar una investigación previa y proponer soluciones que deriven en el avance tecnológico o sirvan de punto de partida para futuros estudios. Además, se aplica un método explicativo que se encarga de establecer el por qué y para qué de un tema específico. Este método estudia un fenómeno desde el punto de vista de la comprensión de proyectos previamente estudiados, de esta manera emplea leyes físicas, investigaciones previas, tesis y publicaciones para llegar a resultados propios según sea el problema abordado al inicio de la investigación.

El método de diseño centrado en el usuario comparó butacas del 2012 y 2014 para tomar medidas base que sirvan para realizar una primera encuesta y determinar los parámetros de confortabilidad de un prototipo de butaca utilizadas en competencias anteriores y así iniciar el estudio de la propuesta de diseño de la autoparte.

Método de investigación cualitativa y cuantitativa

En este proyecto las pruebas de *confort* y de juicio subjetivo son métodos cualitativos, pues generan una hipótesis de comodidad en los pilotos ecuatorianos encuestados. El alcance del método permite el estudio antropométrico de pilotos ecuatorianos, brindando información adecuada para el diseño y construcción de un prototipo de butaca ergonómica de monoplazas de *Formula Student*, que genera desplazamientos longitudinales, transversales y angulares respetando los parámetros de reglamentación de la competencia, donde se valora las variantes ergonómicas, a través de un dinamómetro digital de 200N con el que se genera una base de datos computacional denominada cartografía de presión, la misma que permite analizar los

resultados y son el punto de partida para el modelado inicial en el *software* CAD y posterior construcción de la propuesta de butaca para un monoplaza *Fórmula Student*.

Tipo de estudio

Este proyecto realiza un estudio de evaluación empírica que emplea técnicas de recolección de información como encuestas a 10 pilotos ecuatorianos y entrevistas a un conductor y un diseñador. Posteriormente se ejecuta un análisis estadístico para el tratamiento de resultados con las mediciones antropométricas recolectadas y mediante la construcción de un prototipo de butaca, se simulará en un *software* CAE en el que se aplica cargas de competencia y así se plantea una propuesta de diseño de butacas para pilotos de equipos participantes en la *Formula Student*.

Modalidad de investigación

La modalidad de investigación es experimental, que se basa en la construcción de un prototipo de butaca realizada en la Universidad SEK, que toma en consideración estudios antropométricos y encuestas a 10 pilotos ecuatorianos participantes en la *Formula Student* (ver Anexo 1).

Metodología

La metodología consiste en una revisión sistemática de la literatura que establecerá los conocimientos actuales e identificará brechas para la exploración, incluyendo los métodos de investigación utilizados actualmente en la evaluación del *confort* de la butaca y la postura de conducción. Después de esto, se plantearán temas para cumplir con los objetivos principales del estudio. Se propondrán cinco estudios para la propuesta de diseño como la encuesta, antropometría, validación de la butaca, diseño, simulación y construcción de la butaca.

Revisión de literatura

Se realiza una revisión de la literatura utilizando revistas, libros, tesis, bases de datos en línea y publicaciones, serán seleccionados por su importancia relativa para los temas de esta investigación, por ejemplo: sistema musculoesquelético, postura del conductor, factores que afectan el *comfort* del asiento, convenciones y estándares de conducción.

Encuesta de confortabilidad

Se realizó una encuesta a 10 pilotos ecuatorianos sobre la incomodidad de utilizar a largo plazo una butaca que no tenga consideraciones ergonómicas ni antropométricas de cada conductor. Se evalúan los parámetros como la confortabilidad del conductor y geometría de la butaca.

Se reclutó a 10 pilotos hombres con experiencia de conducción de vehículos de competición que participan en una prueba de valoración objetiva y subjetiva de butaca de un monoplace de competición para *Formula Student*. Se realiza una encuesta cuyas preguntas estarán dirigidas a la butaca, es decir para evaluar la geometría, material y confortabilidad de la autoparte.

Métodos experimentales

Obtención de datos a través de la experimentación y uso de equipos de medición

Toma de dimensiones antropométricas

Son los métodos y técnicas experimentales que serán considerados para responder las preguntas de investigación, incluyendo: análisis de postura, escalas de calificación de *comfort*,

incomodidad, antropometría y simulaciones de conducción. Estos métodos serán evaluados por su idoneidad para responder a los objetivos de la investigación realizada.

Análisis de postura

Medir la postura de un conductor mientras se sienta en una posición de conducción determinada en el automóvil se puede realizar mediante la medición manual y técnicas de escaneo corporal.

La medición manual del ángulo del cuerpo y el cálculo de los ángulos de las articulaciones teóricas, se pueden medir y posteriormente evaluar en 2D y 3D según la necesidad, cuyos resultados son los más empleados en análisis postural. Los estudios previos usaron este método como una técnica para investigar posiciones cómodas de conducción en configuraciones de vehículos de convencionales. Estos estudios fueron basados en investigaciones de laboratorio e incorporaron el ajuste de subcomponentes de asiento especificados para que los pilotos seleccionen su posición óptima de conducción. De esta manera ajustarse mejor a los requisitos de la tarea de manejo fue capaz de proponer ángulos de articulación teóricos del cuerpo para mayor comodidad y una postura correcta.

Para la medición se toman datos en los siete ángulos de la articulación (la séptima vértebra cervical, acromion, epicóndilo lateral, estiloides cubital, Trocánter mayor, cóndilo lateral y maléolo lateral). La medición se realiza tres veces para aumentar la fiabilidad y a través de la ropa lo que produce variación en los resultados de la medición que se encuentran en libros de dimensiones humanas.

Las técnicas de escaneo digital tienen una exactitud superior de 0,8 mm en comparación a las mediciones manuales. Por lo que para un análisis postural más preciso se utilizará un método 3D denominado ELITE, que es un sistema optoelectrónico que puede reconstruir las trayectorias tridimensionales de los marcadores pasivos colocados en la piel

del piloto (William, 2015). Esto permite simular en 3D los ángulos corporales de los conductores en una postura determinada. Este método ofrece una medida precisa y puede aplicarse a condiciones de conducción tanto dinámicas como estáticas. Sin embargo, el costo del equipo y la configuración son mucho mayores en comparación con el método de medición de medidas antropométricas.

Algunos estudios registraron sólo un lado del cuerpo, lo que hace una suposición sobre una postura de conducción simétrica. No obstante, dos estudios informaron que hubo variaciones significativas entre el lado izquierdo y el lado derecho del cuerpo. En la práctica, un ejemplo de esto es que el posicionamiento de las manos de los participantes en el volante que puede afectar los ángulos de muñeca, codo y hombro.

La aplicación del análisis de postura en el *comfort* de los asientos de automóviles tiene una falta de fiabilidad y la cuestión teórica de la "precisión" por lo que William Smith (2015) dice que en antropometría la pulgada equivale a 25 mm. Que es un nivel esperado de precisión en la medición de postura, es virtualmente imposible tener a una precisión menor que 5 mm, debido a la exigencia de los participantes de estar vestidos y usar zapatos. Generalmente para este método se analiza la postura elevada, la misma que está muy lejos de una configuración de conducción convencional para diferentes consideraciones ergonómicas. Para esta investigación se cuenta con normas de ergonomía propuestas por la *Formula Student*.

El desarrollo experimental para la toma de datos antropométricos en pilotos ecuatorianos participantes en *Formula Student* necesitará de instrumentos que consideren la precisión, facilidad de manipulación y calibración. De tal forma que, los resultados sean confiables para la realización del diseño. En la Figura 31 se muestran los instrumentos de medida que se emplean para la toma de datos antropométricos.

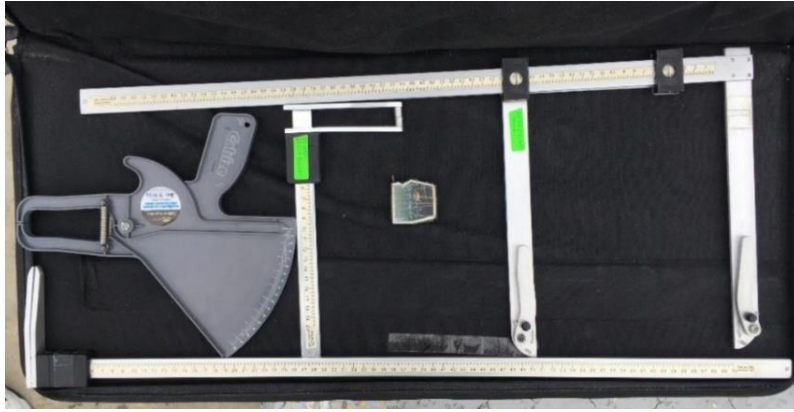


Figura 31. Instrumentos de medición

La dimensión estructural de los pilotos se realiza mediante los siguientes instrumentos de medida.

Antropómetro o calibre deslizable, se trata de una barra metálica de 600 mm de longitud. Consta de dos mordazas una fija y otra móvil para medir longitudes y alturas de segmentos de las partes del cuerpo como acromio – radial, radial-estiloidea, entre otros. Las mordazas están articuladas y sirven para medir la profundidad del tórax. En la Figura 32 se muestra el calibre deslizable grande utilizado.



Figura 32. Calibre deslizable o antropómetro

Cinta antropométrica flexible, se trata de un instrumento de medida que mide longitudes y diámetros de partes del cuerpo del piloto. Además, para su uso la extensión debe ser constante e inflexible en la toma de datos para evitar errores por el evaluador, las medidas deber ser anotadas en centímetros como unidad base. En la Figura 33 se muestra la toma de la medida en el piloto.



Figura 33. Medición con cinta antropométrica

Medidor de fuerza digital portátil HF-200N, es un instrumento encargado de medir esfuerzos de compresión. En diseño de butacas se mide el máximo valor de fuerza que el piloto puede soportar. En la Figura 34 se indica el medidor de fuerza digital de 200N.



Figura 34. Medidor de fuerza digital de 200N

Validez y confiabilidad de los instrumentos

Para la verificación del instrumento de medida la confiabilidad en la toma de datos es un aspecto importante por tomar en cuenta, existen factores como el uso inadecuado, mala calibración y claridad del instrumento que dan como resultado medidas erróneas que afectan al diseño final del prototipo.

El antropómetro, cuenta con una precisión de 1 mm y una longitud de 600 mm para la toma de datos, debido a su corta longitud se limita a distancias cortas. Según su disposición se puede medir la parte superior e inferior del cuerpo.

La cinta antropométrica flexible, sirve para la medición de diámetros y longitudes mayores a 600 mm, cuenta con una precisión de 1 mm.

El medidor de fuerza digital sirve para medir fuerzas de tracción y compresión. A su vez, tiene una precisión de $\pm 0,5\%$. El tratamiento de datos se realizó manualmente y acumulando los resultados en hojas de cálculo de Microsoft Excel. En la Tabla 7 se muestran los valores estándar de carga y descarga para compresión y tracción en el medidor de fuerza digital.

Tabla 7.

Fuerzas de compresión y tracción

Estándar (N)	Compresión (N)		Tracción (N)	
	Carga	Descarga	Carga	Descarga
0	0	0	0	0
40	39,8	40,3	40	39,9
80	80	80,5	80	79,9
120	120,2	120,7	120	120
160	160,4	160,9	160,1	160
200	200,8		200,1	

Mediciones de longitud

Se tomará en cuenta longitudes antropométricas directas en el lado derecho del cuerpo del piloto para generar una tabla de valores con datos de pilotos ecuatorianos.

Acromio-radial

Se trata de la longitud del brazo del piloto, se tomarán en posición de pie relajada con los brazos a los lados, se emplearán antropómetro sobre el acromio hasta la cabeza radial del codo, el mismo que debe estar paralelo al eje longitudinal del brazo. En la Figura 35 se observa la medición Acromio-radial.

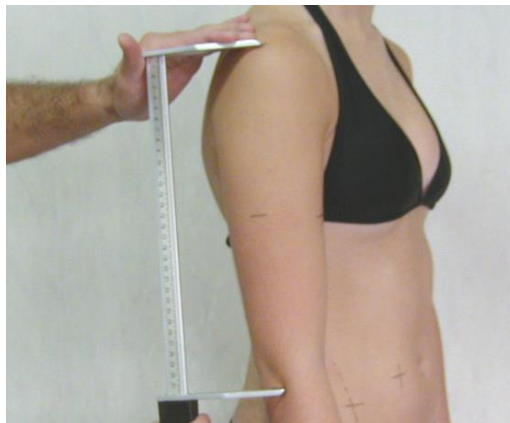


Figura 35. Medición acromio – radial

Radial- estiloidea

Es la distancia entre la cabeza radial del codo y la estiloidea ubicada en la mano, la medida es en posición de pie relajado con los brazos a los lados. Representa la longitud del antebrazo, se empleará el antropómetro que debe estar paralelo al eje longitudinal del brazo. En la Figura 36 se indica la medición Radial- estiloidea.



Figura 36. Medición Radial – estiloidea

Medio estiloidea - dactiloidea

Se debe adoptar una posición relajada de pie con el brazo izquierdo a un lado del cuerpo. El codo del brazo derecho debe estar semiflexionado con los dedos extendidos. Representará la medida de la mano donde el antropómetro se ubicará desde la estiloidea hasta la dactiloidea. En la Figura 37 se muestra la medida estiloidea - dactiloidea.



Figura 37. Medición estiloidea – dactiloidea

Altura llioespinale

Para esta medición el sujeto se encuentra de pie con los pies juntos y con sus brazos a los lados. La parte fija del antropómetro se ubicará en la rodilla y mediante la parte móvil se medirá la distancia hasta el llioespinale. Figura 38 se indica la medida antropométrica.



Figura 38. Altura llioespinale

Altura tibiale laterale

Es la distancia lateral medida desde el piso hasta la tibia de la rodilla. Se realizará en posición de pie con los pies ligeramente separados y con los brazos a los lados. Representa la longitud de la pierna, se colocará la parte fija del antropómetro en el suelo y se manipulará la parte móvil hasta la rodilla, como se muestra en la Figura 39.



Figura 39. Altura tibiale laterale

Tibiale mediale – maleolar tibiale

Para tomar esta medida el individuo debe estar sentado, el tobillo de la pierna derecha se posa sobre la rodilla izquierda, de tal forma que la cara interior de la pierna pueda ser

medida. La misma, representará la longitud de la tibia que va desde la tibia hasta el tobillo, como se indica en la Figura 40.



Figura 40. Tibiale mediale – maleolar tibiale

Medición de diámetros

Biacromial

Es la distancia entre los puntos laterales de los acromiales, donde la persona estará en posición relajado de pie con los brazos estirados a los lados del cuerpo. El evaluador se encontrará en la parte posterior de individuo y con las puntas del antropómetro presionando firmemente efectuará la medida sin lastimar al sujeto, como se indica en la Figura 41.



Figura 41. Medida Biacromial

Biliocrestídeo

Representa la distancia ente las crestas ilíacas, el sujeto se ubicará en posición de pie con los brazos colocados en los costados del cuerpo. El antropómetro deberá ser colocado aproximadamente a 45° señalando hacia arriba y apretando de una manera firme para reducir el efecto de los tejidos del individuo, como se observa en la Figura 42.



Figura 42. Medida Biliocrestídeo

Longitud del pie

Representa la distancia del pie, la posición es de pie relajado separado del otro para distribuir de manera uniforme el peso del cuerpo. La medición será paralela al eje longitudinal del pie, es recomendable ubicar a la persona en un soporte para que el evaluador pueda medir sin problemas, como se observa en la Figura 43.



Figura 43. Longitud del pie

Transverso del tórax

La persona deberá estar de pie o sentado según la necesidad, con los brazos abducidos para facilitar la medida con las mordazas exteriores del antropómetro. Debe contar con un ángulo superior para evitar que el calibrador se resbale, se procederá a la toma de medidas con suave presión en el tejido blando sin llegar a comprimir las costillas. En la Figura 44 se muestra la medida transversa del tórax.



Figura 44. Medida transversa del tórax.

Profundidad ántero – posterior del tórax

Representa la profundidad del tórax, perpendicular al eje longitudinal del Mesosternale. El sujeto se encuentra sentado o de pie con el torso recto y con las manos descansando sobre los muslos. Las puntas articuladas del antropómetro se apoyarán sobre las apófisis espinosas de las vértebras, como se muestra en la Figura 45.



Figura 45. Profundidad ántero – posterior del tórax

Obtención por ingeniería inversa en modelos de butacas del 2012 y 2014, las medidas iniciales para la propuesta de diseño.

Para obtener un modelo de butaca que sirva de parámetro para validación en tiempo real se utilizó el método de ingeniería inversa, que toma en cuenta modelos del 2012 y 2014 mediante un escáner 3D marca CREAFORM con marcas en el asiento para que el programa CAD realice un modelo, como se muestra en la Figura 46.



Figura 46. Escaneado de butacas utilizadas

Los modelos escaneados de butacas del 2012, 2014 y la propuesta de diseño se muestran en la Figura 47 A, B y C respectivamente.

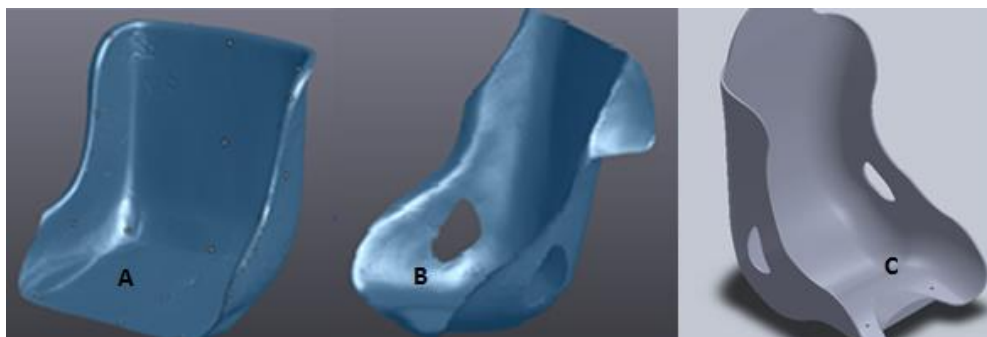


Figura 47. Modelos escaneados del 2012, 2014 y prototipo de butaca

Bajo estos parámetros se fabricaron las butacas del 2012 y 2014 para iniciar el estudio con pruebas de juicio en los pilotos y para los ensayos de confortabilidad. En la Figura 48 se muestra las butacas construidas.



Figura 48. Construcción de modelos 2012 y 2014

Validación de modelos 2012 y 2014 en tiempo real, para determinar el nivel de confortabilidad inicial

Confort general

Es un análisis previo para obtener datos dimensionales actuales, que sirvan de parámetro para el dimensionamiento de la propuesta de butaca. En la Figura 49 se observa la comparación de los modelos del 2012 y 2014.

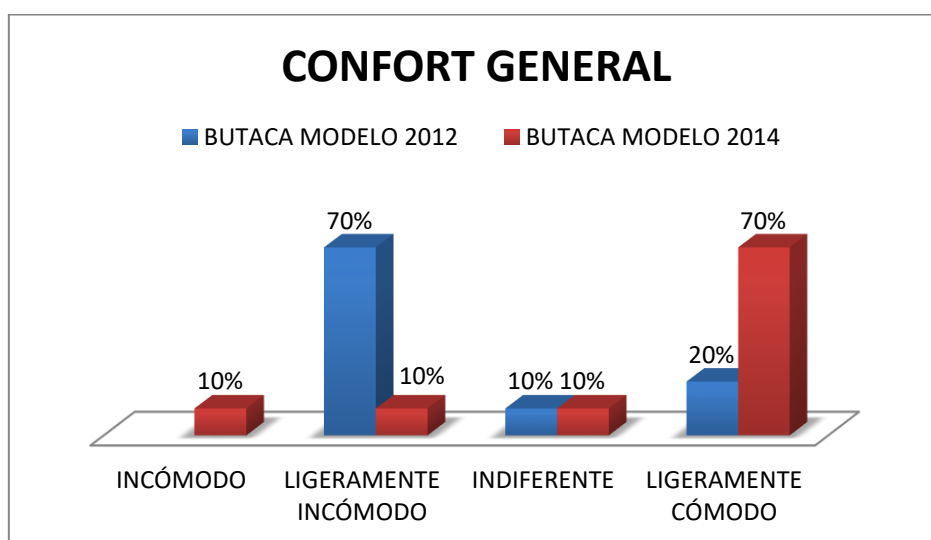


Figura 49. Confort General

Altura de la butaca

Al ser butacas de *Formula Student* que tienen medidas reglamentarias la altura es aceptable en los dos modelos. En la Figura 50 se observa las alturas de los modelos.

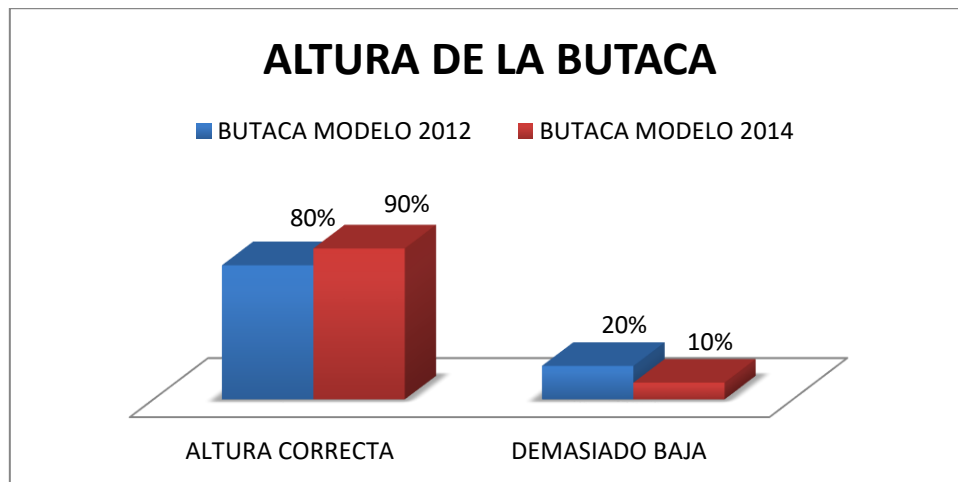


Figura 50. Altura de la butaca

Anchura de asiento

Al no considerar medidas antropométricas para Percentiles P95 en hombres y P5 en mujeres la geometría de la butaca no contaba con la anchura correcta para conducción, como se muestra en la Figura 51.

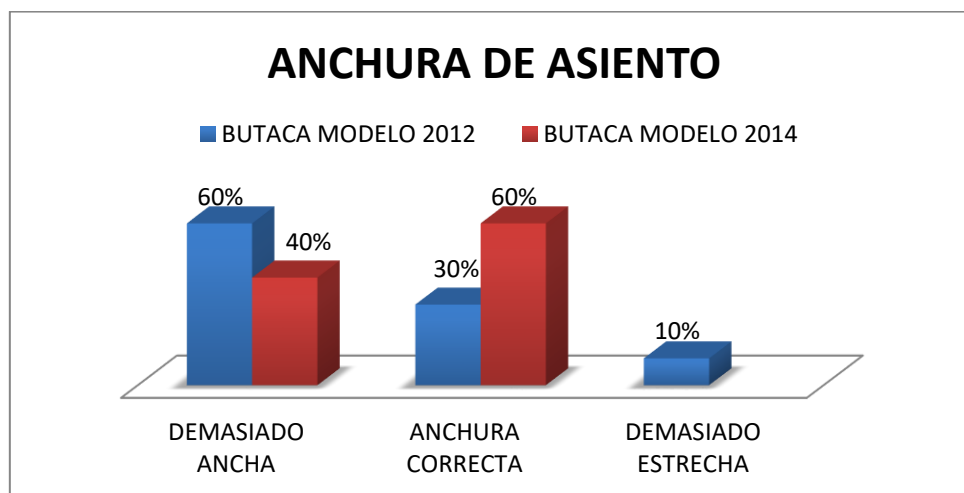


Figura 51. Anchura de asiento

Profundidad de asiento

El modelo de butaca del 2014 tiene la profundidad aceptable que sirve de parámetro para la comparación de profundidad con la propuesta de diseño de esta investigación. En la Figura 52 se muestra la comparación del modelo 2012 y 2014.

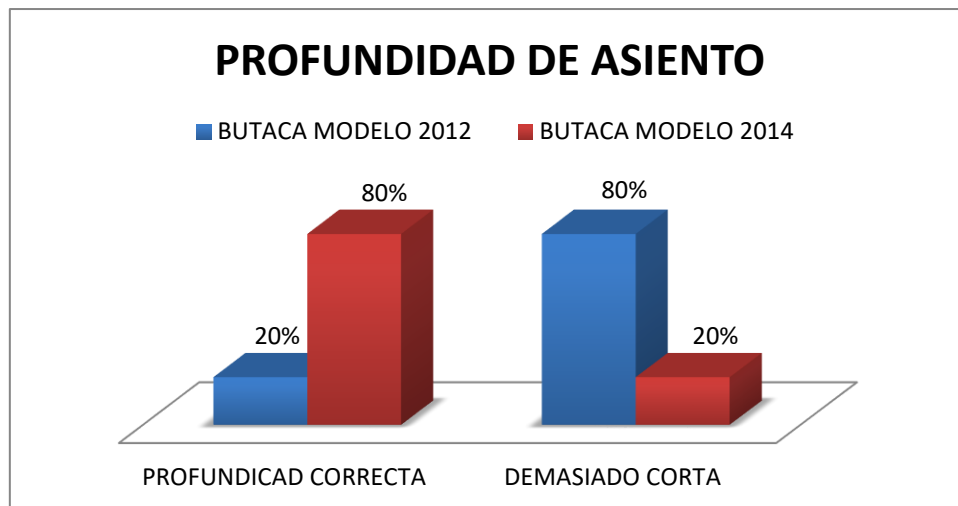


Figura 52. Profundidad de asiento

Inclinación del asiento

Los modelos no contaban con la inclinación adecuada para una posición ergonómica de conducción. A su vez, necesitaban una inclinación hacia arriba según la comparación que se indica en la Figura 53.

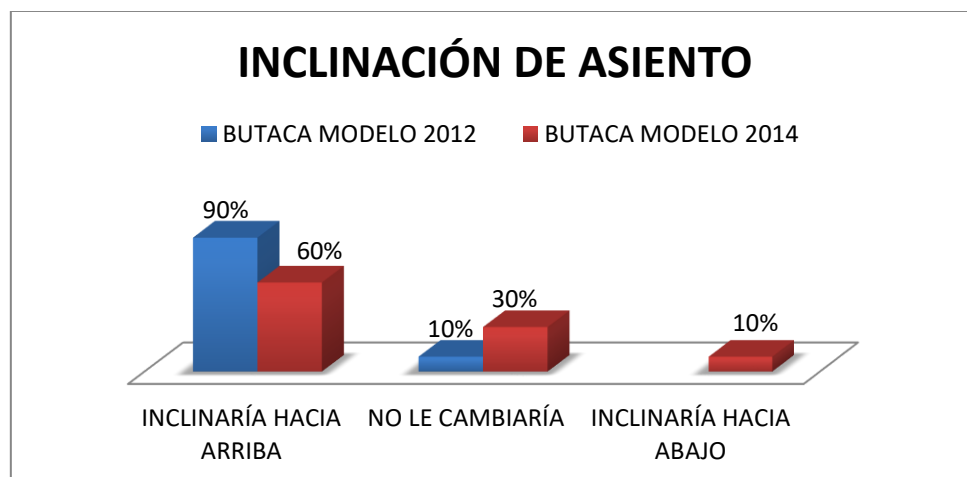


Figura 53. Inclinación de asiento

Material de la butaca

En la Figura 54 se observa la comparación entre modelos dando como resultado una butaca demasiado dura. Por lo tanto, al ser del mismo material que se construirá la propuesta se necesita tapizar el prototipo para que la autoparte sea más cómoda y de esta manera mejorar la confortabilidad del piloto.

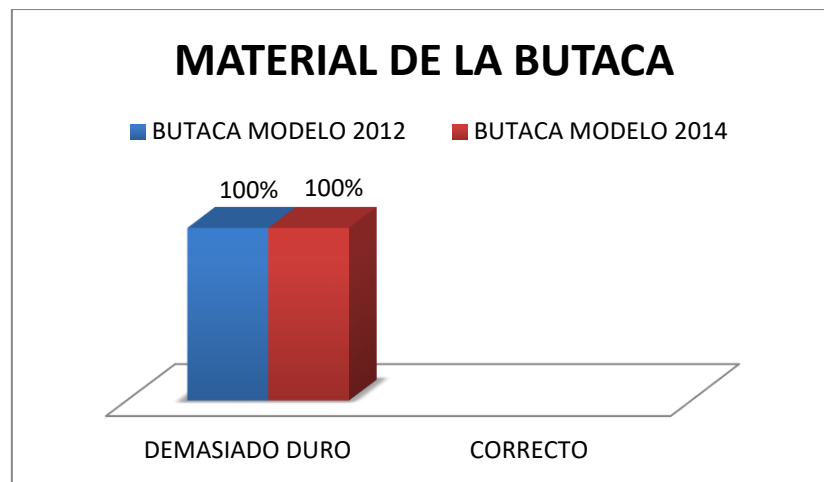


Figura 54. Material de la butaca

Forma de la butaca

El asiento necesita adaptarse al percentil de la *Formula Student*. Por esta razón, el modelo 2014 tiene un contoneo superior al modelo del 2012, como se muestra en la Figura 55.

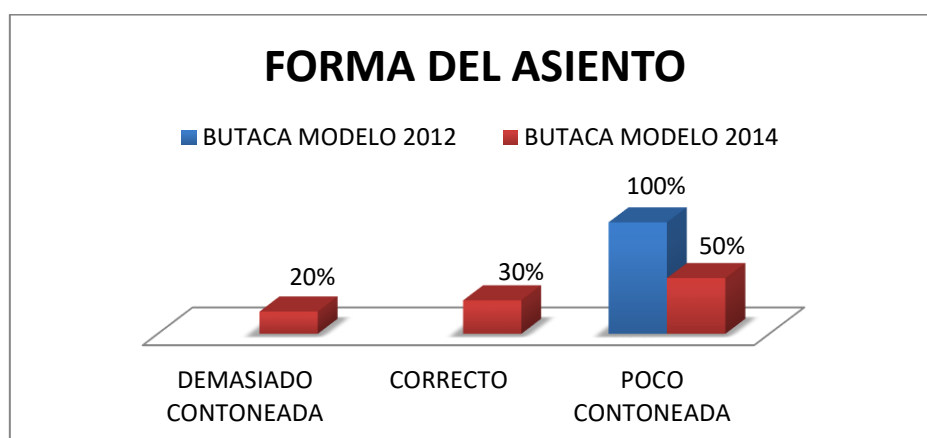


Figura 55. Forma del asiento

Imperfecciones en la butaca

Al ser modelos laminados por vía húmeda con refuerzo de fibra de vidrio no muestras formas irregulares que afecten al conductor. En la Figura 56 se evidencia los resultados de la encuesta.

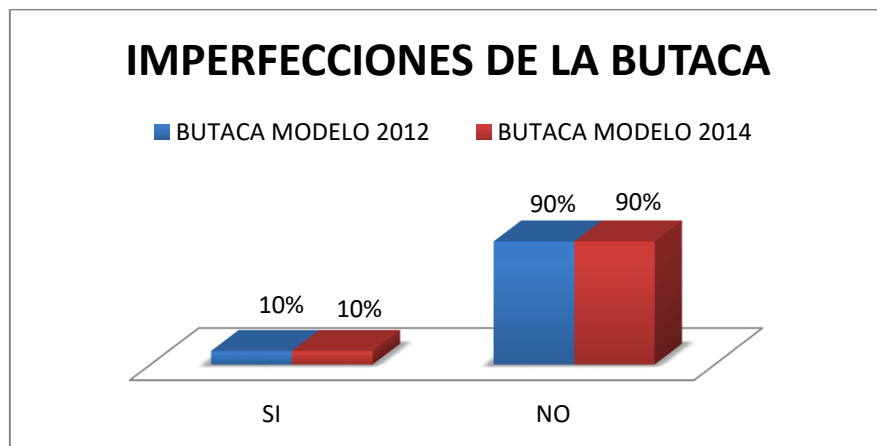


Figura 56. Imperfecciones en la butaca

Altura del respaldo

El modelo del 2012 presenta una altura de respaldo muy baja para los pilotos, el cual asciende al 90% de los encuestados. A su vez, el modelo del 2014 presenta una altura excesiva para el 80% de los pilotos, como se muestra en la Figura 57.

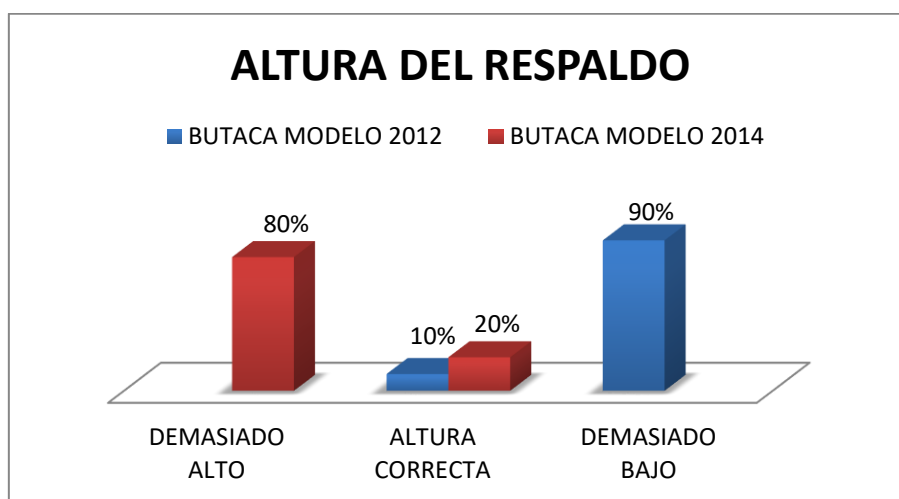


Figura 57. Altura del respaldo

Anchura del respaldo

El modelo muestra una anchura correcta para más del 70% de los pilotos encuestados en el modelo de butaca del 2014. En cambio, para el modelo del 2012 la incomodidad el ancho del respaldo es del 80%, como se observa en la Figura 58.

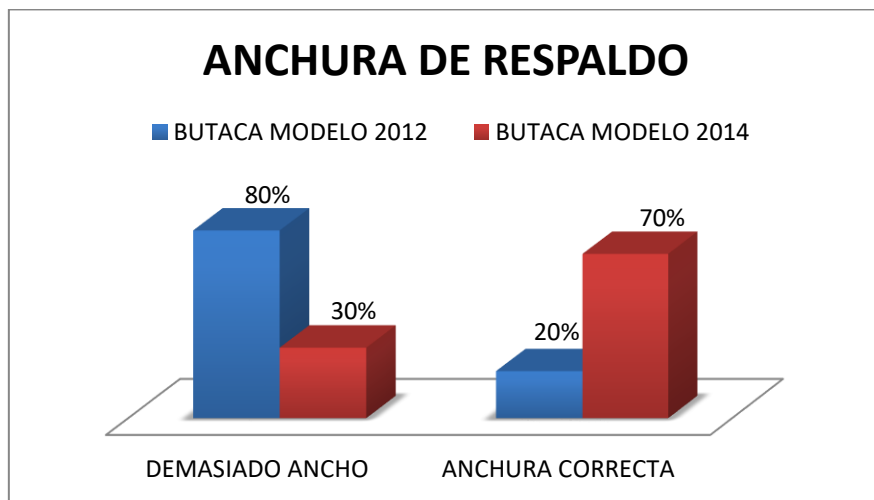


Figura 58. Anchura del respaldo

Altura del borde inferior del respaldo

La butaca muestra una altura de borde el respaldo superior al modelo del 2012, como se muestra en la Figura 59.

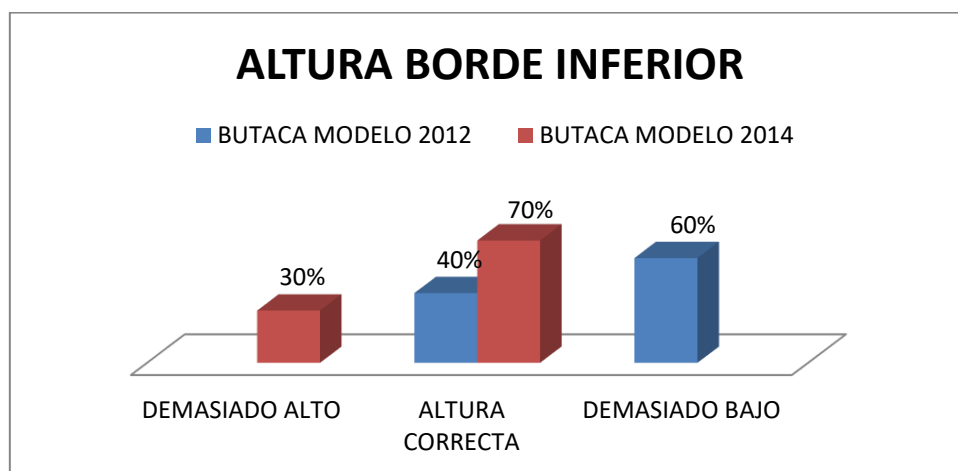


Figura 59. Altura del borde inferior del respaldo

Inclinación del respaldo

La inclinación en los dos modelos es escasa, siendo un parámetro que mejorar en la construcción de la propuesta de butaca. En la Figura 60 se indica el resultado de la encuesta.

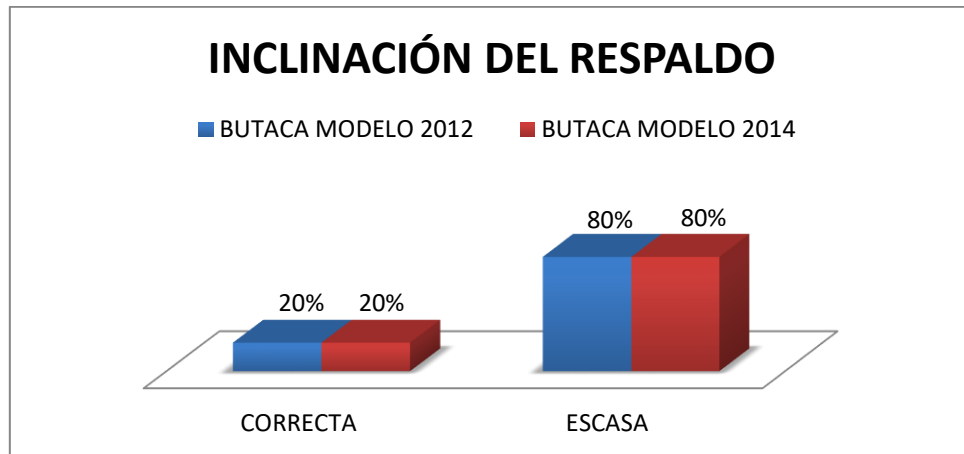


Figura 60. Inclinación del respaldo

Perfil vertical del respaldo

El modelo del 2012 tiene muy poco contoneo en el respaldo, en cambio la butaca del 2014 mejoró para tres pilotos, como se muestra en la Figura 61.

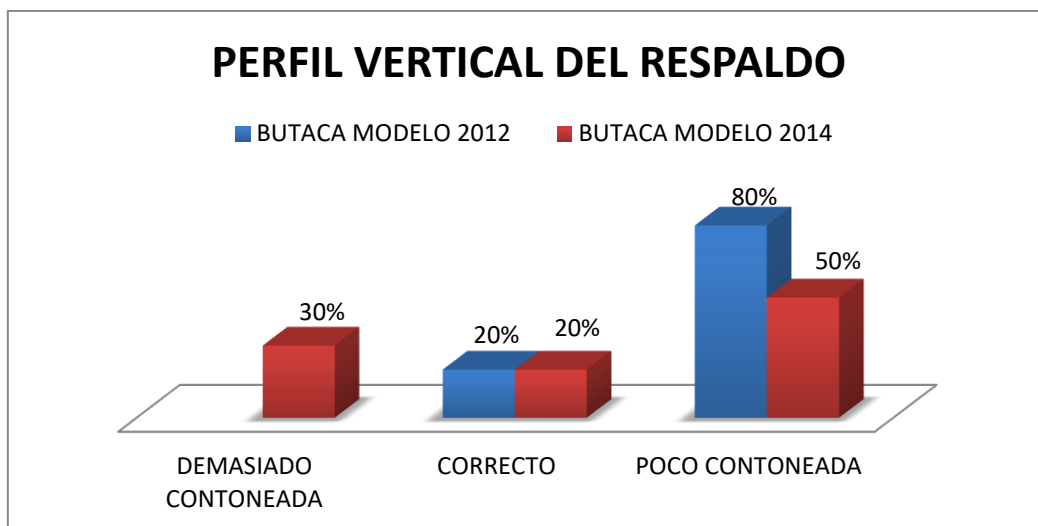


Figura 61. Perfil vertical del respaldo

Curvatura horizontal de respaldo

La curvatura horizontal de respaldo es correcta en el modelo 2014, en cambio en el modelo 2012 es poco plano, como se observa en la Figura 62.

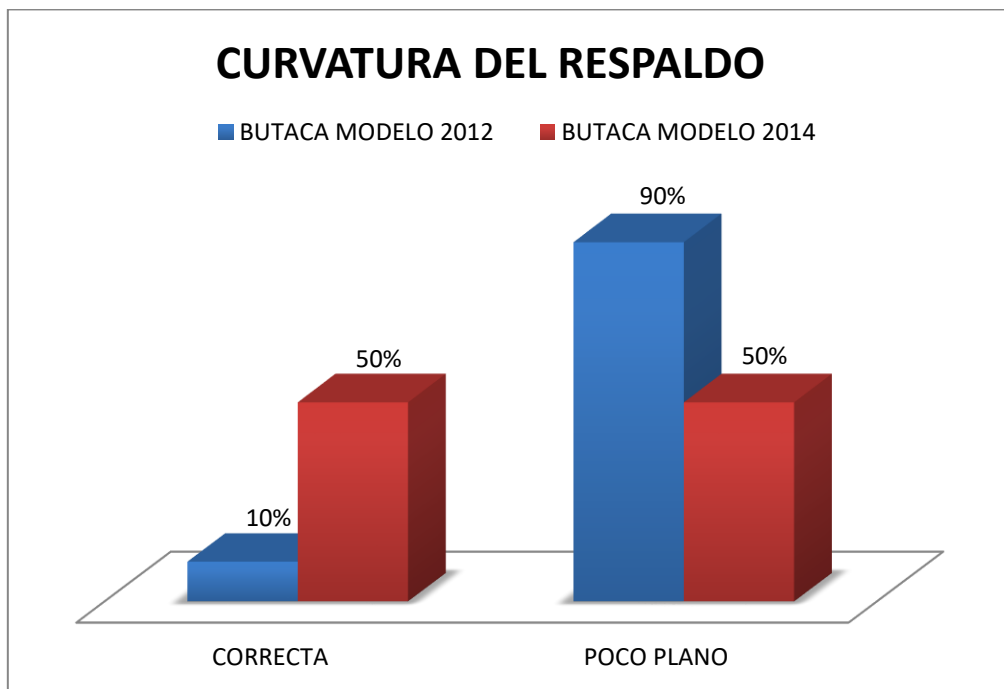


Figura 62. Curva horizontal de respaldo

Imperfecciones en el respaldo

Al ser superficies lisas fabricadas de un material compuesto reforzado con fibra de vidrio, el material es liso y no tiene imperfecciones que afecten al piloto. En la Figura 63 se muestra los resultados.

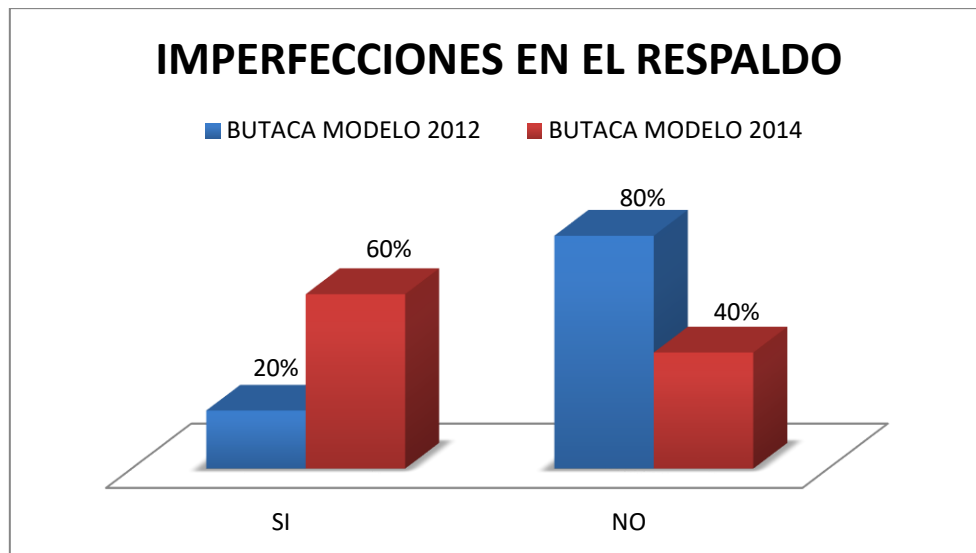


Figura 63. Imperfecciones en el respaldo

Toma de datos estáticos de puntos de presión en el cuerpo

Existen factores en el diseño de butacas que permiten lograr buenos resultados en carrera, el conductor es un factor importante en el cambio del rendimiento del monoplaza, por lo que se realizan análisis posturales a los pilotos, donde se obtienen resultados de la confortabilidad de la butaca y postura de conducción.

El punto de referencia clave de la evaluación de la comodidad debe establecerse antes de evaluar la posición sentado del conductor. Hay tres puntos clave que llevan a cabo el estándar de *comfort*, que consiste en fijar una postura cómoda en el cuerpo, además proporciona una referencia a una variedad de datos del estado del cuerpo.

Según, Chao Tao (2016) Las diversas partes del cuerpo tiene un área relativa de comodidad, donde el verde es relativamente cómodo, rojo es la posición incómoda, como se muestra en la Figura 64. Finalmente, el resultado de la evaluación de *comfort* mostró que la cabeza y la pierna izquierda están en un estado incómodo en la posición sentada. cuando estas partes del ser humano están en un estado cómodo.



Figura 64. Posiciones del cuerpo en asientos de competición

Construcción de la estructura

Se utilizaron los modelos de butacas del 2012 y 2014 para realizar el ensayo de confortabilidad de pilotos. Se emplea un estudio de presión en los pilotos mediante la utilización de un medidor de presión digital en una butaca de fibra de vidrio en un monoplace de *Formula Student*. Según Vink y Lips (2017) se realizan 32 orificios para medir la fuerza total que el conductor puede soportar con una distribución de la siguiente manera: Orificios del respaldo: inicio a 120 mm de la línea base y separación entre filas de 110 mm y separación entre columnas de 70 mm; Orificios de asiento: inicio a 100 mm de la línea base y separación entre filas de 115 mm y separación entre filas de 106 mm. En la Figura 65 se muestra las butacas con las perforaciones.



Figura 65. Perforación de los modelos de butacas

Ensayo de confortabilidad

Para la medición los pilotos deben usar una capa de ropa (pantalones y una camiseta). Después los participantes toman asiento y se procede a través de los agujeros a medir la presión mediante un medidor de fuerza digital, como muestra la Figura 66. Se debe aumentar lentamente hasta que los participantes declaren que su nivel de malestar sea demasiado alto. Cada punto se mide tres veces por participante, tomando las dos últimas grabaciones como valores para el cálculo.



Figura 66. Medidor de fuerza digital de 200N

Cuando todas las disposiciones del ser humano están en un estado cómodo es necesario ajustar y considerar el modelo de butaca con la postura sentada más confortable. Después de ajustar la comodidad relativa del modelo de cuerpo humano y los valores de fuerza máxima promedio que puede soportar el piloto, se obtiene una curva modelo de la espalda y los glúteos. Al mismo tiempo para el diseño del asiento es necesario un apoyo lateral para el brazo, la cintura y los glúteos del conductor. Deberá tener suficiente apoyo para el muslo y para controlar la dirección en altas velocidades y para curvar por la presencia de la fuerza centrífuga.

Para el cálculo se emplean los modelos de butaca del 2012 y 2014, los mismos que servirán de parámetros para construir el prototipo de butaca final. En la Figura 67 se observa los modelos empleados y el prototipo final.

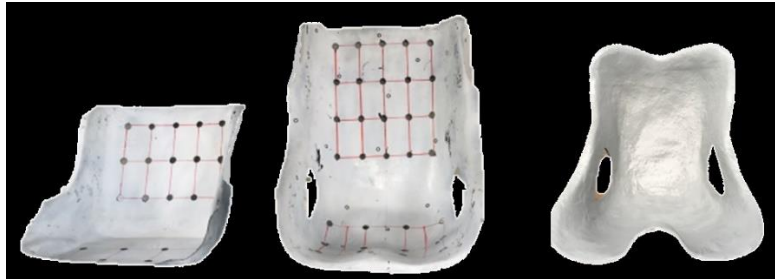


Figura 67. Perforaciones en modelos del 2012 y 2014

Se debe aumentar la presión lentamente hasta que los participantes declaren que su nivel de malestar es demasiado alto. En cada punto se mide tres veces por participante, tomando el promedio de las dos últimas grabaciones como valores para el cálculo. En la Figura 68 se muestran los puntos de medida de presión para el ensayo de confortabilidad.



Figura 68. Puntos para toma de datos de confortabilidad en el cuerpo humano

Ángulos de posicionamiento correcto del piloto en la cabina con el prototipo de butaca

La presente investigación es para pilotos ecuatorianos participantes en la *Formula Student*, la misma que dispone una posición del piloto fundamental en la conducción del monoplace. En la Figura 69 se observa la posición del conductor basado en la normativa FSAE 2017-2018 de 95% percentil en hombres y 5% en mujeres.

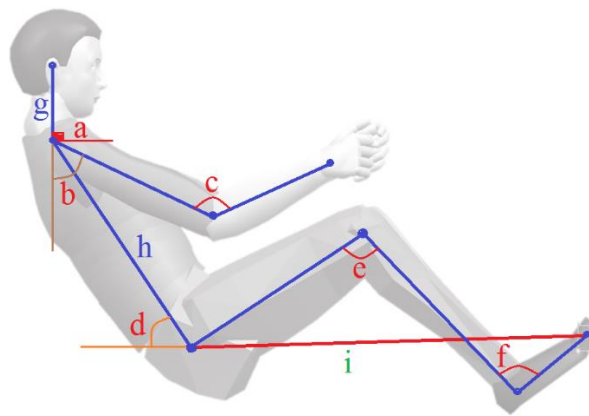


Figura 69. Posición ergonómica del piloto de acuerdo FSAE 2017 - 2018

En la Tabla 8 se registran los valores de ángulos con posición óptima, es decir rodillas semiflexionadas, distancia del volante y facilidad en oprimir los pedales.

Tabla 8.

Ángulos en posición óptima de un conductor

Variable	Articulación	Ángulo (°)
a	Cuello	90
b	Hombro	55
c	Codo	116
d	Cadera	50
e	Rodilla	120-125
f	Tobillo	85

(Pons, 2016)

Por normativa en la *Formula Student* se emplea distancias fijas, que son revisadas en las pruebas estáticas y dinámicas, como se muestra en la Figura 70. Adicionalmente, En la Tabla 9 se observan estos valores.



Figura 70. Distancias fijas en *Formula Student*

Tabla 9.

Valores estándar para Formula Student

Variable	Línea	Longitud (mm)
g	De hombro al centro de la cabeza	280
h	De hombro a cadera	490
i	De cadera a pie	915

(SAE, 2016)

Rediseño de butaca

Metodología para la construcción del prototipo final

La metodología para el diseño, simulación y construcción de la butaca es la siguiente:

- Medir las principales mediciones antropométricas de los pilotos. Estas medidas se utilizan para asegurar que todos ellos se encuentren dentro del rango del 5% femenino y 95% masculino, por normativa de la *Formula Student*.
- Se analizan los parámetros principales de la cabina, como el asiento, la posición de los elementos de conducción, etc., mediante las medidas de cabina de los equipos ecuatorianos participantes en la *Formula Student*, para definir la posición de *confort* de conducción con mejor puntaje.
- Se fabrica el molde de cabina y butaca, mediante el uso de espuma de poliuretano la cual se ubica en el prototipo de cabina, aquí el piloto debe permanecer inmóvil para que la forma del cuerpo quede impregnada, pero simulando los movimientos propios de conducción sobre todo en la parte de hombros, brazos y piernas, para su posterior modelado mediante escaneo. En la Figura 71 se muestra el proceso de moldeo.



Figura 71. Moldeo de la butaca con espuma Poliuretano

- La butaca se fabricará con fibra de vidrio utilizando la pieza de espuma de poliuretano configurada previamente como molde.

Es necesario equilibrar el uso de medidas antropométricas reales con simulaciones virtuales, ya que la simulación en 3D no es estándar y es individual de cada piloto necesitan ser ajustadas con datos reales que funcione para un percentil de 95% hombres y 5 % mujeres.

Construcción de la cabina y prototipo de butaca

La construcción de la cabina comienza con tubos de acero cuadrado A36 de 1 pulgada y 2 mm de espesor, soldados de acuerdo con las especificaciones de la competencia para los materiales y la medición.

Para la construcción de la butaca se debe utilizar resina poliéster reforzado con fibra de vidrio, ya que es una tecnología barata y fácil de usar, la misma cumple todos los requisitos. Se inicia del modelo de butaca escaneado tomando en cuenta medidas antropométricas obtenidas de pilotos ecuatorianos.

Los dos parámetros principales que definen la geometría de la butaca son la altura de asiento y el ancho de la cadera. Se ajusta a la media de los pilotos encuestados que coincidían con la medida de la altura del asiento del 80° percentil y un ancho de la cadera del 70° percentil.

Molde para obtención de geometría humana

Para obtener el molde con el perfil del piloto se emplean los siguientes materiales.

Espuma de poliuretano. – Es el encargado de realizar el modelo de la forma del cuerpo del conductor. El individuo permanecerá alojado en la cabina durante 30 a 40 minutos, el mismo se mueve regularmente simulando conducir para que tome su forma. En la Figura 72 se muestra la espuma empleada.



Figura 72. Espuma de poliuretano

Madera. - Se empleará para la construcción de la cabina de 990x620 mm de altura y ancho respectivamente. El piloto se alojará en la misma hasta que la espuma de poliuretano se solidifique y adquiera la forma para el escaneo. En la Figura 73 se observa la madera que se utilizará.



Figura 73. Madera Triplex de 6mm de espesor

Plástico. –Se utilizarán bolsas plásticas para recubrir al piloto y sea más fácil salir cuando la espuma se solidifique. En la Figura 74 se indica las bolsas plásticas.



Figura 74. Bolsas plásticas.

Tubo cuadrado A-36. Se utiliza para fabricar el chasis donde la butaca se aloja. Se dispone de un proceso de soldadura SMAW, con electrodo E-6011, como se muestra en la Figura 75.



Figura 75. Tubo cuadrado Acero A-36

Fabricación de la cabina donde se aloja la butaca

Por normativa FSAE 2017-2018 los conductores deben ubicarse en una cabina que favorezca la comodidad en pista y seguridad del conductor, como se muestra en la Figura 76.

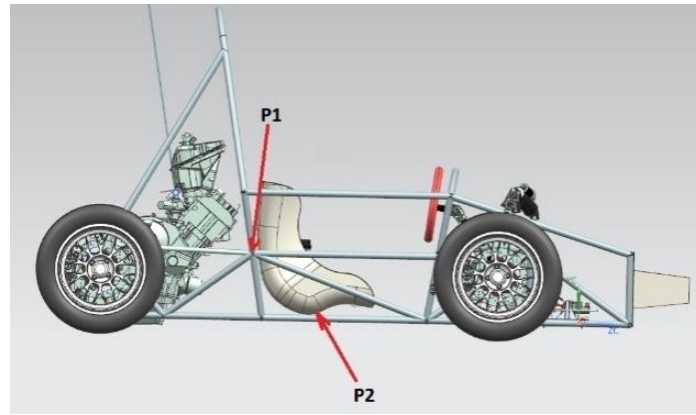


Figura 76. Cabina de un Fórmula Student

Se fabricó un módulo estructural para tomar medidas antropométricas y ergonómicas basadas en un *Fórmula Student* (Anexo 4) con desplazamiento de posición para volante, pedalera y asiento, para la cual se utiliza tubo de acero A36 cuadrado de 1 pulgada por 2 mm de espesor, como se indica en la Figura 77.



Figura 77. Construcción de un módulo estructural

La estructura metálica terminada para la toma de datos antropométricos se observa en la Figura 78.



Figura 78. Módulo de pruebas

El plano del módulo de cabina se encuentra en el Anexo 5.

Construcción de la butaca final

El procedimiento para la construcción de la propuesta de butaca de *Formula Student* es el siguiente:

1. Construcción de una cabina de madera para que el piloto permanezca en su interior, como se muestra en la Figura 79.



Figura 79. Cabina de madera

2. Utilización de espumas de poliuretano para obtener el perfil del piloto como se observa en la Figura 80.



Figura 80. Espuma de poliuretano

3. El piloto debe permanecer hasta que la espuma solidifique y quede el perfil del cuerpo en el modelo, pero simulando movimientos propios de la conducción como es el caso de hombros y piernas, como se muestra en la Figura 81.



Figura 81. Solidificación de la espuma

4. Se dibuja el perfil sobre el modelo sólido de espuma de poliuretano, tomando en consideración la condición de simetría del cuerpo del piloto. En la Figura 82 se tiene el modelo con la forma de la butaca.



Figura 82. Perfil de la butaca

5. Se utiliza un empaste de vinil acrílico para obtener una óptima superficie del molde la butaca con material compuesto reforzado con fibra de vidrio y de esta manera corregir irregularidades bajo un proceso de lijado, como se muestra en la Figura 83.



Figura 83. Molde de empaste de vinil

6. Se prepara el molde eliminando imperfecciones hasta que se obtenga una superficie lisa que favorezca el laminado por vía húmeda. En la Figura 84 se tiene el molde



Figura 84. Pulido del molde

7. Preparar el catalizador y ubicar sobre el molde preparado con un desmoldante que favorezca la extracción de la butaca construida. Empleando un recipiente con medida para realizar la mezcla y el catalizador según el Anexo 2. En la Figura 85 se muestra la resina empleada



Figura 85. Laminado por vía húmeda

8. Realizar el laminado por vía húmeda de la butaca con resina polimérica reforzada con fibra tejida de vidrio como se muestra en la Figura 86. Se considera un tiempo de

secado por capa de 45 min a una temperatura de 30 °C con un ambiente libre de humedad. La proporción de resina que se emplea en este tipo de laminación normalmente es 1: 1 con el peso de las fibras y con una densidad de fibras menor al 50%. Se toma en cuenta que una vez se mezcle la resina con el catalizador se inicia una reacción exotérmica, que puede llegar a auto-quemarse y emitir vapores tóxicos, por tanto, se debe calcular cuidadosamente las cantidades a mezclar, ya que la resina tiene un alto costo.



Figura 86. Fabricación de la butaca reforzada con fibra de vidrio

9. Extracción del negativo del molde de butaca terminada como se muestra en la Figura 87.



Figura 87. Extracción de la butaca

10. Realización de los orificios en enclavamiento para que ingrese el cinturón de seguridad como se indica en la Figura 88.



Figura 88. Forma final de la butaca

Validación con el prototipo rediseñado

La validación del prototipo se realiza mediante una segunda encuesta de juicio subjetivo y objetivo (Anexo 6) con el prototipo construido como se muestra en la Figura 89. Se comparan parámetros de comodidad entre los modelos del 2012, 2014 y la butaca final. Que a su vez permitirá verificar si los parámetros que generaban incomodidad se han superado.



Figura 89. Encuesta a pilotos ecuatorianos universitarios

Confort general

Los modelos de butacas del 2012 y 2014 presentaban incomodidad en el piloto, que a su vez generaba cansancio durante la conducción del vehículo. Se tomaron consideraciones de ergonomía con medidas antropométricas y se pidió que los pilotos evaluaran la propuesta de butaca de esta investigación, dando como resultado una autoparte de comodidad alta en comparación a los modelos anteriores, como se indica en la Figura 90.

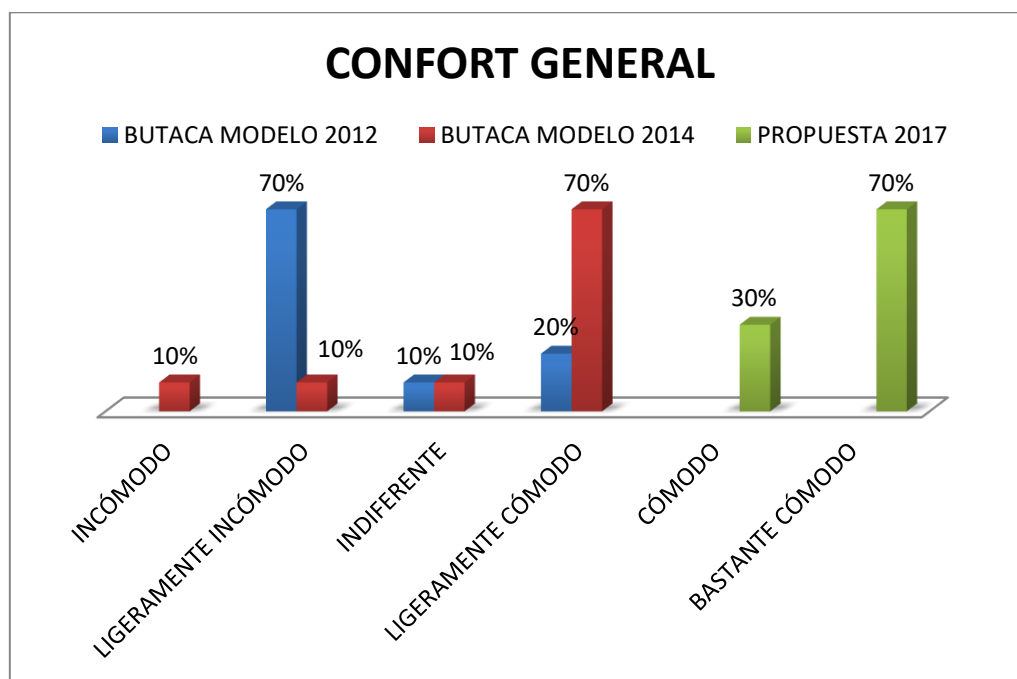


Figura 90. Confort general

Altura de la butaca

La altura no varía significativamente en cada modelo, ya que deben cumplir la normativa de la *Formula Student*. En la Figura 91 se evidencia la comparación entre los modelos de butaca.

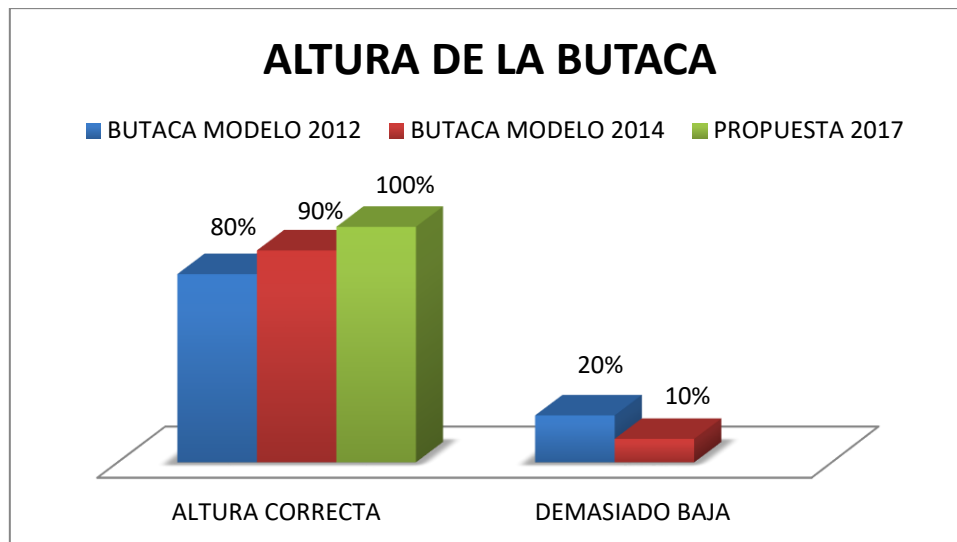


Figura 91. Altura del asiento

Anchura de asiento

El modelo de butaca del 2012 presenta más incomodidad por la anchura del asiento. Como se muestra en la Figura 92 más del 70% de los encuestados dan este resultado, en cambio en el modelo del 2014 según el 40% de los pilotos es demasiado ancha. Por lo tanto, se mejora la anchura de la autoparte en esta propuesta de diseño.

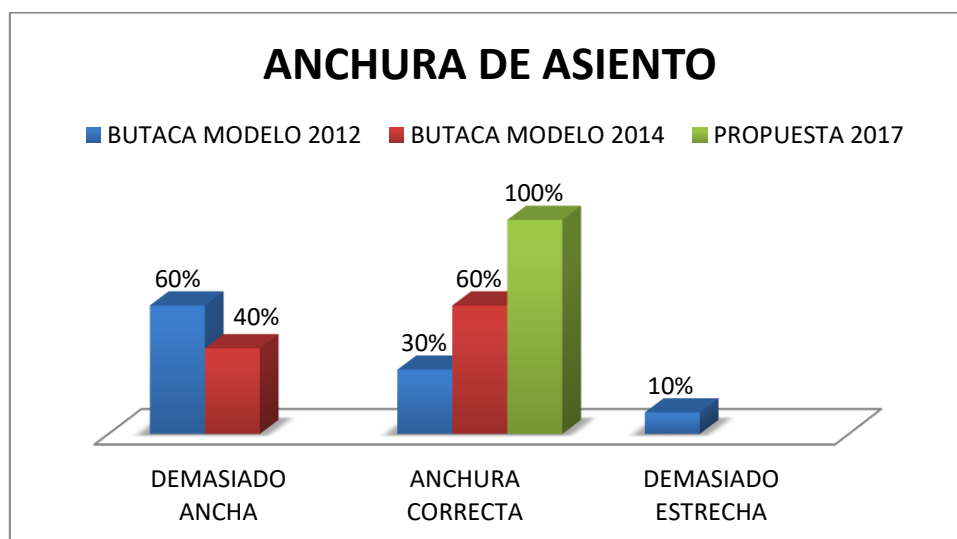


Figura 92. Anchura de asiento

Profundidad del asiento

El modelo con más aceptación según la primera encuesta es la butaca del 2014, que sirvió de parámetro para la fabricación del modelo de esta investigación. En la Figura 93 se observan los resultados de las encuestas de confortabilidad.

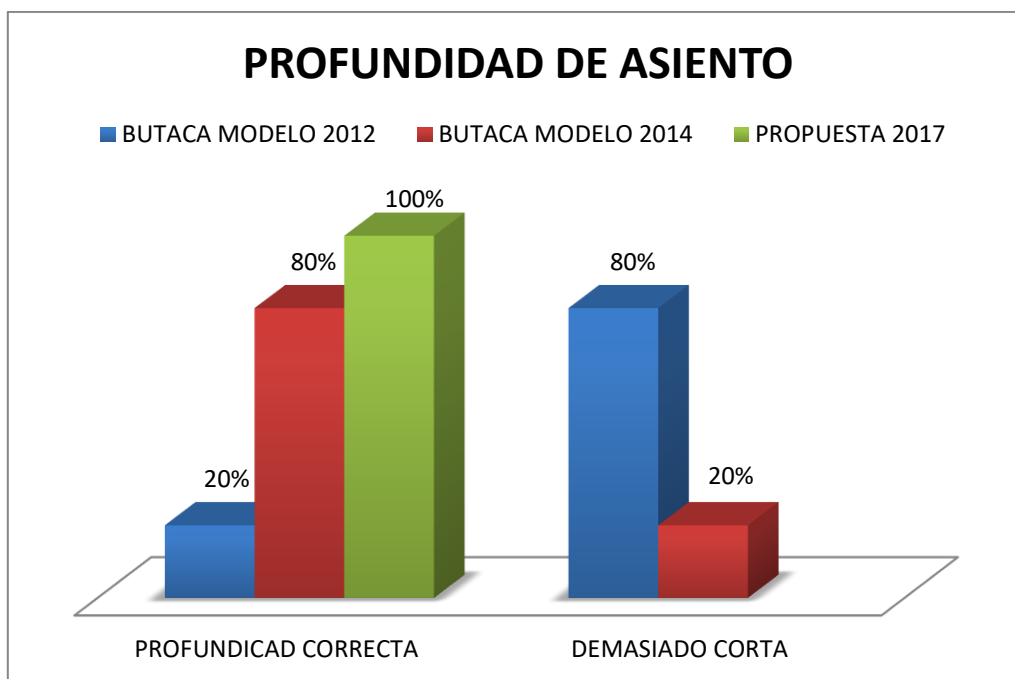


Figura 93. Profundidad de asiento

Inclinación del asiento

Uno de los parámetros que se cambiaron para la propuesta de esta investigación es la inclinación, la cual debe ser ubicada de mejor manera en la parte superior de la cabina, como se muestra en la Figura 94.

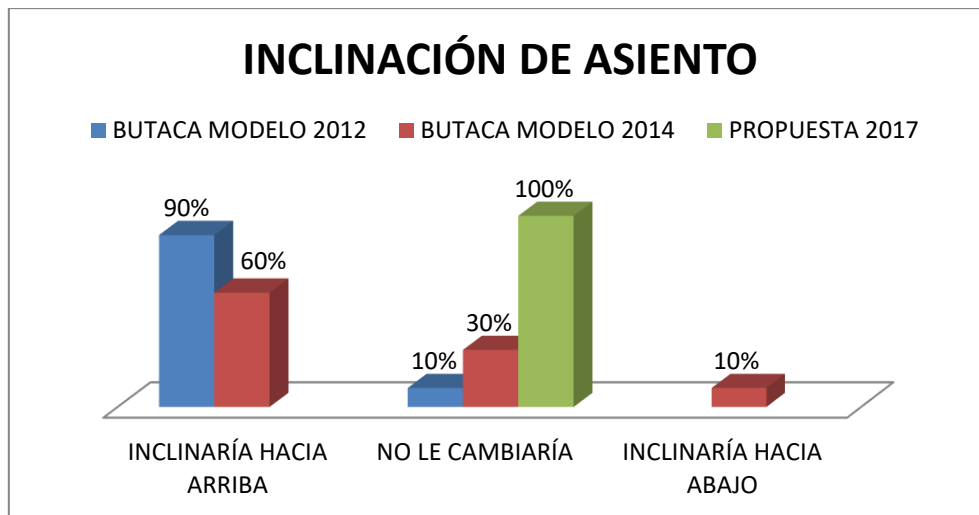


Figura 94. Inclinación de asiento

Material de la butaca

Como los modelos del 2012 y 2014 eran demasiado duros según los encuestados, como se muestra en la Figura 95. Se decidió que el material compuesto que soportaría cargas de competencia de la *Formula Student* es el refuerzo de fibra de vidrio con matriz polimérica y recubrimiento de material de absorción de vibraciones en lugares estratégicos de acuerdo con los valores obtenidos de las pruebas de confortabilidad dinamométrica.

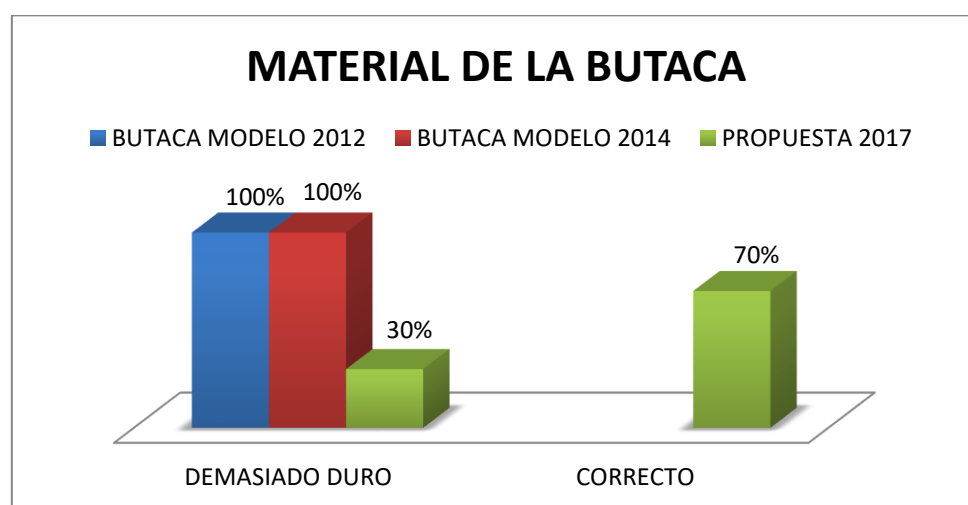


Figura 95. Material de la butaca

Forma del asiento

Los modelos no tomaban en cuenta datos antropométricos bajo condiciones ergonómicas, por lo que para mejorar la forma del asiento se considera un molde de poliuretano que tome en cuenta la forma del piloto y con medidas antropométricas adecuadas para un percentil del 95% en hombres y 5% en mujeres. En la Figura 96 se indica los resultados obtenidos.

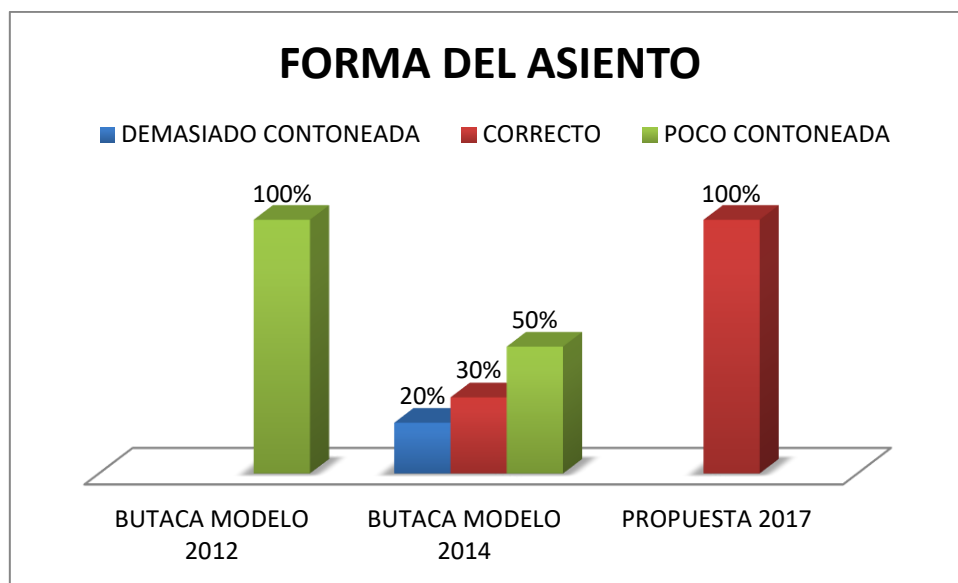


Figura 96. Forma del asiento

Imperfecciones en el asiento

Como se trata de modelos lisos laminados por vía húmeda no presentan imperfecciones que afecten la parte inferior del cuerpo del piloto. En la Figura 97 se muestra los resultados de las imperfecciones de la butaca.

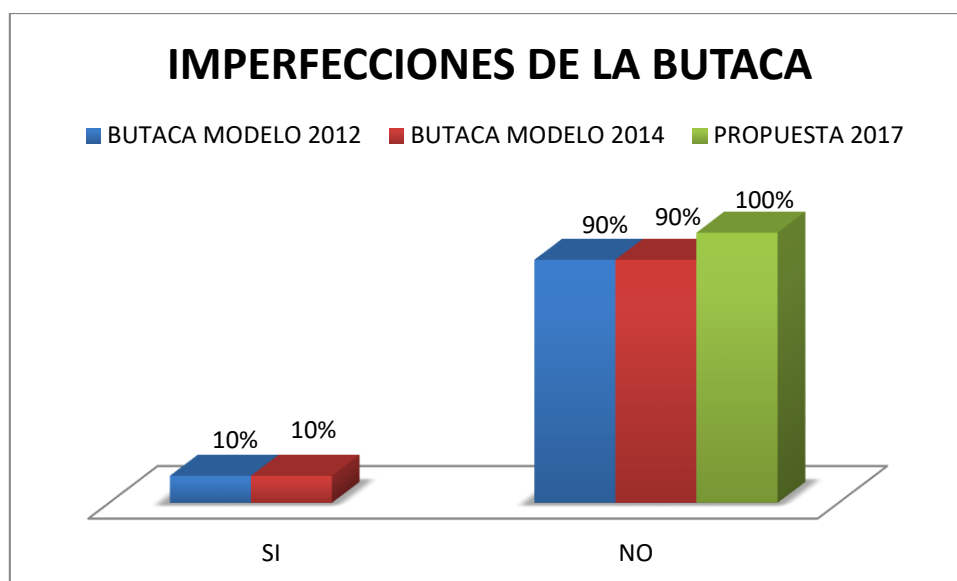


Figura 97. Imperfecciones de la butaca

Altura de borde superior e inferior del respaldo

Haciendo una comparación de modelos se saca la altura adecuada para el 80% de los encuestados, como se muestran en las Figuras 98 y 99.

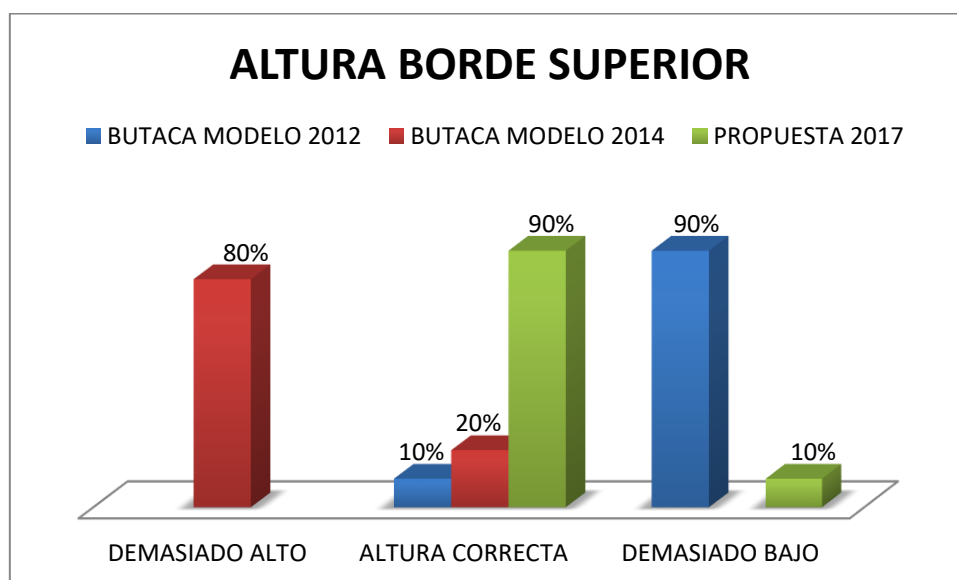


Figura 98. Altura de borde superior del respaldo

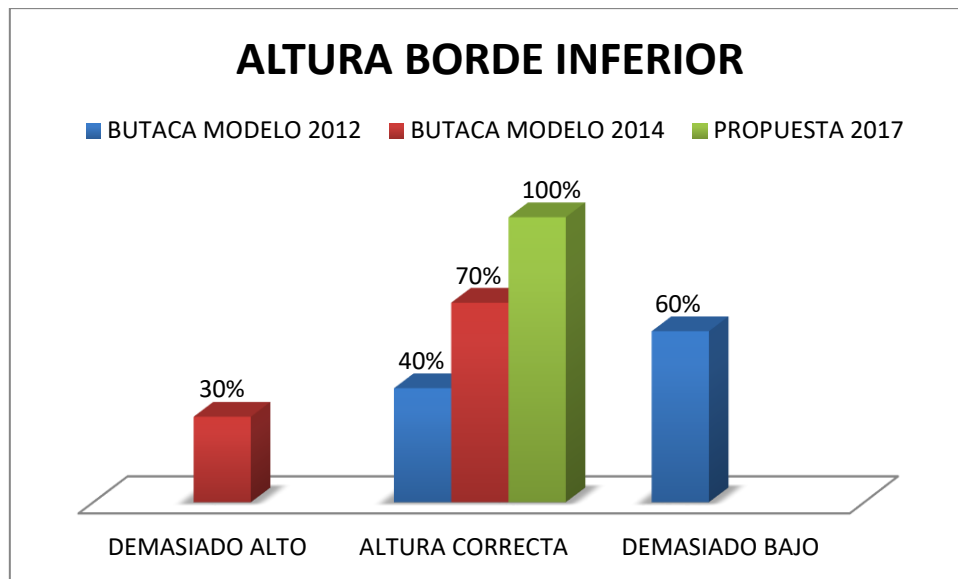


Figura 99. Altura de borde inferior del respaldo

Anchura del respaldo

Se tomo como patrón el modelo de butaca del 2014 ya que cuenta con más del 60% de aprobación por parte de los pilotos, como se muestra en la Figura 100.

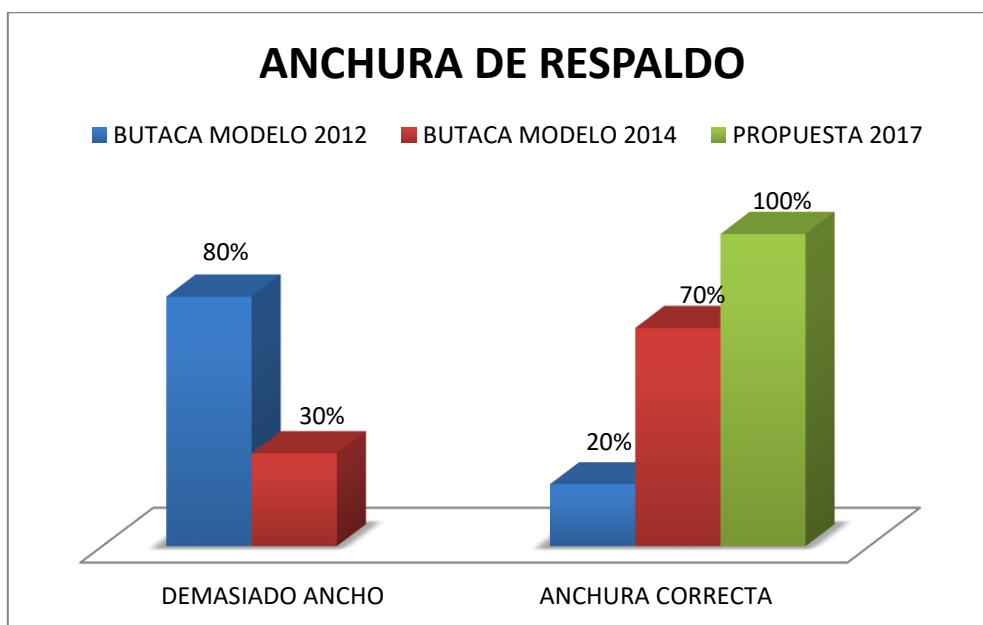


Figura 100. Anchura del respaldo

Inclinación del respaldo

La propuesta de butaca de esta investigación fue mejorada en la inclinación la comodidad de los pilotos. En la Figura 101 se tiene el resultado de mejorar la inclinación de la autoparte.

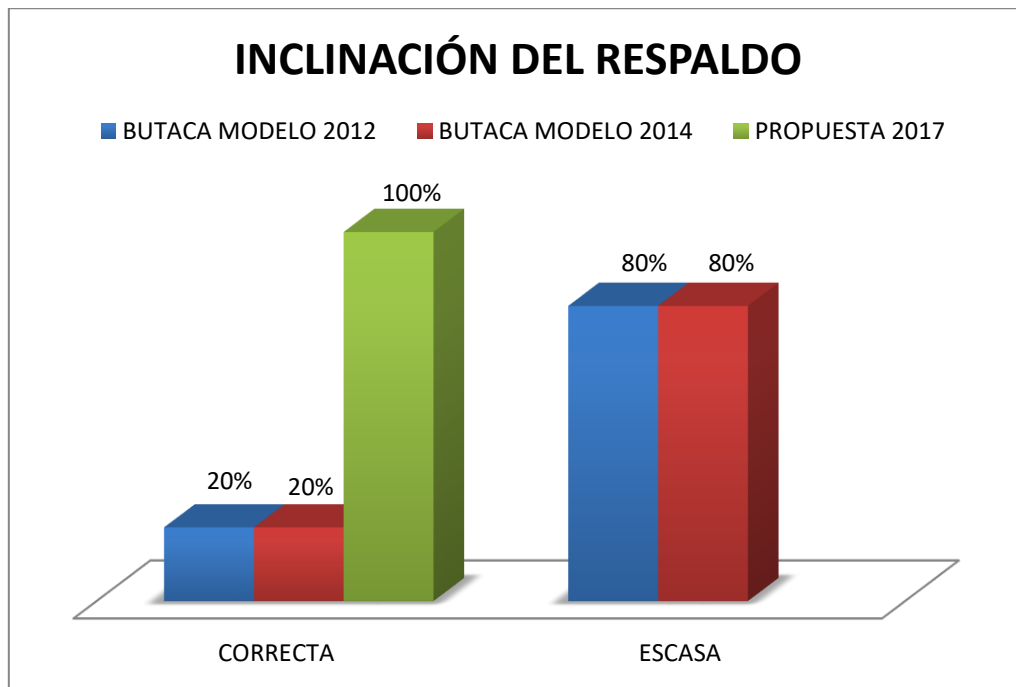


Figura 101. Inclinación del respaldo

Perfil vertical del respaldo

Se necesita dar mayor forma a la butaca según las medidas antropométricas de los pilotos participantes en la *Formula Student*. Los resultados se muestran en la Figura 102.

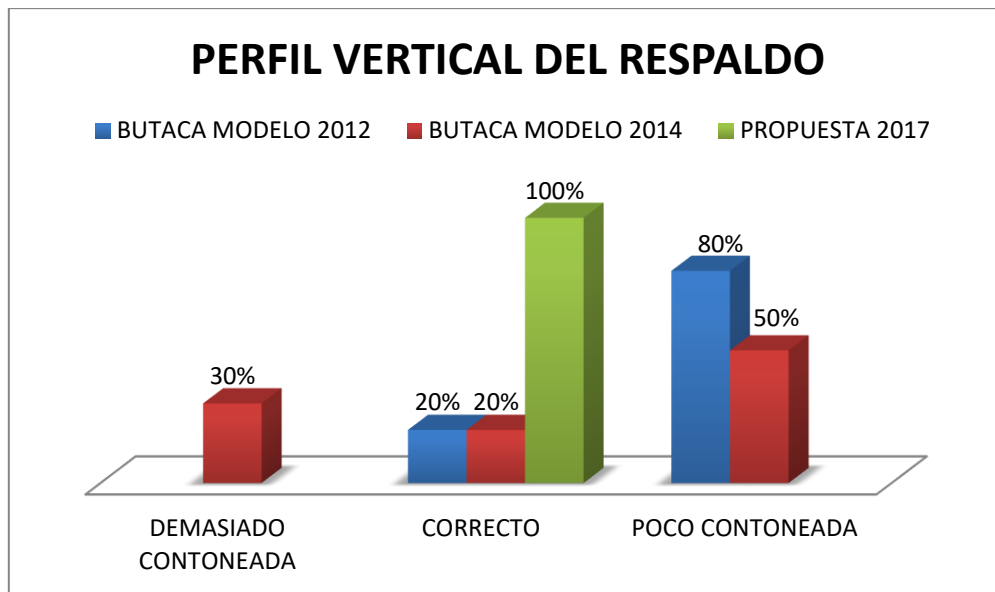


Figura 102. Perfil vertical del respaldo

Curvatura del respaldo

Se debe adecuar la curvatura según la posición ergonómica en competencia, es necesario la fabricación de una cabina con medidas reglamentarias de FSAE 2017 – 2018 para corregir la falla de la curvatura horizontal del espaldar. En la Figura 103 se muestra el resultado de la adecuación.

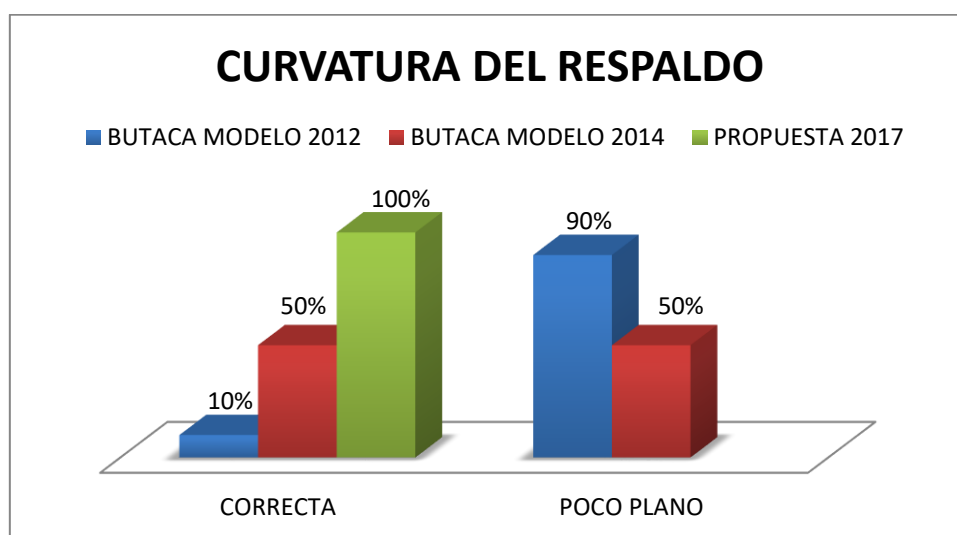


Figura 103. Curvatura del respaldo

Imperfecciones en el respaldo de la butaca

No presentan imperfecciones que afecten la espalda del cuerpo del piloto, puesto que se trata de superficies lisas que se deterioran con el tiempo. En la Figura 104 se muestra los resultados de las imperfecciones de la butaca.

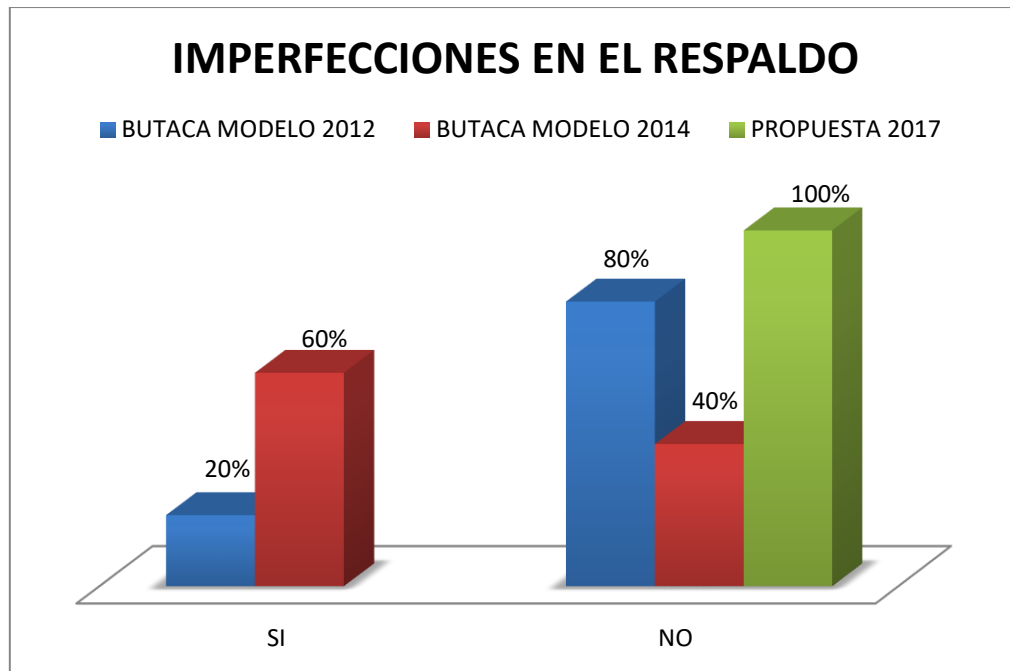


Figura 104. Imperfecciones en el respaldo de la butaca

Selección de pilotos

Al no contar con la cantidad de pilotos necesarios participantes en *Formula Student* para la muestra, se eligió pilotos que cuenten con la experiencia en conducción y que pasen un tiempo significativo sentados en una butaca de competencia para realizar la encuesta de evaluación subjetiva y objetiva de *confort*, la toma de medidas antropométricas y las medidas de confortabilidad mediante un medidor de fuerza digital.

Diseño de la butaca

Para iniciar el diseño se empleó el molde que reproduce el perfil del cuerpo piloto, en donde el conductor se sienta en espuma de poliuretano hasta que este solidifique simulando manualmente el movimiento normal de conducción, como se indica en la Figura 105.



Figura 105. Construcción del molde

Para el modelado de los modelos del 2012 y 2014 se realizó un escaneo 3D como se muestra en la Figura 106.

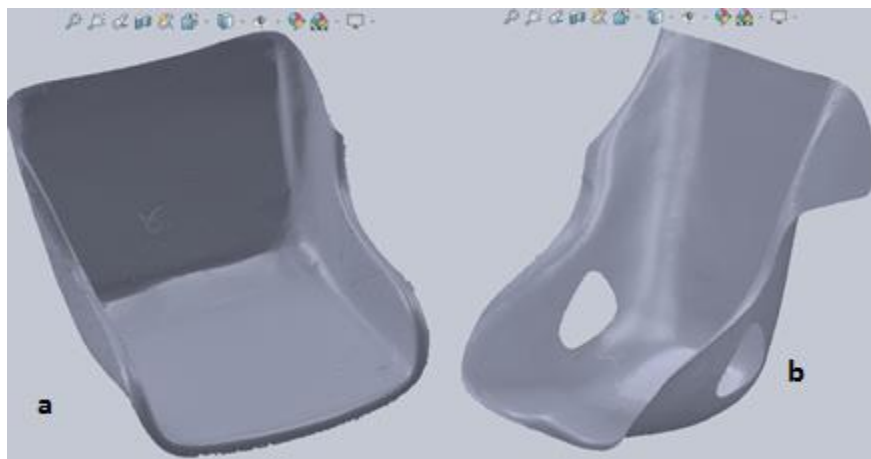


Figura 106. Modelos 2012 (a) y 2014 (b) para el diseño

La edición de la butaca se realizó en los programas Siemens NX 10 para la realización del respaldo, asiento y laterales de la butaca. Además, se utilizó SolidWorks 2017 donde se

ubicaron los detalles como soportes de pierna y casco para su posterior simulación. En la Figura 107 se nota el modelo de butaca terminado.

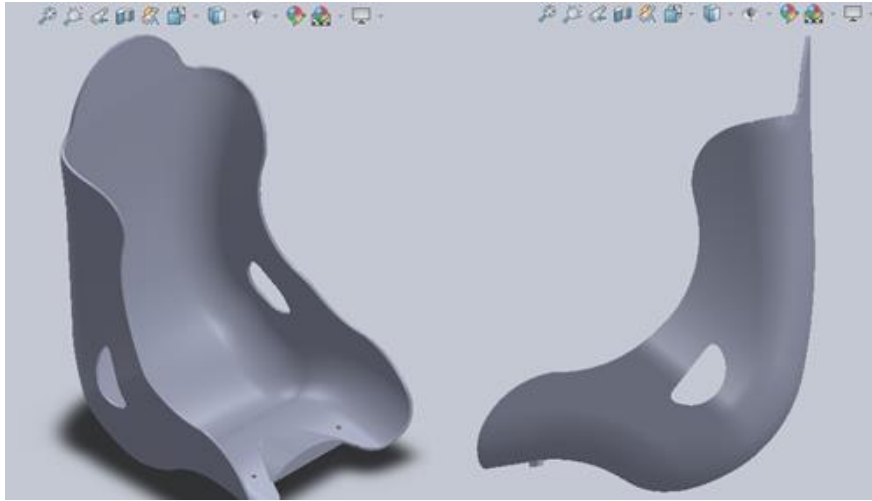


Figura 107. Diseño de la butaca realizado en SolidWorks

Los planos de los modelos 2012, 2014 y propuesta de diseño se muestran en el Anexo 5

Análisis por elementos finitos

La simulación se realizó en el programa ANSYS Workbench, empleando un análisis estructural para verificar el comportamiento estático de la butaca mediante condiciones de borde.

Las propiedades del tejido de fibra de vidrio laminada por vía húmeda fueron ingresadas mediante datos que se muestran en el Anexo 3. Adicionalmente, se ubicaron propiedades necesarias las cuales fueron descritas en la Tabla 4.

En la Tabla 10 se muestra los vales ingresados en el *Engineering Data* del programa ANSYS.

Tabla 10.

Propiedades de la fibra de vidrio

Propiedades	Unidad	Valores
Densidad	g/cm ³	2
Módulo de elasticidad longitudinal dirección 1	GPa	34
Módulo de elasticidad longitudinal dirección 2	GPa	2,9
Coeficiente de Poisson (v12)		0,32
Coeficiente de Poisson (v21)		0,02
Módulo de elasticidad transversal 1	GPa	3,8
Módulo de elasticidad transversal 2	GPa	3,8
Módulo de Young	GPa	103 - 310
Alargamiento en rotura	%	1,8 - 3,2
Tensión última	GPa	35 - 51

Se importa la butaca realizada en el programa SolidWorks 2017, en la geometría de ANSYS. En la Figura 108 se distingue la butaca para realizar el mallado.

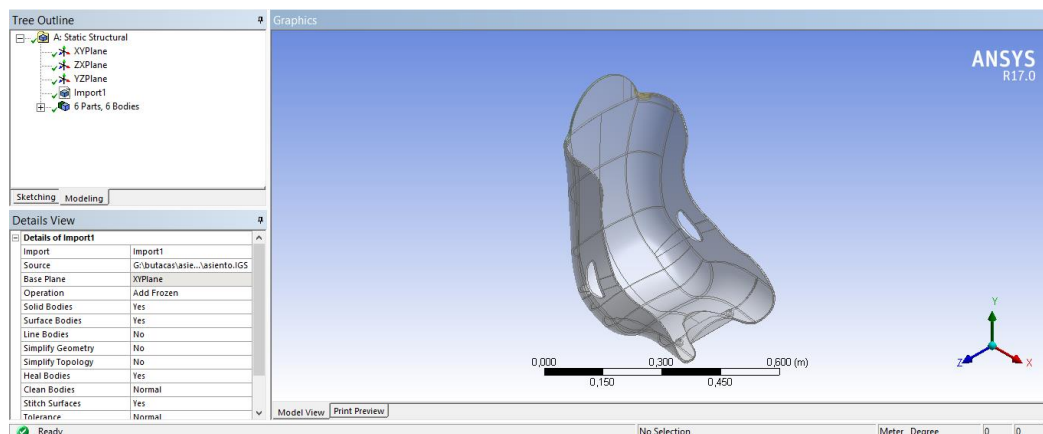


Figura 108. Geometría de la butaca en ANSYS

Mallado

Para el mallado se coloca una relevancia de uno, con transición lenta para verificar de mejor manera los resultados de simulación. Además, una malla tetraédrica fina con una

metodología de control *Sizing* tipo *curvature* y una transición *slow*. Todos estos parámetros ayudaran a la butaca en el análisis estático bajo cargas de competencia. En la Tabla 11 se observa las propiedades ubicadas en el mallado.

Tabla 11.

Detalle de malla en ANSYS

Detalle de malla	
Method	Tetrahedrons
Shape Checking	Standard mechanic
Size function	Curvature
Relevance Center	Fine
Initial size seed	Active assembly
Smoothing	High
Transition	Slow

La visualización del mallado se muestra en la Figura 109.

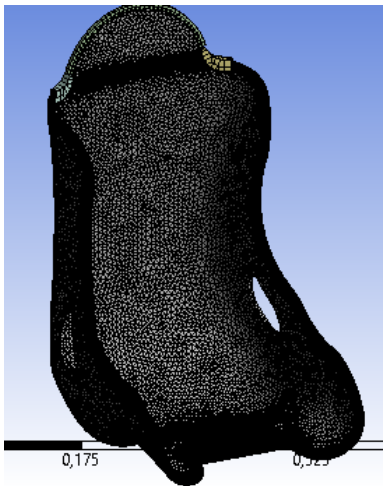


Figura 109. Mallado de la butaca en ANSYS

Fuerza de frenado

El automóvil arranca desde el reposo a 0,30 m de la línea de partida. En el circuito de resistencia el monoplaza alcanza la mayor velocidad posible (105 km/h), la misma que genera la mayor fuerza de frenado. En carrera el vehículo debe alcanzar los 77 m de recta de pista en 5,8 segundos.

$$f_f = m \times a \quad (4)$$

Dónde:

f_f = Fuerza de Frenado [N]

m = Masa del vehículo [kg]

a = Aceleración del vehículo [m/s^2]

La fuerza de frenado se aplica sobre el respaldo y el asiento en dirección contraria a la trayectoria del vehículo, como se muestra en la Figura 110.



Figura 110. Fuerza de frenado

Fuerza centrífuga sobre la butaca

La fuerza que provoca que el vehículo salga de la trayectoria en curvas se denomina fuerza centrífuga, que tiene un mayor valor en el circuito *Autocross*, con una velocidad

promedio de 48 km/h y un radio de curvatura de 23 m. La Ecuación muestra el procedimiento de cálculo de la fuerza centrífuga.

$$F_c = \frac{m \times v^2}{r} \quad (5)$$

Dónde:

F_c = Fuerza centrífuga [N]

m = Masa del piloto [kg]

v = velocidad del vehículo en curvas [m/s]

r = Radio de curva [m]

En el sistema de suspensión de un monoplaza de *Formula Student* poseen 2 grados de inclinación. Por esta razón, la fuerza centrífuga tendrá dos componentes. En las Ecuaciones se encuentran los valores en x e y.

$$F_{cx} = F_c \cos 2^\circ \quad (6)$$

$$F_{cy} = F_c \times \sin 2^\circ \quad (7)$$

Dónde:

F_{cx} = Fuerza centrífuga en la dirección de la trayectoria [N]

F_{cy} = Fuerza centrífuga perpendicular a la trayectoria [N]

La fuerza centrífuga debido al sistema de suspensión tiene dos componentes que se aplica en el respaldo y el asiento donde el piloto tiene contacto con la butaca, como se observa en la Figura 111.



Figura 111. Fuerza centrífuga

Peso del piloto sobre la butaca

Este se distribuye entre el asiento de la butaca y el espaldar, cuenta con dos componentes según el ángulo de colocación de la autoparte que experimentalmente es de 60 grados. En las ecuaciones se observan los componentes del peso entre el respaldo y el asiento de la butaca.

$$W_r = W \times \cos 60^\circ \quad (8)$$

$$W_a = W \times \sin 60^\circ \quad (9)$$

Dónde:

W_r = Peso del piloto en el respaldo de la butaca [N]

W_a = Peso del piloto sobre el asiento de la butaca [N]

W = Peso del piloto [N]

Para el cálculo del peso del piloto se necesita un factor de aceleración en pista, que, a su vez, experimentalmente es un número adimensional y equivale a 1,5. En la ecuación se indica el cálculo del peso del piloto.

$$W = m \times g \times k \quad (10)$$

Dónde:

m = masa del piloto [kg]

g = aceleración de la gravedad [$9,81 \text{ m/s}^2$]

k = factor de aceleración en pista [1,5]

el peso del piloto sobre la butaca se distribuye entre el respaldo y el asiento, como se muestra en la Figura 112.



Figura 112. Peso del piloto sobre la butaca

Presión del piloto sobre el respaldo de la butaca

Es la presión que ejerce el piloto sobre el respaldo de la butaca en competencia. En la Ecuación se muestra el parámetro de presión del piloto.

$$P_e = \frac{W_e}{A_e} \quad (11)$$

Dónde:

P_e = Presión del piloto sobre el respaldo de la butaca [Pa]

W_e = Peso del piloto en el respaldo [N]

A_e = Área del respaldo de la butaca [m²]

La presión del piloto se distribuye sobre el respaldo de la butaca como se indica en la Figura 113.



Figura 113. Presión del piloto sobre el respaldo de la butaca

Momentos de torsión por fuerza centrífuga

Son momentos provocados por la fuerza centrífuga sobre el piloto, empleando el centro de masa del piloto. Consta de dos componentes que son paralelo (X) y perpendicular (Y) a la trayectoria.

$$M_{Tx_{Fc}} = F_{cx} \times X \quad (12)$$

$$M_{Ty_{Fc}} = F_{cy} \times Y \quad (13)$$

Dónde:

$M_{Tx_{Fc}}$ = Momento de torsión paralelo a la trayectoria [N.m]

$M_{Ty_{Fc}}$ = Momento de torsión perpendicular a la trayectoria [N.m]

X, Y = centro de masa de la butaca y el piloto [m].

Los momentos se generan debido a las dos componentes de la fuerza centrífuga presentes en el respaldo y asiento de la butaca, como se muestran en la Figura 114.

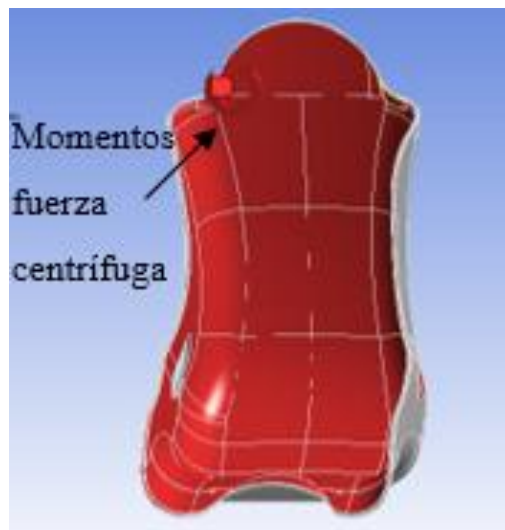


Figura 114. Momentos de torsión por fuerza centrífuga

Resultados

Resultados antropométricos

Se ejecutó la toma de datos con la normativa percentil de 95 % hombres y 5% mujeres. En la Tabla 12 se registran los resultados y parámetros principales de los pilotos.

Tabla 12.

Medidas antropométricas

DESCRIPCIÓN DE LA TOMA DE MEDIDA	PERCENTIL 95 M		PERCENTIL 5 F		MEDIA	
	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD
	1	2	1	2	1	2
PESO (masa corporal) [kg / Lb]	79,29	174,8	60,72	133,87	70,01	154,34
ESTATURA [cm / in]	185,93	73,2	158,38	62,35	172,16	67,78
ALTURA DE OJOS [cm / in]	175,73	69,19	149,26	58,76	162,5	63,97
ALTURA DE HOMBROS [cm / in]	152,69	60,11	134,61	53	143,65	56,56
ALTURA DE CODO [cm / in]	120,34	47,38	104,05	40,96	112,2	44,17
ALCANCE VERTICAL DEL ASIENTO [cm / in]	226,82	89,3	193,3	76,1	210,06	82,7
ALCANCE LATERAL DEL BRAZO [cm / in]	84,79	33,38	72,28	28,46	78,54	30,92
ALCANCE DEDO PULGAR [cm / in]	78,19	30,78	71,27	28,06	74,73	29,42
ALCANCE PUNTA MANO ESTENDIDA [cm / in]	87,75	34,55	78,52	30,91	83,14	32,73
ALCANCE DEL HOMBRO A LA PUNTA DE LA MANO [cm / in]	77,44	30,49	68,43	26,94	72,94	28,71
ALCANCE AL NACIMIENTO DE LOS DEDOS [cm / in]	63,6	25,04	59,73	23,52	61,67	24,28
DISTANCIA DEL HOMBRO A LA MUÑECA [cm / in]	53,67	21,13	52,73	20,76	53,2	20,94
DISTANCIA DEL HOMBRO AL CODO [cm / in]	29,88	11,76	25,91	10,2	27,9	10,98
DISTANCIA DEL CODO A LA PUNTA DE LA MANO [cm / in]	48,79	19,21	42,09	16,57	45,44	17,89

DESCRIPCIÓN DE LA TOMA DE MEDIDA	PERCENTIL 95 M		PERCENTIL 5 F		MEDIA	
	UNIDAD 1	UNIDAD 2	UNIDAD 1	UNIDAD 2	UNIDAD 1	UNIDAD 2
LARGO TOTAL DE LA MANO [cm / in]	20,41	8,04	17,03	6,7	18,72	7,37
LARGO DE LA PALMA DE LA MANO [cm / in]	11,23	4,42	9,99	3,93	10,61	4,18
DISTANCIA DE LOS DEDOS [cm / in]	11,72	4,61	11,07	4,36	11,4	4,49
ANCHO DE LA MANO CON PULGAR [cm / in]	12,62	4,97	9,03	3,56	10,83	4,26
ANCHO DE LA MANO SIN PULGAR [cm / in]	10,23	4,03	7,54	2,97	8,89	3,5
GROSOR DE LA MANO [cm / in]	3,78	1,49	3,04	1,2	3,41	1,34
PROFUNDIDAD MÁXIMA DEL CUERPO [cm / in]	25,79	10,15	27,94	11	26,87	10,58
ANCHURA MÁXIMA DEL CUERPO [cm / in]	45,87	18,06	46,39	18,26	46,13	18,16
ANCHURA DE HOMBROS [cm / in]	45,08	17,75	35,81	14,1	40,45	15,92
ANCHURA DE CODO A CODO [cm / in]	52,3	20,59	44,71	17,6	48,51	19,1
ANCHURA DE CADERAS [cm / in]	37,65	14,82	38,99	15,35	38,32	15,09
ALTURA EN POSICIÓN SEDENTE NORMAL [cm / in]	95,09	37,44	79,62	31,35	87,36	34,39
ALTURA EN POSICIÓN SEDENTE ERGUIDA [cm / in]	97,68	38,46	80,28	31,61	88,98	35,03
ALTURA DE OJO EN POSICIÓN SEDENTE [cm / in]	80,71	31,78	69,02	27,17	74,87	29,47
ALTURA DE HOMBROS EN POSICIÓN SEDENTE [cm / in]	62,71	24,69	57,4	22,6	60,06	23,64
ALCANCE VERTICAL EN POSICIÓN SEDENTE [cm / in]	144,09	56,73	125,82	49,54	134,96	53,13
ALTURA DE CODO EN REPOSOS DESDE EL ASIENTO [cm / in]	27,69	10,9	25,32	9,97	26,51	10,44
ANCHURA DE MUSLO [cm / in]	15,89	6,26	16,42	6,46	16,16	6,36
ALTURA DE RODILLA [cm / in]	58,09	22,87	51,51	20,28	54,8	21,57
ALTURA POPÍTEA [cm / in]	49,95	19,67	42,38	16,69	46,17	18,18
DISTANCIA SACRO (NALGA) A LA FOSA POPLÍTEA [cm / in]	52,38	20,62	53	20,87	52,69	20,74
DISTANCIA SACRO (NALGA) A LA RODILLA [cm / in]	64,38	25,35	58,61	23,07	61,5	24,21
DISTANCIA SACRO (NALGA) A LA PUNTA DEL PIE [cm / in]	81,74	32,18	73,82	29,06	77,78	30,62
DISTANCIA SACRO (NALGA) AL TALÓN [cm / in]	116,97	46,05	102,28	40,27	109,63	43,16

Los datos obtenidos se presentan en dos unidades de medida, en el sistema internacional (Unidad 1) e inglés (Unidad 2) respectivamente. Para realizar un diseño que

toma en consideración medidas antropométricas, se realiza un análisis estadístico que ofrece valores permisibles para una población de pilotos ecuatorianos participantes en competencias de automovilismo o para la fabricación de autopartes donde se tenga la incidencia directa de un conductor.

Se pueden mejorar las características ergonómicas de butacas bajo parámetros antropométricos ecuatorianos y obtener un mayor *comfort* a pilotos durante la conducción. Con estos parámetros los equipos ecuatorianos pueden realizar mejoras en butacas para futuras competencias, puesto que los resultados son para percentiles normalizados por la *Formula Student*.

Comparación de las medidas tomadas en Estados Unidos y Ecuatorianas

Las medidas obtenidas en esta investigación son tomadas de 10 pilotos ecuatorianos participantes en *Formula Student* bajo un percentil de P95 en hombres y P5 en mujeres. En la Tabla 13 se registra la comparación entre las medidas de los Estados Unidos y ecuatorianas.

Tabla 13.

Comparación de medidas EE. UU. y ecuatorianas

	Medidas EE. UU.				Medidas Ecuador			
	P95 Hombres		P5 Mujeres		P95 Hombres		P5 Mujeres	
	cm	in	cm	in	cm	in	cm	in
A	91,9	36,2	68,1	25,8	94,66	37,27	70,86	26,87
B	120,1	47,3	98	38,6	120,34	47,38	104,05	40,96
C	174,2	68,6	143	56,3	175,73	69,19	149,26	58,76
D	52,6	20,7	37,8	14,9	45,08	17,75	35,81	14,1
E	69,3	27,3	53,8	21,2	62,71	24,69	57,4	22,6
F	94	37	58,6	27	81,74	32,18	73,82	29,06
G	86,1	33,9	71,4	28,1	80,71	31,78	69,02	27,17

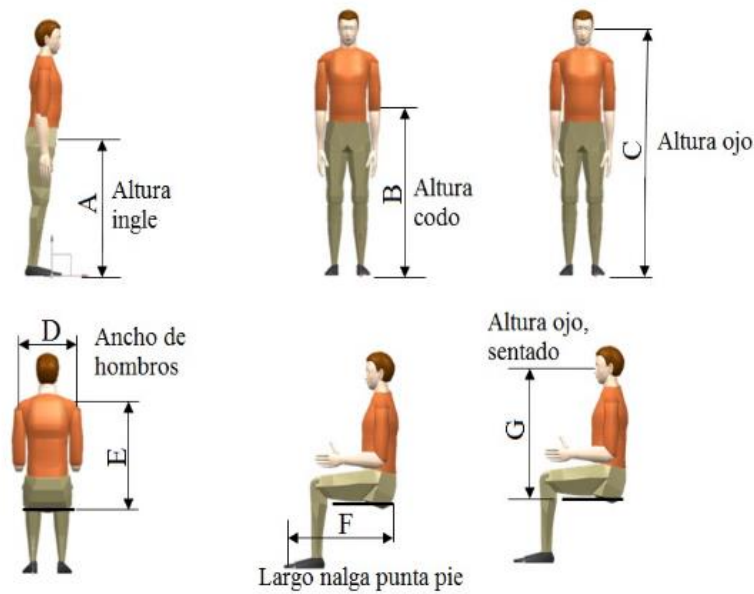


Figura 115. Medidas antropométricas

Los parámetros de comparación de datos de Estados Unidos y ecuatorianos para el dimensionamiento de la butaca se muestran en la Figura 115. La diferencia más significativa en el percentil masculino se observa en el parámetro largo de nalga a punta del pie (F) con un valor de 12,24 cm. A su vez, el dato con menos discrepancia es la altura de la ingle (A) con 0,24 cm.

En el caso del percentil para las mujeres el valor con mayor variación es 15,22 cm que pertenece al largo de nalga a punta de pie (F). En cambio, la diferencia menor se da en el ancho de los hombros (D) con 1,99 cm.

Medidas ergonómicas

Para la obtención de las medidas se pidió a los pilotos que tomen la posición ergonómica de conducción, como se indica en la Figura 116.



Figura 116. Posición ergonómica de conducción

Se procedió a la toma de datos antropométricos que incluya las siguientes distancias y ángulos ergonómicos. En la Tabla 14 se registran las medidas con un percentil del 95% - 5%

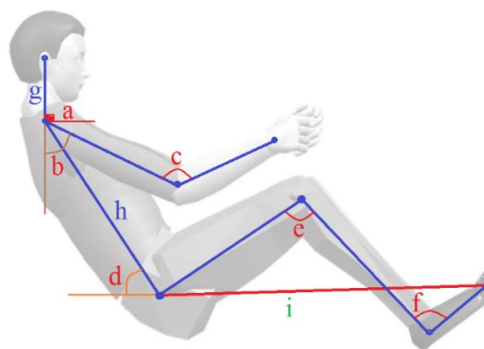


Tabla 14.

Medidas ergonómicas

DESCRIPCIÓN DE LA TMA DE MEDIDA	PERCENTIL 95		PERCENTIL 5		MEDIA	
	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD	UNIDAD
	1	2	1	2	1	2
g: HOMBRO A CENTRO DE CABEZA [cm / in]	19,98	7,87	13,88	5,46	16,93	6,67
h: HOMBRO A CADERA [cm / in]	43,69	17,20	38,35	15,10	41,02	16,15
i: CADERA A PIE [cm / in]	109,73	43,20	90,95	35,81	100,34	39,50

La media aritmética de las medidas obtenidas brinda la capacidad de diseñar autopartes más cómodas para pilotos participantes en competencias automovilísticas, para fabricar componentes regulables en una posición óptima de conducción y obtener menos distracción por agotamiento físico.

Para la fabricación del prototipo de butaca se utiliza percentiles P95 en hombres y P5 en mujeres como se indican en la Figuras 117 y 118.



Figura 117. Percentiles P95 en hombres

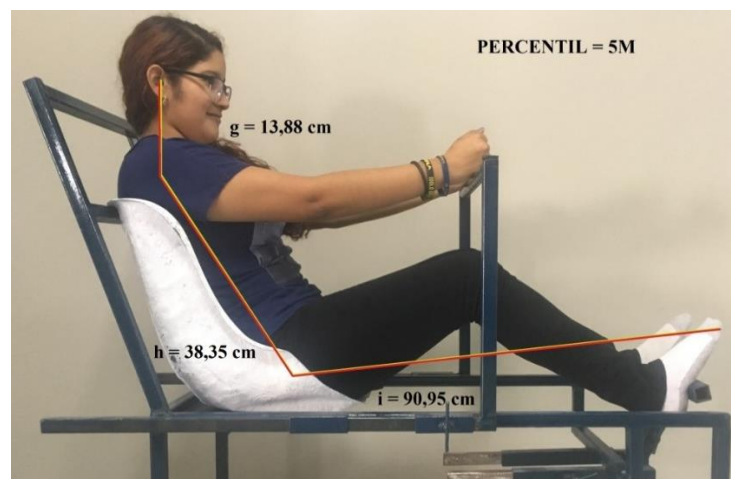


Figura 118. Percentiles P5 en mujeres

Comparación de datos ergonómicos.

En la Tabla 15 se muestra la comparación entre los datos obtenidos con los de la *Formula Student*

Tabla 15.

Comparación de datos ergonómicos

DESCRIPCIÓN DE LA TMA DE MEDIDA	P95 Hombres	P5 Mujeres	MEDIA	
			Estudio	<i>Formula Student</i>
g: HOMBRO A CENTRO DE CABEZA [cm]	19,98	13,88	16,93	28
h: HOMBRO A CADERA [cm]	43,69	38,35	41,02	49
i: CADERA A PIE [cm]	109,73	90,95	100,34	91,5

La distancia de hombro a centro de cabeza tiene una mayor diferencia con los valores promedio obtenidos en esta investigación con un valor de 11,07 cm. En cambio, el parámetro de hombro a cadera (h) es el menor ya que tiene un valor de 7,98 cm.

Resultados de confortabilidad del piloto

Cada punto se encuentra distribuido por el respaldo y el asiento de la butaca como se mostró en la Figura 58. Además, se realizó un promedio de los valores obtenidos en el ensayo de confortabilidad en los modelos del 2012 y 2014. En la Tabla 16 se registran los datos promedio obtenidos de la toma de presión con el medidor digital.

Tabla 16.

Toma de datos de confortabilidad en el respaldo y asiento

TOMA DE DATOS DE CONFORTABILIDAD DE RESPALDO Y ASIENTO

9,4 N	12,4 N	13,65 N	9,95 N	11,2 N
7,45 N	9,75 N	12,1 N	8,95 N	9,58 N
7,5 N	10,75 N	12,8 N	10,95 N	7 N
12,1 N	12,2 N	13,05 N	11,15 N	14,2 N
20,85 N	36,3 N	36,4 N	26,45 N	
18 N	21 N	19,55 N	22,2 N	
18 N	17,7 N	21,7 N	19,85 N	

De los resultados obtenidos se obtuvo un modelo que siga el perfil del piloto para que exista mayor confortabilidad en la conducción del vehículo. En la Figura 119 se muestra el modelo con el perfil del conductor fabricado en poliuretano con un corte transversal para verificar su amoldamiento al cuerpo.



Figura 119. Perfil de modelo de butaca

Resultados de cálculos para fuerzas que sufre la butaca en competencia

Los resultados se emplean para la simulación de los modelos 2012, 2014 y propuesta de butaca final en el programa Ansys.

Condiciones de borde

Según la cabina de *Formula Student* de la Figura 76 las condiciones estáticas se colocan en los puntos de anclaje de la butaca con el chasis. Además, con la adecuación de los cinturones de seguridad se garantiza que el piloto y el asiento no se muevan cuando se encuentre en carrera. En la Figura 120 se muestra los puntos de contacto del vehículo y la autoparte en los tres modelos de butaca.

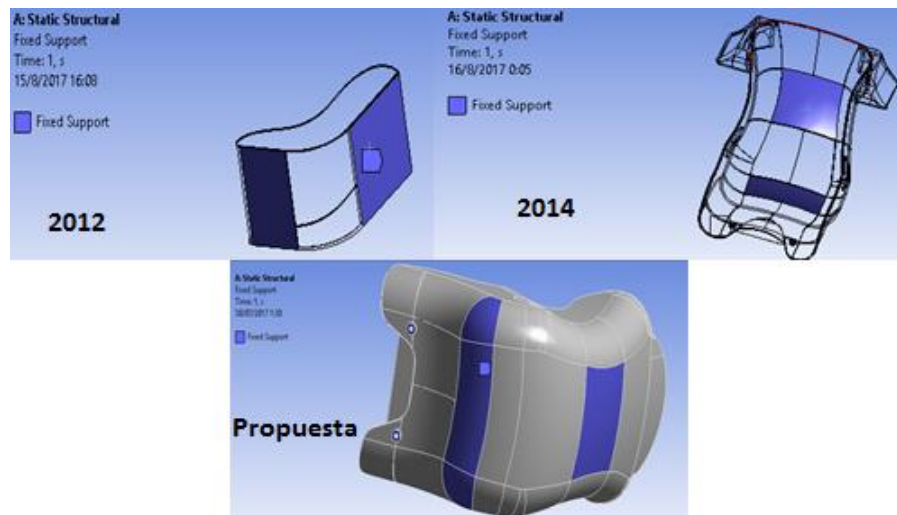


Figura 120. Condiciones de borde en los modelos 2012, 2014 y propuesta final

Fuerza de frenado

La dirección es contraria a la trayectoria y según la Ecuación 4 se inserta el mayor valor de la fuerza de frenado, que alcanza el monoplaza en el circuito de resistencia. En la Figura 121 se ingresa el valor en el modelo de Ansys para los tres modelos.

$$f_f = 1867,32 \text{ [N]}$$

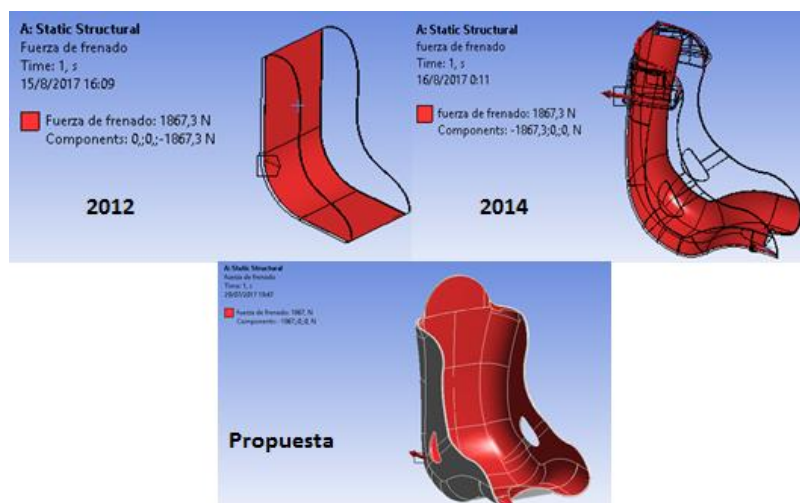


Figura 121. Fuerza de frenado

Fuerza centrífuga

Para insertar los valores de la fuerza centrífuga en el programa se considera lo siguiente: es perpendicular a la trayectoria y tiene componentes debido al sistema de suspensión. El circuito que presenta un mayor radio de curvatura es el *autocross* con 23 m. Los componentes de la fuerza centrífuga son:

$$F_{cx} = 585,01 \text{ [N]}$$

$$F_{cy} = 20,43 \text{ [N]}$$

En la Figura 122 se muestra la carga en el programa ANSYS.



Figura 122. Fuerza centrífuga

Peso del asiento

Según los cálculos tomando en cuenta las Ecuaciones 8 y 9 se obtiene el peso del piloto en el respaldo y en el asiento para ingresar sus magnitudes en el programa, como se indica en la Figura 123.

$$W_r = 557,48 [N]$$

$$W_a = 965,58 [N]$$

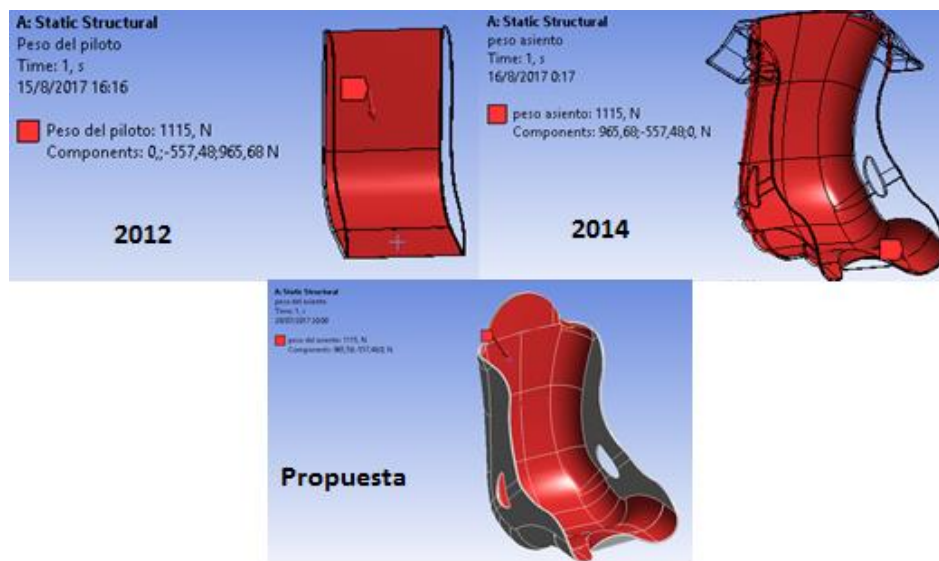


Figura 123. Peso del asiento

Presión del piloto sobre el respaldo de la butaca

La presión que el piloto ejerce sobre el respaldo bajo fuerzas de frenado y centrifuga en curvas en competencia se calcula mediante la Ecuación 11, como se indica en la Figura 124.

$$P_e = 1326,16 [Pa]$$

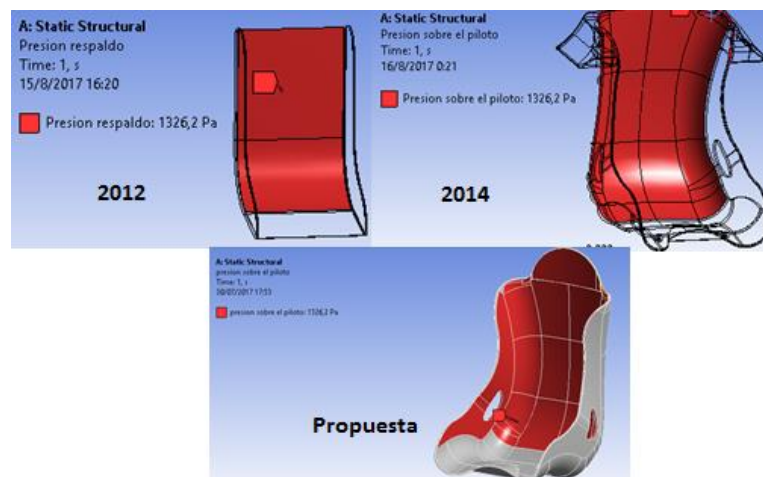


Figura 124. Presión del piloto sobre el respaldo

Momento debido a la fuerza centrífuga

En la Figura 125 se muestra la programación de los momentos generados por la fuerza centrífuga calculados mediante las Ecuaciones 12 y 13.

$$M_{T_{x_{FC}}} = 286,65 \text{ [N.m]}$$

$$M_{T_{y_{FC}}} = 7,55 \text{ [N.m]}$$

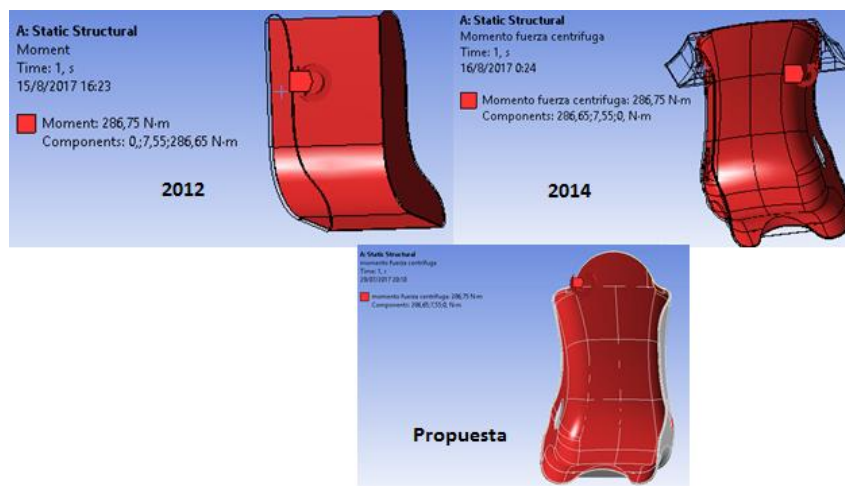


Figura 125. Momento de la fuerza centrífuga

Análisis y discusión de resultados

Los sistemas de validación de la butaca son por medio de encuestas, medición de confortabilidad por medidores digitales de presión, diseño y simulación del modelo y construcción de un prototipo.

Encuestas de evaluación subjetiva y objetiva

La propuesta de butaca que se realizó en esta investigación es superior a los modelos realizados en el 2012 y 2014 porque toma en consideración datos antropométricos, posiciones

ergonómicas y perfil del piloto mejorando de esta manera el diseño partiendo de un modelo de perfil de pilotos y realizando un análisis estadístico.

La propuesta es 70% más cómoda que los modelos anteriores. A su vez, para el 30% de los pilotos encuestado la butaca es muy cómoda. En la Figura 126 se muestra la consideración de la butaca de forma general en comparación a modelos construidos.

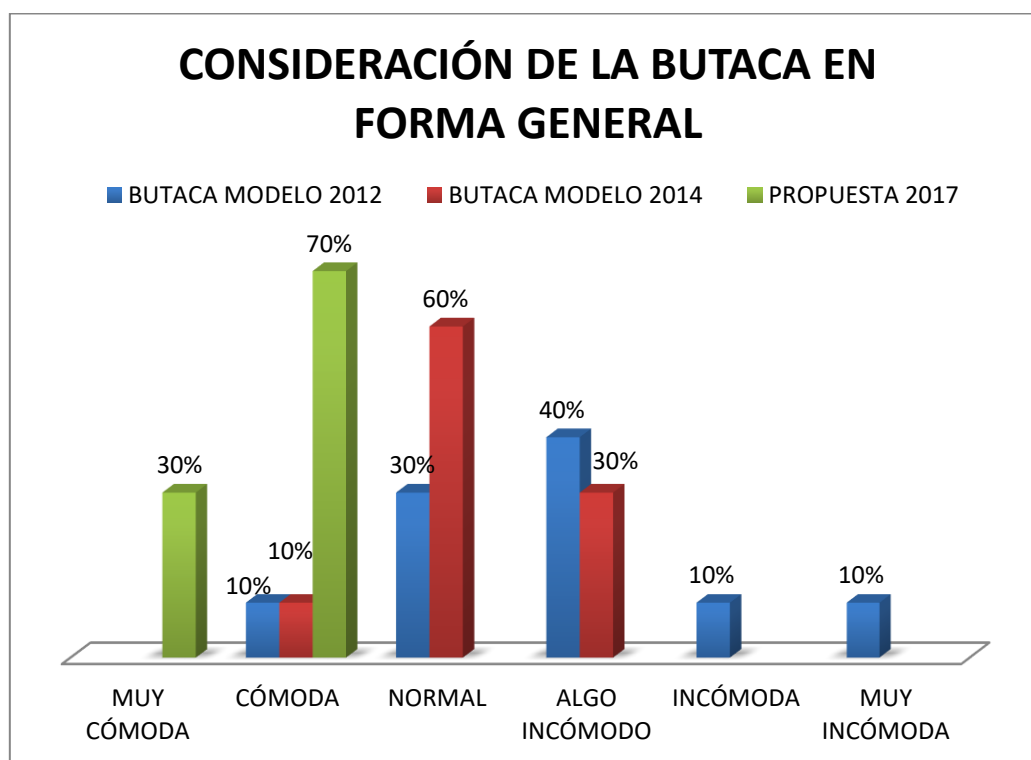


Figura 126. Consideración de la butaca en forma general

Resultados de la butaca con medidas antropométricas

Para el desarrollo de la butaca con medidas antropométricas para pilotos ecuatorianos bajo un percentil P95 en hombres y P5 en mujeres según la norma FSAE 2017 – 2018 en competencias de *Formula Student*, se emplean los principales resultados antropométricos cuando el piloto se encuentra en posición sedente (sentado), los mismos que se encuentran en la Tabla 17.

Tabla 17.

Resultados antropométricos en posición sedente

DESCRIPCIÓN DE LA TOMA DE MEDIDA	Unidad de medida	P95	P5	Promedio
		Hombres	Mujeres	
PESO (masa corporal)	kg	79,29	60,72	70,01
ESTATURA	cm	185,93	158,38	172,16
ANCHURA DE HOMBROS	cm	45,08	35,81	40,45
ALTURA EN POSICIÓN SEDENTE NORMAL	cm	95,09	79,62	87,36
ALTURA DE HOMBROS EN POSICIÓN SEDENTE	cm	62,71	57,4	60,06
ALTURA DE CODO EN REPOSOS DESDE EL ASIENTO	cm	27,69	25,32	26,51
ANCHURA DE MUSLO [cm / in]	cm	15,89	16,42	16,16
DISTANCIA SACRO (NALGA) A LA RODILLA	cm	64,38	58,61	61,5

El prototipo de butaca con las consideraciones antropométricas promedio que se ajustan a la competición requiere un modelo de asiento y respaldo para pilotos de 70 kg de peso y una estatura promedio de 172 cm. Adicionalmente, no debe exceder una anchura de hombros de 40 cm y una anchura de muslo de 16 cm, ya que no se acoplaría a la propuesta de butaca.

Ensayo de confortabilidad

En el ensayo de confortabilidad se tomaron datos con el medidor de presión digital en el respaldo y el asiento. En la Figura 127 se muestran los valores obtenidos en la medida.

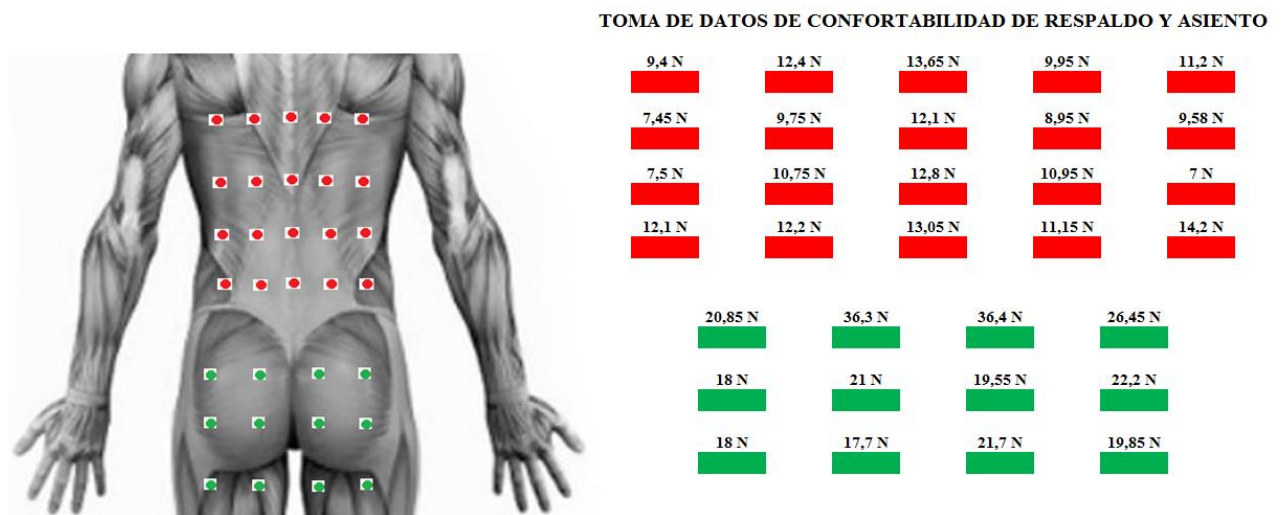


Figura 127. Toma de datos de confort en respaldo y asiento

En el respaldo de la butaca la zona que soporto menor presión es el área dorsal, en donde se obtuvo valores de 7 [N] como mínimo y 9,58 [N] máximo. Por lo que, es la zona que se cansa más rápido en competencia.

En el asiento de la butaca la zona de los glúteos que se unen a la pierna en la parte externa se alcanzan valores de 18 [N] como mínimo y 26,45 [N] como máximo, esta superficie debe permanecer en contacto más tiempo con la butaca, siendo necesario un amoldamiento correcto que no canse al piloto en conducción.

Simulación de los modelos 2012, 2014 y propuesta de la butaca

Al realizar el análisis estructural bajo cargas ideales de competencia como son la fuerza de frenado, centrífuga, peso combinado (butaca y piloto), presión ejercida al conductor, etc. Se obtienen diagramas de deformación que ayudan a la construcción de la autoparte comparándolas con los resultados de los otros modelos y viendo si es aplicable en *Formula Student*.

Diagrama de deformación total

La deformación máxima obtenida en la simulación por análisis estructural en el modelo del 2012 es 0.9 mm, un factor que incide es la forma plana del modelo sin el perfil de piloto. al no estar en contacto el piloto con la butaca no existe mayor deformación. Sin embargo, es muy incómodo en competencia. en la Figura 128 se muestra la deformación del modelo 2012

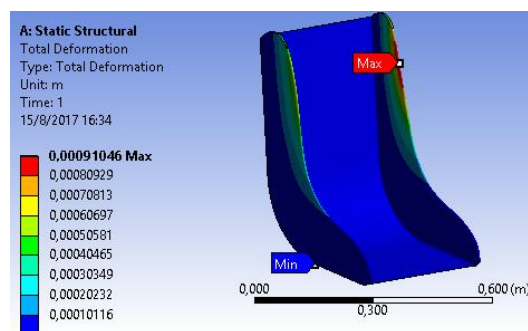


Figura 128. Diagrama de deformación total modelo 2012

La deformación máxima para la butaca del 2014 se presenta en las salientes de la butaca, al no tener una forma ergonómica se presentan concentradores de esfuerzo que pueden iniciar un punto de inicio de falla. El valor máximo de deformación es 1,79 mm como se muestra en la Figura 129.

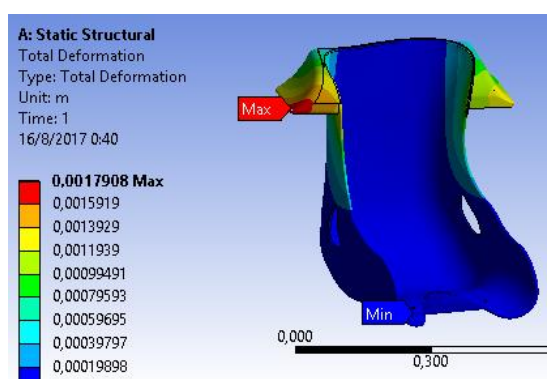


Figura 129. Deformación máxima total del modelo 2014

La deformación total en la propuesta de diseño es de 1,2 mm, que está ubicada en la zona de contacto del hombro del piloto y la butaca, como muestra la Figura 130. Por lo tanto, la rigidez y el espesor de la autoparte es aceptable teóricamente sin concentradores de esfuerzos.

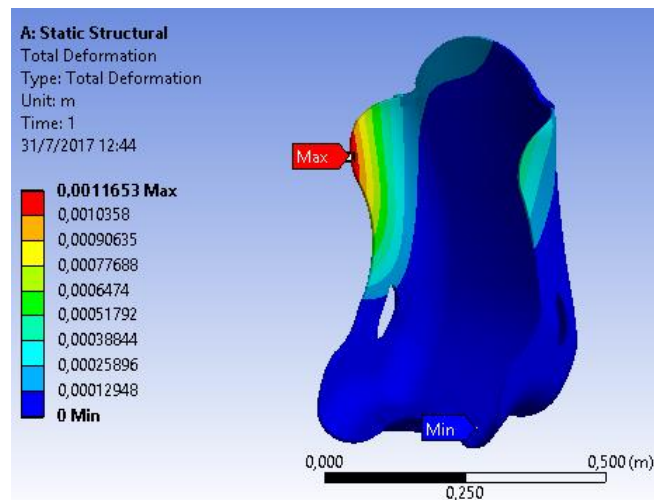


Figura 130. Deformación total en la propuesta de butaca

Diagrama de esfuerzos de *VON-MISES*

El esfuerzo de Von Mises se emplea para la validación del diseño, es decir para evaluar las condiciones de borde asignada a la butaca.

El esfuerzo máximo de tensión en el modelo del 2012 es 5,99 MPa, que se encuentra ubicado en la parte superior derecha de la butaca como se indica en la Figura 131.

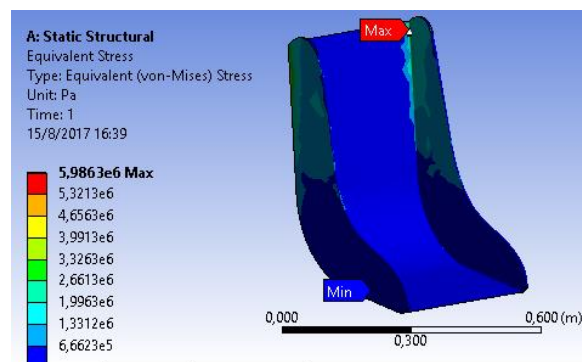


Figura 131. Esfuerzo máximo de tensión en modelo 2012

En el modelo de butaca del 2014 el esfuerzo de Von Mises es igual a 11,04 MPa, el mismo que se encuentra ubicado en el punto de contacto del casco del piloto y la butaca como se observa en la Figura 132.

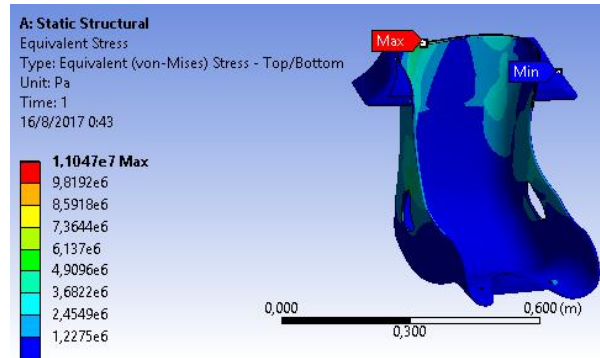


Figura 132. Esfuerzo máximo de tensión en modelo 2014

El esfuerzo máximo de tensión es 15,42 MPa, está situado en la unión de los hombros y el casco, como se indica en la Figura 133. Es así como la butaca soporta con las condiciones de borde curvas para monoplazas de competición.

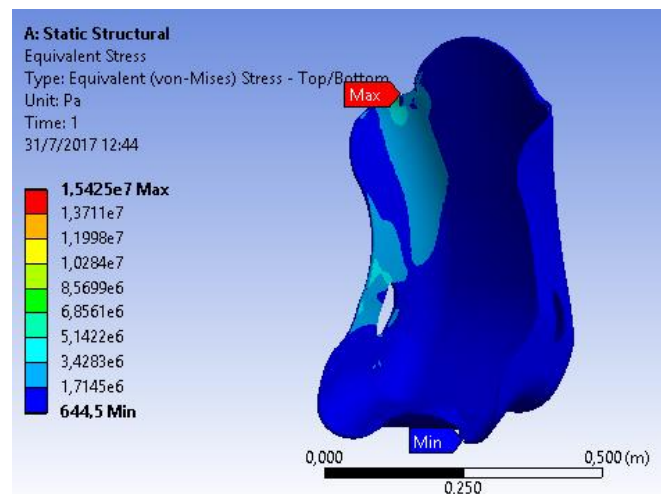


Figura 133. Diagrama de esfuerzos de Von Mises en la propuesta de butaca

La propuesta de butaca muestra un esfuerzo máximo mayor al de las otras butacas, el mismo que sufrirá mayor deformación en curvas bajo condiciones de borde en curvas con mayor radio de curvatura. El valor 15 MPa es aceptable en competencias de *Formula Student*, puesto que el valor no es muy significativo en carrera.

Diagrama de esfuerzo máximo

Este diagrama ofrece valores del límite de fluencia del material compuesto reforzado con fibra de vidrio.

En el modelo de butaca del 2012 se alcanza un esfuerzo máximo de 6,06 MPa, el cual se encuentra ubicado en la parte superior izquierda como se muestra en la Figura 134.

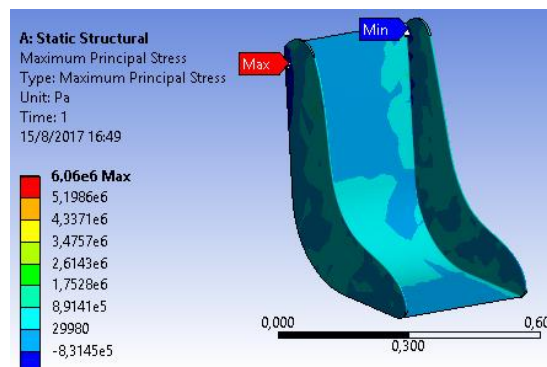


Figura 134. Diagrama de esfuerzo máximo en el modelo 2012

Para el modelo del 2014 el valor del esfuerzo máximo principal es 12,62 MPa ubicado en la unión de la saliente con la butaca, como se observa en la Figura 135.

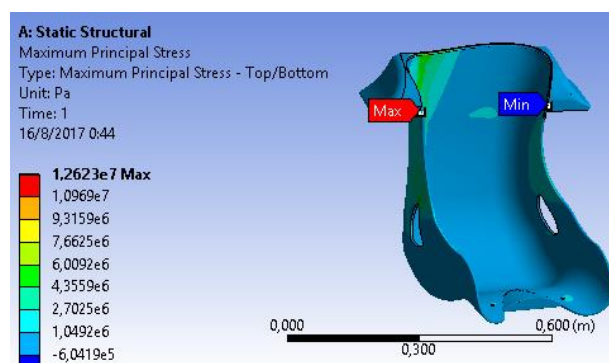


Figura 135. Esfuerzo máximo de tensión en modelo 2014

El esfuerzo máximo alcanzado es 15,52 MPa que se encuentra en la unión de los hombros del conductor y el casco, como se muestra en la Figura 136.

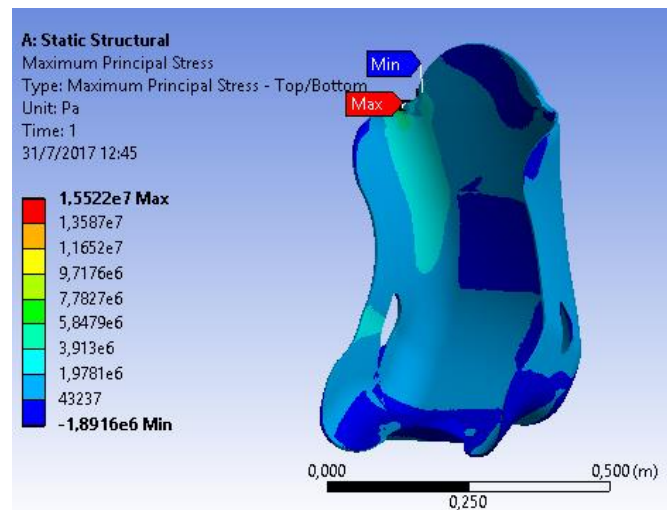


Figura 136. Diagrama de esfuerzo máximo

Al no ser valores de esfuerzo muy significativo en competencia la propuesta de butaca cumple bajo condiciones de carrera máximas con los parámetros de comodidad para competencias.

Construcción del prototipo

El prototipo de butaca se validó mediante encuestas de juicio objetivo y subjetivo a pilotos, que aprobaron su utilización en vehículos participantes en *Formula Student*, en donde se verificó su comodidad en pilotos ecuatorianos. En comparación a modelos anteriores, se tomó en cuenta posiciones ergonómicas mediante la construcción de una cabina de tubo cuadrado que favorece a la toma de datos. Además, se trabajó con percentiles P95 en hombres y P5 en mujeres según la norma FSAE 2017 – 2018 (Anexo 4). El diseño centrado en el usuario favoreció a la toma de perfiles de los pilotos y mediante un escáner 3D diseñar un modelo que favorezca a la aplicación de cargas de competencia y así confirmar su resistencia bajo condiciones de carrera, reduciendo tiempo en el diseño y costos por construcción del prototipo de butaca. En la Figura 137 se muestra la butaca final tapizada para reducir el parámetro de incomodidad por dureza del material.



Figura 137. Butaca final

Conclusiones

Gracias a esta investigación se realizó la construcción de una propuesta de diseño de butaca con un método centrado en el usuario, bajo un percentil P95 en hombres y P5 en mujeres y mediante parámetros ergonómicos de conducción. Es decir, para pilotos con un peso promedio de 75,77 kg y 1,73 m de altura pertenecientes a equipos participantes en *Formula Student*.

La evaluación de la geometría en butacas empleadas por equipos ecuatorianos en 2012 y 2014 se realizó mediante encuestas de valoración objetiva y subjetiva a pilotos, dando como resultado un valor promedio de 4,5 sobre 10. Aquí las características más importantes son la geometría, comodidad, inclinación, incomodidad en el piloto y correcta sujeción de la autoparte. Bajo estos parámetros la propuesta alcanzó un valor promedio de 8 sobre 10 concluyendo la aplicabilidad de la butaca para competencias de *Formula Student*.

La butaca debe soportar en el respaldo una fuerza ejercida de 7 [N] como valor mínimo y 13,65 N en el área del trapecio como máximo para que el piloto pueda desempeñarse en pista sin sentirse incómodo. Al mismo tiempo, el asiento en la zona de los glúteos alcanza un valor de 18 [N] como mínimo y 36,4 [N] como máximo, siendo necesario un amoldamiento correcto que no canse al piloto en conducción.

Se realizó una simulación de fuerzas de competencia como fuerza de frenado, centrífuga, peso (butaca y piloto), presión del conductor en pista y momentos generados por la fuerza centrífuga y frenado en el programa ANSYS 17. Los valores obtenidos por deformación máxima en los modelos son 0,9 mm (2012), 1,8 mm (2014) y 1,2 mm (propuesta). Además, un esfuerzo de tensión máximo de 5,99 MPa (2012), 11,04 MPa (2014) y 15,42 MPa (Propuesta). Finalmente, una deformación máxima de 6,06 MPa (2012), 12,62 (2014) y 15,52 MPa (Propuesta). Esto dio como resultado la validez de la propuesta de diseño

al considerar parámetros ergonómicos con valores antropométricos y mediante un análisis centrado en el usuario que comparó los resultados de los tres modelos.

Recomendaciones

Se debe verificar la normativa vigente para la *Formula Student* y con los requerimientos de la competencia realizar un diseño que cumpla y garantice la seguridad del piloto en pista. Además, de realizar una simulación con datos actuales según la FSAE.

Para la fabricación de un prototipo de la propuesta de butaca se puede utilizar un refuerzo distinto a la fibra de vidrio y con los datos antropométricos de esta investigación realizar una comparación de cual butaca es más funcional para *Formula Student*.

Utilizar los equipos de protección de seguridad (EPS) como guantes y mascarillas para que las reacciones químicas presentes en la matriz de resina poliéster y el catalizador no afecten la salud del constructor. Además, recibir capacitación en la fabricación de objetos con materiales compuestos.

Si se utilizan materiales compuestos de matriz polimérica y reforzados con fibra natural para la construcción, se recomienda realizar probetas para verificar la resistencia bajo sollicitaciones mecánicas de tensión, flexión e impacto.

El desarrollo de butacas para *Formula Student* mediante el diseño centrado en el usuario permite reducir costos y tiempo de construcción, ya que toma valores del perfil de pilotos, datos antropométricos y posiciones ergonómicas que favorecen la reducción de la incomodidad en la conducción.

Colocar un sistema de guías, inclinación y protección del piloto que permita resguardar al conductor y garantizar una mayor comodidad en competencia.

Referencias bibliográficas

3DCadPortal. (2016). *3dcadportal.com*.

Bhise, V. D. (2016). *Ergonomics in the Automotive Design Process*.

Burton, A. K., & Sandover, J. (1987). Back pain in Grand Prix drivers: a "found" experiment. *Applied Ergonomics*, 3-8.

Camus, C. (9 de Enero de 2017). *ccamusv.cl*.

Caraguay, C., & Caraguay, S. (2 de 2015). *Diseño y construcción del sistema de suspensión de un vehículo monoplace para la competencia Formula Student*. Cuenca: UPS-Cuenca.

Casqueiro, C., Suárez, A., Vilán, J., & Cereijo, S. (2007). Análisis del comportamiento dinámico de un automóvil dotado de asientos basculantes. *AEIM*, 1-8.

CEIC. (2013). *formulasae.grupos.usb.ve*.

Dawson, B., Scott, W., & Timothy, A. (2001). Performance enhancement in rally car drivers via heat acclimation and race simulation. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 701-707.

Discovery Channel. (29 de 11 de 2014). *youtube.com*.

Du, H., Li, W., & Zhang, N. (2013). Vibration control of vehicle seat integrating with chassis suspension and driver body model. *Advances in Structural Engineering: an international journal*, 1-9.

Fazlollahtabar, H. (2010). A subjective framework for seat comfort based on a heuristic multi criteria decision making technique and anthropometry. *Applied Ergonomics*, 16-28.

Fernández, G. P. (2015). *Estudio y propuesta ergonómica de un Formula Student*. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya.

Fortec Stabilization. (2010). *Fibra de carbono - Fortec de 600 GSM*. Michigan: Panexus.

García, A., & Poveda, M. (2015). *Estructura mecánica de un monoplace para Formula Student*. Madrid: Universidad Pontificia Comillas.

Gunther, P., Pendlebury, J., & Miller, J. (2012). The contribution of seat components to seat hardness and the interface between human occupant and a driver seat. *Int. J. Human Factors Modelling and Simulation*, 3-4.

Henderson, D., & Zhou, Q. (2016). Design of a Head and Neck Restraint System for Use in city Cars. *J Automotive Safety and Energy*, 254 — 264.

- Hsiao, H., Whitestone, J., Wilbur, M., & Lackore, J. R. (2015). Seat and seatbelt accommodation in fire apparatus: Anthropometric aspects. *Applied Ergonomics*, 137-151.
- Jácome, A. (2015). *Estudio de la configuración de fibras del material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra de piña y su incidencia en las propiedades mecánicas en la fabricación de butacas deportivas*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.
- Kamp, I. (2012). The influence of car-seat design on its character experience. *Applied Ergonomics*, 329-335.
- Kishore, N., Prashanth, A., Saran, V., & Harsha, S. (s.f.). Transmissibility and DPMI analysis of the seated posture of Human under Low frequency vibration.
- Kolich, M. (2008). A conceptual framework proposed to formalize the scientific investigation of automobile seat comfort. *Applied Ergonomics*, 15-27.
- Lork. Industrias. (2017). *Fibra de vidrio EPOXI G-11 (155C)*. Caracas: Lork Industrias S.L.
- Ma, C. T. (2016). Study on The Adaptability of FSC Racing Ergonomics. *International Journal of Research in Engineering and Science (IJRES)*, 11-20.
- Maradei, F., Quintana, L., & Castellanos, J. (2016). Effect of seat inclination on intradiscal pressure during simulated driving task, assessed using a biomechanical model. *Ingeniare*, 520-528.
- Mehta, C., Gite, L., Pharade, S., Majumder, J., & Pandey, M. (2008). Review of anthropometric considerations for tractor seat design. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 546–554.
- Mendoza, N. H., Talavera, O. M., De los Santos, F., Mendoza, F. S., & Jiménez, A. O. (2014). Caracterización de materiales compuestos reforzados con fibra de carbono fabricados por el método de infusión para aplicaciones aeronáuticas . *Memorias del XX Congreso internacional anual de la SOMIM*, 838-845.
- Min, C., Seokhee, N., Sunghyun, L., & Hwa-Soon, C. (2005). Evaluation of driver's discomfort and postural change using dynamic body pressure distribution. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 1085–1096.
- Monotoa, W., & García, H. (2016). Diseño y construcción de un asiento ergonómico en fibra natural aplicado a un vehículo de competencia tipo Fórmula SAE para la ESPOCH. *Revista científica de la facultad de mecánica - ESPOCH*. Recuperado el 27 de 5 de 2017

- Munteanu, L., Chiroiu, V., & Delsanto, P. (2013). On the Contact Interfaces between the Driver and the Vehicle Seat. *SAE International Journal of Passenger Cars Mechanical Systems*, 636-642.
- Ocaña, J. A. (2010). Mapas mentales y estilos de aprendizaje. (Estrategias de aprendizaje). En J. A. Ocaña, *Mapas mentales y estilos de aprendizaje. (Estrategias de aprendizaje)* (pág. 296). Alicante, España: Editorial Club Universitario.
- O'Malley, C. (2016). *samuellaboy.com*.
- Panero, J., & Zelnik, M. (1996). *Las dimensiones humanas em espacios interiores*. Barcelona: G. Gili S.A.
- Park, J., Ebert, S., Reed, M., & Hallman, J. (2015). Development of an optimization method for locating the pelvis in an automobile seat. *Procedia Manufacturing*, 3738–3744.
- Parra, J. C. (2008). Sistema de ecuaciones del modelamiento del cabeceo de un vehículo mediante Bond Graph. *Theoria*, 63-73.
- Patil, H., Bhange, S., & Deshmukh, A. (2016). Design and Analysis of Go-Kart using Finite Element Method. *International Journal of Innovative and Emerging Research in Engineering*, 3.
- Peter, L., Joseph, R., Gregory, K., & William, M. (2014). Objective classification of vehicle seat discomfort. *Ergonomics*, 536-544.
- Pons, A. (2016). *Vehículo de competición Formula SAE: Diseño y optimización del chasis*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia .
- Porter, J. M., & Gyi, D. (1998). Exploring the optimum posture for driver comfort. *International Journal of Vehicle Design* , 255-266.
- Reddy, K., Kini, V., Grover, A., & Sujay, P. (2016). Ergonomics of a Custom Made Solar Electric Car. *IACSIT International Journal of Engineering and Technology*, 212.
- Rodavigo. (2016). *Espuma de poliuretano* .Mos: Rodavigo.
- SAE. (11 de 4 de 2016). *2017-2018 Formula SAE - Rules* . Detroit: SAE International.
- Salazar, J. (2011). *“Diagnosticar y plantear un proceso de ergonomía para mejorar la satisfacción laboral de las servidoras y servidores de la agencia nacional del transporte terrestre, tránsito y seguridad vial*. Quito, Ecuador: Universidad Central del Ecuador.
- Sánchez, J., Álvarez, M., Flores, N., & López, J. (2011). Defining the ergonomic parameters of the driver’s seat in a competition single-seater. *International Journal Vehicle Design*, 2-4.
- Sillero, M. (2006). *Las medidas antropométricas*. Madrid: I.N.E.F.

- Sithananun, C., Leelaphongprasut, C., Baitiang, C., & Rungpipatphol, N. (2011). SAE Student Formula Space Frame Design and Fabrication. *The Second TSME International Conference on Mechanical Engineering*, 19-21.
- Smith, J., Mansfield, N., & Gyi, D. (2015). *Long-term discomfort evaluation: Comparison of reported discomfort between a concept elevated driving posture and a conventional driving posture*, 2387–2394.
- Trocola, J. d. (16 de 6 de 2016). *youtube.com*.
- Valero, E. (2004). *Antropometría*. Madrid: Centro Nacional de Nuevas Tecnologías.
- Vink, P., & Lips, D. (2017). Sensitivity of the human back and buttocks: The missing link in comfort seat design. *Applied Ergonomics*, 287-292.
- William, J. (2015). *Driving ergonomics for an elevated seat position in a light commercial vehicle*. Loughborough: Loughborough University.

ANEXOS**Anexo 1****“Propuesta de diseño técnico en butacas de vehículos monoplace, para equipos ecuatorianos participantes de la *Formula Student*”**

Ing. Edgar Gustavo Vera Puebla
Universidad Internacional SEK
Autor para correspondencia: evera.mdm@uisek.edu.ec

DOCUMENTO INFORMATIVO DIRIGIDO A PILOTOS DE UN *FORMULA STUDENT*
EN ENSAYO NO CLÍNICO: Valoración objetiva y subjetiva de butaca de un monoplace de competición *Formula Student*, promovido por programa de estudios de la Maestría en Diseño Mecánico con mención en fabricación de autopartes de vehículos de la Universidad Internacional SEK

1. Objetivo: Determinar los efectos finales del uso de la butaca de un *Formula Student* construido en el Ecuador referente a comodidad/incomodidad y la opinión del piloto referente a las características y dimensiones de esta autoparte.
2. Investigador Responsable: Ing. Edgar Gustavo Vera Puebla.
3. Metodología:

El estudio por realizar constará de:

- a. Caracterización de los pilotos: toma de dimensiones antropométricas.
 - b. Pruebas objetivas: medición de parámetros posturales, deformación de butaca, parámetros biomecánicos y parámetros fisiológicos mediante equipo instrumental no invasivo.
 - c. Pruebas subjetivas: test de juicios de los pilotos sobre características de la butaca, *test* de confort general y *test* de molestias en zonas del cuerpo.
4. Posibles riesgos del ensayo: ninguno.
 5. La participación en este ensayo es de carácter voluntario por lo que cabe la posibilidad de retirarse del mismo en cualquier momento.
 6. La responsabilidad del estudio recae sobre la Universidad Internacional SEK.
 7. La Universidad Internacional SEK se compromete en asegurar la confiabilidad de los datos del participante y mantener el anonimato de los mismos en el caso de hacer público los resultados del estudio.
 8. El investigador responsable informará al posible participante y contestará a sus preguntas antes de que se otorgue su consentimiento para ser incluido en el estudio.
 9. El sujeto o sus representantes legales son libres de responder a las preguntas que se le realicen.

MANIFESTACIÓN DE CONSENTIMIENTO

Yo, Sr/Srta. _____, habiendo leído la hoja de información del estudio: Valoración objetiva y subjetiva de butaca de un monopla de competición *Formula Student*, que me ha sido entregada y habiendo recibido suficiente información sobre el estudio, he podido hacer preguntas sobre el mismo a Edgar Gustavo Vera Puebla, investigador responsable del estudio.

Comprendo que mi participación es voluntaria y que puedo retirarme del ensayo en cualquier momento.

Doy libremente mi conformidad para participar en el estudio, así como la autorización en caso de utilización de mi imagen en archivos fotográficos del presente trabajo.

Quito, a _____

Firmado: _____

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK
ENCUESTA DE ERGONOMÍA CASO BUTACA *FORMULA STUDENT*

Test de juicio subjetivo

Piloto: _____ Butaca: _____ Tiempo: 0 minutos

Edad: _____

Test de confort general: por favor, señale en esta escala su estado de comodidad en este momento (marque con una X)

☐	EXTREMADAMENTE
0	INCÓMODO
☐	1 MUY INCÓMODO
☐	2 BASTANTE INCÓMODO
☐	3 INCÓMODO
☐	LIGERAMENTE
4	INCÓMODO
☐	5 INDIFERENTE
☐	6 LIGERAMENTE CÓMODO
☐	7 CÓMODO
☐	8 BASTANTE CÓMODO
☐	9 MUY CÓMODO
☐	EXTREMADAMENTE
10	CÓMODO

Test de juicio Subjetivo: por favor, para completar esta parte del cuestionario (asiento y respaldo), acomódese en la butaca con la espalda apoyada al respaldo y considere que las preguntas se refieren únicamente a la butaca, independientemente de lo que piense de la cabina del monoplaza.

Asiento

La altura le parece

☐	Demasiado alto (la referencia es el piso de la carrocería)
☐	Altura correcta
☐	Demasiado bajo

La anchura le parece

☐	Demasiado ancho (demasiada holgura lateral)
☐	Anchura correcta
☐	Demasiado estrecho

La profundidad le parece

- | | |
|--------------------------|---|
| ☐ | Demasiado profunda (desde la base del espaldar al borde delantero de la butaca) |
| ☐ | Profundidad correcta |
| ☐ | Demasiado corta |

Respecto a la inclinación

- | | |
|--------------------------|--|
| ☐ | Le inclinaría más hacia arriba (respecto al borde delantero) |
| ☐ | No le cambiaría, me parece bien |
| ☐ | Le inclinaría hacia abajo |

El material le parece

- | | |
|--------------------------|------------------|
| ☐ | Demasiado duro |
| ☐ | Correcto |
| ☐ | Demasiado blando |

La forma le parece

- | | |
|--------------------------|-----------------------|
| ☐ | Demasiado contorneada |
| ☐ | Correcto |
| ☐ | Poco contorneada |

¿Se le clava el borde del asiento en los muslos o en las curvas?

- | | |
|--------------------------|----|
| ☐ | Si |
| ☐ | No |

Respaldo

La altura del borde superior le parece

- | | |
|--------------------------|-----------------|
| ☐ | Demasiado alto |
| ☐ | Altura correcta |
| ☐ | Demasiado bajo |

La altura del borde inferior (o apoyo lumbar, si existe) le parece

- | | |
|--------------------------|---|
| ☐ | Demasiado alto (falta apoyo en la zona de los riñones) |
| ☐ | Altura correcta |
| ☐ | Demasiado bajo (no hay hueco para las nalgas y la zona de los riñones no apoya bien en el respaldo) |

La anchura le parece

- | | |
|--------------------------|---|
| ☐ | Demasiado ancho (demasiada holgura lateral) |
|--------------------------|---|

☐	Anchura correcta
☐	Demasiado estrecho

La inclinación le parece

☐	Excesiva (el respaldo está demasiado inclinado hacia atrás)
☐	Correcta
☐	Escasa (me gustaría que el respaldo estuviera más inclinado)

El perfil vertical (se refiere a la forma que tiene el respaldo de arriba abajo) le parece

☐	Demasiado contorneado (me gustaría que fuese más plano, la forma que tiene me resulta incómoda)
☐	Correcta
☐	Poco contorneado (es demasiado plano, me gustaría que la forma se adaptase más a la espalda)

La curvatura horizontal (se refiere a la forma que tiene el respaldo de lado a lado) le parece

☐	Demasiado curvado (es tan envolvente que limita los movimientos de la espalda)
☐	Correcta
☐	Poco plano (me gustaría que el respaldo estuviese más curvado de lado a lado)

¿Se le clava alguna zona del respaldo?

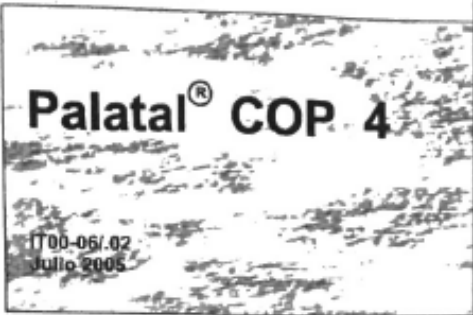
☐	Si
☐	No

Butaca

Globalmente, considera que la butaca es

☐	Muy cómoda
☐	Cómoda
☐	Normal
☐	Algo incómoda
☐	Incómoda
☐	Muy incómoda

Anexo 2



57924454

Peso Bruto
245,3 Kgs.

Peso Neto
230,0 Kgs.

Lote
QA17030598

Fecha Fabricación (dd/mm/aaaa)
20/03/2017

Fecha Vencimiento (dd/mm/aaaa)
16/09/2017



Naturaleza

Palatal COP4 es un poliéster insaturado basado en ácido ftálico y glicoles estándar, disuelto en estireno. Esta resina es de reactividad media y alta viscosidad.

Aplicación

Palatal COP4 es apropiado para un amplio rango de aplicaciones. Está recomendado para la producción de todo tipo de productos reforzados con fibras de vidrio, tales como perfiles, lanchas, carrocerías, otras piezas de prensado y moldeo, revestimientos y además coladas.

Propiedades en estado de suministro (valores típicos).

(La viscosidad y la reactividad pueden experimentar cambios en caso de almacenamiento prolongado)

Propiedad	Valor	Unidad	Método de Ensayo
Aspecto	Claro	-	-
Color PI-Co	≤60	-	DIN ISO 6271
Contenido de sólidos	71	%	DIN 53 216
Viscosidad Brookfield RVT	2900	mPa·s	ISO 2555
20 rpm 23°			
Reactividad a 25° C			DIN 16 945, 6.2.2.2
1,1 mL MEKP-HA-3			
0,5 mL CoSi			
adicionados a 100 gr. de resina			
Tiempo de 25°C - 35°C	22	min	
Tiempo de 25°C - T _{max}	40	min	
T _{max}	100	°C	

- 1) Tubo de ensayo con 30 g de muestra de resina y agentes de curado
2) MEKP-HA-3 Peróxido de Metilcelosano, Laporte Chemicals
3) Odoloso de CoSi (1+Co) en estireno.

Otras propiedades de la resina líquida (valores típicos)

Propiedad	Valor	Unidad	Método de Ensayo
Densidad	1,1	g/ml	DIN 53 217
Flash Point	34	°C	DIN 53 213
Estabilidad, no precalentada protegida de la luz (25°C)	6	mes	6

Propiedades de la resina endurecida sin carga (valores típicos)

Propiedad	Valor	Unidad	Método de Ensayo
Densidad (20° C)	1,1	1,21	DIN 53 479
Resistencia a la tracción	34	70	DIN 53 455
Módulo de elasticidad en tracción	6	4300	DIN 53 457
Elongación a la ruptura		2	DIN 53 455
Resistencia a la flexión		110	DIN 53 452
Módulo de elasticidad en flexión		4300	DIN 53 457
Resistencia al impacto		10	DIN 53 453
Temperatura de distorsión por calor (HDT)	66 ²⁾		DIN EN ISO 76
	67 ²⁾		DIN 53 648
Dureza Barcol GYZJ 834 - 1			DIN 53 2583

- 1) Propiedades medidas en especímenes de resina con un contenido de estireno 30%
2) Espádmes 4 mm x 10 mm x 120 mm.
3) Espádmes 14 x 67 x 5"

Otras propiedades de la resina endurecida sin carga (valores típicos)

Propiedad	Valor	Unidad	Método de Ensayo
Índice de refracción (20° C)	1,557	-	DIN 53 491
Conductividad térmica ¹⁾	0,19	W/(m K)	DIN 52 612
Color específico ²⁾	1,5	KJ/Kg-K	DIN VDE 0335/2
Coefficiente de dilatación térmica lineal ³⁾	1,1 10 ⁻⁴	K ⁻¹	DIN 53 752
Constante dieléctrica a 50 Hz/1 KHz			DIN 53 483
seco	3,3/3,3	-	VDE 0303/4
húmedo ³⁾	3,5/3,5	-	
Factor de disipación a 50 Hz/1 KHz			DIN 53 483
seco	0,0040,004	-	VDE 0303/4
húmedo ³⁾	0,010/0,010	-	DIN 53 482
Resistividad Volumétrica seco			VDE 0303/3
húmedo ³⁾	10 ¹⁵	Ω cm	
Resistencia superficial	≥ 10 ¹⁵	Ω cm	DIN 53 482
			VDE 0303/3
Rigidez Dieléctrica	50	KV/mm	DIN 53 481
			VDE 0303/2

- 1) Propiedades medidas en especímenes de resina con un contenido de estireno 30%
2) Medido entre 10°C y 90°C.
3) Especímenes inmersos en agua potable por 24 horas.

**Tienda Química
Pichincha**

Ing. Qco. Felipe Sáenz de Viteri
Gerente

01/06/2017

Guías deProcesamiento

Palatal CO P4 es miscible con estireno. Sin embargo la adición de estireno superior a 20% da como resultado un deterioro de las propiedades físicas.

Palatal CO P4 es también miscible con una amplia variedad de otras marcas. Palatal que contengan estireno.

En relación a su reactividad y comportamiento de curado. Palatal CO P4 es particularmente apropiado para la producción de laminados prácticamente libres de tensiones internas.

Palatal CO P4 no está preacelerado, por lo que se debe adicionar acelerante de cobalto o aminia para el endurecimiento a temperatura ambiente.

Para el curado de Palatal CO P4 se pueden utilizar los peróxidos comúnmente usados para las resinas de poliéster insaturado tales como peróxido de metiltilcetona (MEKP), ciclohexanona (CHP) y acetilacetona (AAP). Al usar acelerante de cobalto el tiempo de gel se puede extender adicionando un inhibidor en base a t-butilcatecol. Para curados a temperaturas inferiores a 18°C, se usa especialmente peróxido de benzilo (BP) en conjunto con acelerantes amínicos como dimetilaniilina o dietilaniilina. El estado final del curado puede optimizarse de acuerdo a los requerimientos específicos para ciertas aplicaciones, poscurando a 80°C por algunas horas. El poscurado a temperaturas elevadas es particularmente importante para artículos destinados a estar en contacto con alimentos (ver información **"Palatal para el sector de productos alimenticios, bebidas y agua potable"**) y es muy recomendable para piezas de plástico reforzado expuestas a ambientes corrosivos.

Para asegurar un curado libre de pegajosidad en superficie expuestas al aire y dependiendo de las condiciones específicas del curado (espesor del laminado, acelerantes, peróxidos, temperatura ambiente), se recomienda adicionar un 5% de una solución de parafina (punto de fusión 46 - 48° C) al 5% en estireno, manteniendo la temperatura de la resina entre 18°C y 35°C (ver información **"Curado de Palatal libre de pegalosidad en aire"**).

Almacenamiento

Palatal CO P4 debe almacenarse en recipientes cerrados, en ambientes frescos y protegidos de la luz. Bajo condiciones adecuadas y a temperaturas de hasta 25°C puede conservarse durante 6 meses desde la fecha de elaboración. Temperaturas superiores reducen el tiempo de almacenamiento. Como toda resina de poliéster. Palatal CO P4 se enturbia por acción de la humedad.

Seguridad

Ver hoja de datos de seguridad.

Observaciones

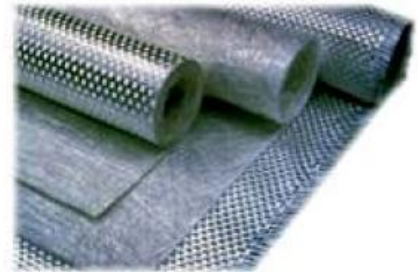
Las indicaciones de esta publicación se basan en nuestros conocimientos y experiencias actuales. No presuponen una garantía jurídica relativa a determinadas propiedades ni a la idoneidad para una aplicación específica. Debido a las numerosas influencias que puedan darse durante la manipulación y empleo de nuestros productos, estos datos no eximen al transformador o manipulador de realizar sus propios controles y ensayos. Todo el que reciba nuestros productos será responsable por sí mismo de la observancia de los derechos de patentes existentes, así como de las leyes y disposiciones locales vigentes. Debe tenerse en cuenta que las marcas de nuestros productos son registradas.

Anexo 3

Fibra de Vidrio

La fibra de vidrio es un material fibroso obtenido al hacer fluir vidrio fundido a través de una pieza de agujeros muy finos en dirección vertical. Cuando el vidrio se solidifica tiene suficiente flexibilidad para ser usado como fibra.

Las principales propiedades de la fibra de vidrio son las que se presentan a continuación:



- Es altamente resistente a la tracción
- Es muy maleable
- Posee muy bajo peso
- Es muy buen dieléctrico
- Es muy buen aislamiento térmico
- Soporta altas temperaturas.
- No es combustible
- No produce gases tóxicos
- Es imputrescible
- Es Inerte a muchas sustancias, incluyendo los ácidos

Especificaciones técnicas

- Mecánicas
 - Tenacidad (N/tex): 1.30
 - Fuerza a la tracción (MPa): 3400
 - Elongación hasta rotura (%): 4.5
- Térmicas
 - Conductividad Térmica (W/m °K): 1
 - Resistencia termomecánica: 100% después de 100 h a 200 °C
- Eléctricas
 - Resistividad (ohm x cm): 10^{14} - 10^{15}
 - Factor de disipación dieléctrica: 0.0010 - 0.0018 a 106 Hz
- Químicas
 - Absorción de humedad a 20 °C y 60% de humedad relativa (%): 0.1
 - Resistencia a los disolventes: alta
 - Resistencia a la intemperie y los rayos UV: alta
 - Resistencia a microorganismos: alta

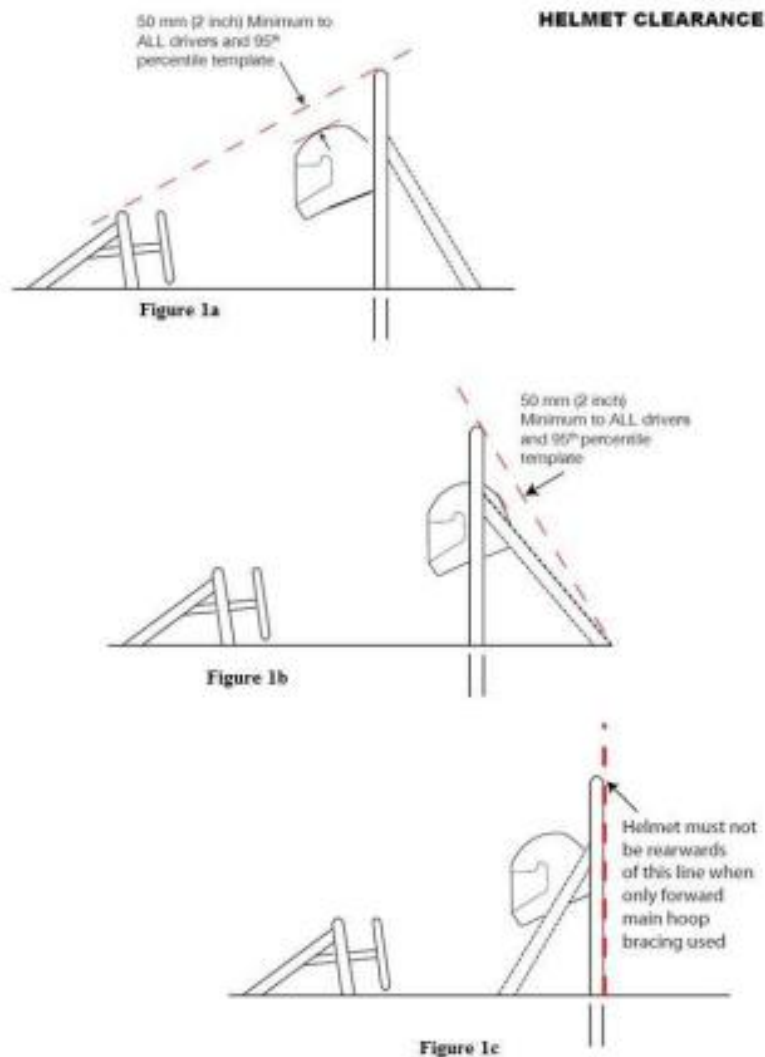
Aplicaciones

- Construcción: tejidos para decoración en locales públicos, aislante
- Automoción: composites para componentes de vehículos.
- Deporte: composites para utensilios o aparejos para la práctica de deportes, como esquís, canoas, pértigas....

Anexo 4

**PRELIMINARY**

- A straight line measuring 280 mm (11.02 inch) will connect the centers of the upper 200 mm circle and the 300 mm head circle.



T3.10.4 The 95th percentile male template will be positioned as follows: (See Figure 2.)

- The seat will be adjusted to the rearmost position.
- The pedals will be placed in the most forward position.
- The bottom 200 mm circle will be placed on the seat bottom such that the distance between the center of this circle and the rearmost face of the pedals is no less than 915 mm (36 inches).
- The middle 200 mm circle, representing the shoulders, will be positioned on the seat back.



PRELIMINARY

- e. The upper 300 mm circle will be positioned no more than 25.4 mm (1 inch) away from the head restraint (i.e. where the driver's helmet would normally be located while driving).

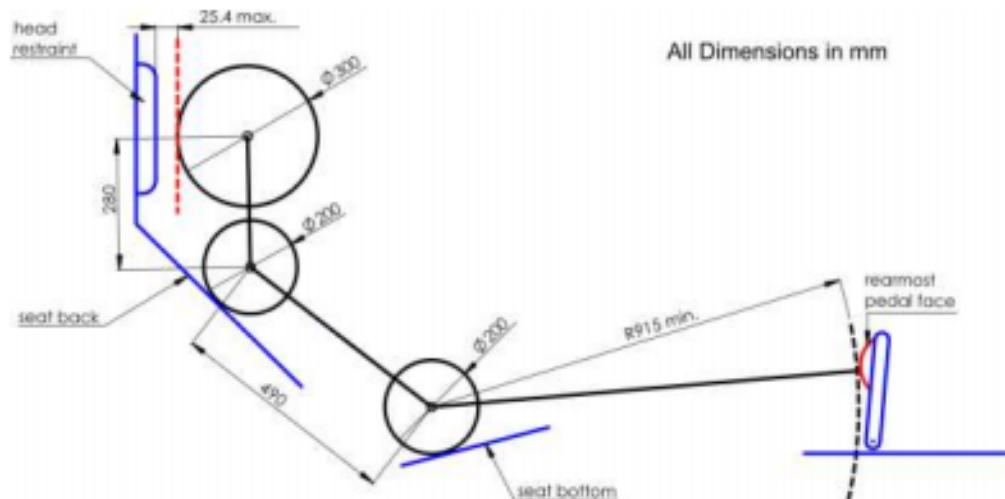


Figure 2

- T3.10.5 If the requirements of T3.10.4 are not met with the 95th percentile male template, the car will NOT receive a Technical Inspection Sticker and will not be allowed to compete in the dynamic events.
- T3.10.6 Drivers who do not meet the helmet clearance requirements of T3.10.3 will not be allowed to drive in the competition.
- T3.10.7 The minimum radius of any bend, measured at the tube centerline, must be at least three times the tube outside diameter. Bends must be smooth and continuous with no evidence of crimping or wall failure.
- T3.10.8 The Main Hoop and Front Hoop must be securely integrated into the Primary Structure using proper triangulation.
- T3.11 Main Hoop**
- T3.11.1 The Main Hoop must be constructed of a single piece of uncut, continuous, closed section steel tubing per Rule T3.4.1.
- T3.11.2 The use of aluminum alloys, titanium alloys or composite materials for the Main Hoop is prohibited.
- T3.11.3 The Main Hoop must extend from the lowest Frame Member on one side of the Frame, up, over and down the lowest Frame Member on the other side of the Frame.
- T3.11.4 In the side view of the vehicle, the portion of the Main Roll Hoop that lies above its attachment point to the upper Side Impact Tube, must be within ten degrees (10°) of the vertical.
- T3.11.5 In the side view of the vehicle, any bends in the Main Roll Hoop above its attachment point to the Major Structure of the Frame must be braced to a node of the Main Hoop Bracing Support structure with tubing meeting the requirements of Roll Hoop Bracing as per Rule T3.4.1.



PRELIMINARY

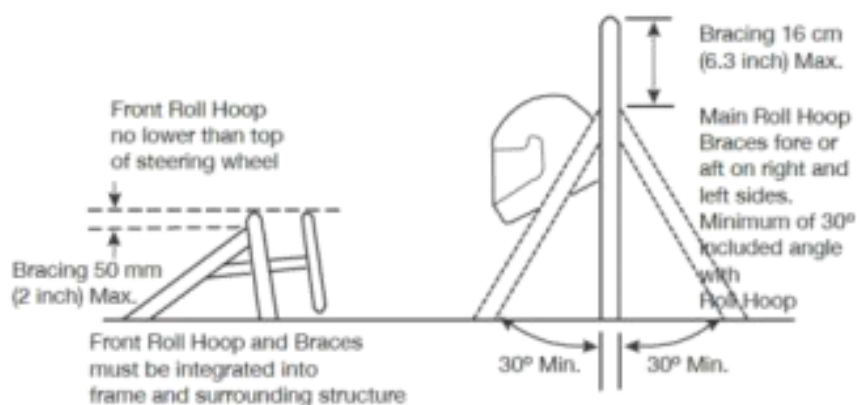


FIGURE 3

- T3.13.5 The Main Hoop braces must be straight, i.e. without any bends.
- T3.13.6 The Main Hoop Braces must be securely integrated into the Frame and be capable of transmitting all loads from the Main Hoop into the Major Structure of the Frame without failing.
- T3.13.7 The lower end of the Main Hoop Braces must be supported back to the Main Hoop by a minimum of two Frame Members on each side of the vehicle; an upper member and a lower member in a properly triangulated configuration.
- The upper support member must attach to the node where the upper Side Impact Member attaches to the Main Hoop.
 - The lower support member must attach to the node where the lower Side Impact Member attaches to the Main Hoop.

NOTE: Each of the above members can be multiple or bent tubes provided the requirements of T3.5.5 are met.

Note: Examples of acceptable configurations of members can be found in Appendix T-4.

- T3.13.8 All the Frame Members of the Main Hoop Bracing Support system listed above must be constructed of closed section tubing per Section T3.4.1.
- T3.13.9 If any item which is outside the envelope of the Primary Structure is attached to the Main Hoop braces, then additional bracing must be added to prevent bending loads in the braces in any rollover attitude

T3.14 Front Hoop Bracing

- T3.14.1 Front Hoop braces must be constructed of material per Rule T3.4.1.
- T3.14.2 The Front Hoop must be supported by two braces extending in the forward direction on both the left and right sides of the Front Hoop.



PRELIMINARY

- T3.23.1 Sharp edges on the forward facing bodywork or other protruding components are prohibited.
- T3.23.2 All forward facing edges on the bodywork that could impact people, e.g. the nose, must have forward facing radii of at least 38 mm (1.5 inches). This minimum radius must extend to at least forty-five degrees (45°) relative to the forward direction, along the top, sides and bottom of all affected edges.
- T3.24 Side Impact Structure for Tube Frame Cars**
The Side Impact Structure must meet the requirements listed below.
- T3.24.1 The Side Impact Structure for tube frame cars must be comprised of at least three (3) tubular members located on each side of the driver while seated in the normal driving position, as shown in Figure 7.

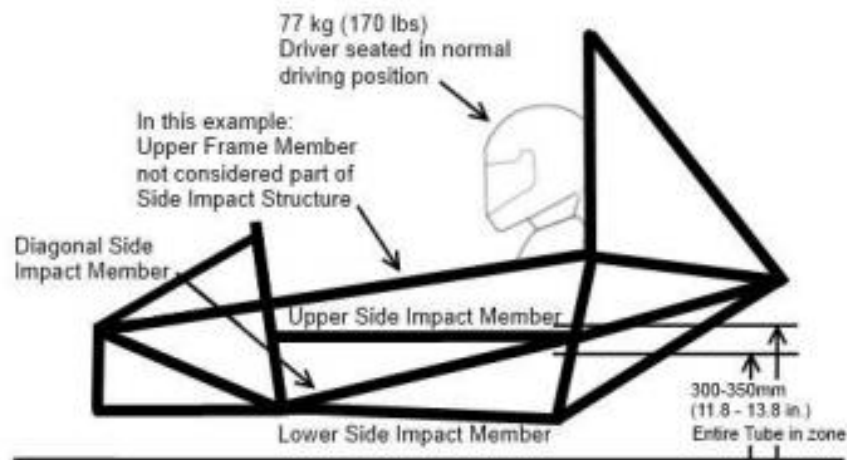


FIGURE 7

- T3.24.2 The three (3) required tubular members must be constructed of material per Section T3.4.
- T3.24.3 The locations for the three (3) required tubular members are as follows:
- The upper Side Impact Structural member must connect the Main Hoop and the Front Hoop. With a 77kg (170 pound) driver seated in the normal driving position all of the member must be at a height between 300 mm (11.8 inches) and 350 mm (13.8 inches) above the ground. The upper frame rail may be used as this member if it meets the height, diameter and thickness requirements.
If the member is bent or non-continuous, the minimum tube size must be 1 3/8" x 0.047" (35mm x 1.2 mm) or equivalent.
 - The lower Side Impact Structural member must connect the bottom of the Main Hoop and the bottom of the Front Hoop. The lower frame rail/frame member may be this member if it meets the diameter and wall thickness requirements.
 - The diagonal Side Impact Structural member must connect the upper and lower Side Impact Structural members forward of the Main Hoop and rearward of the Front Hoop.



PRELIMINARY

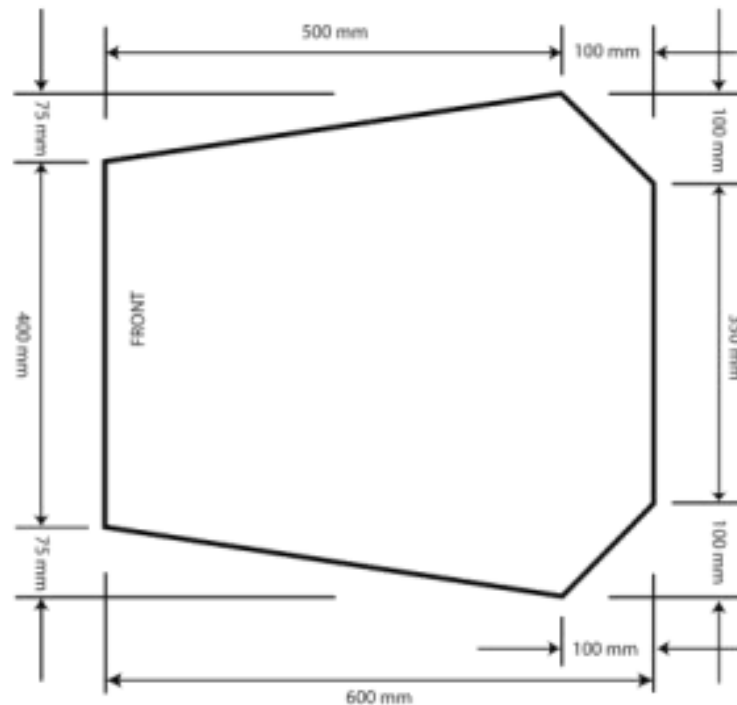


FIGURE 8

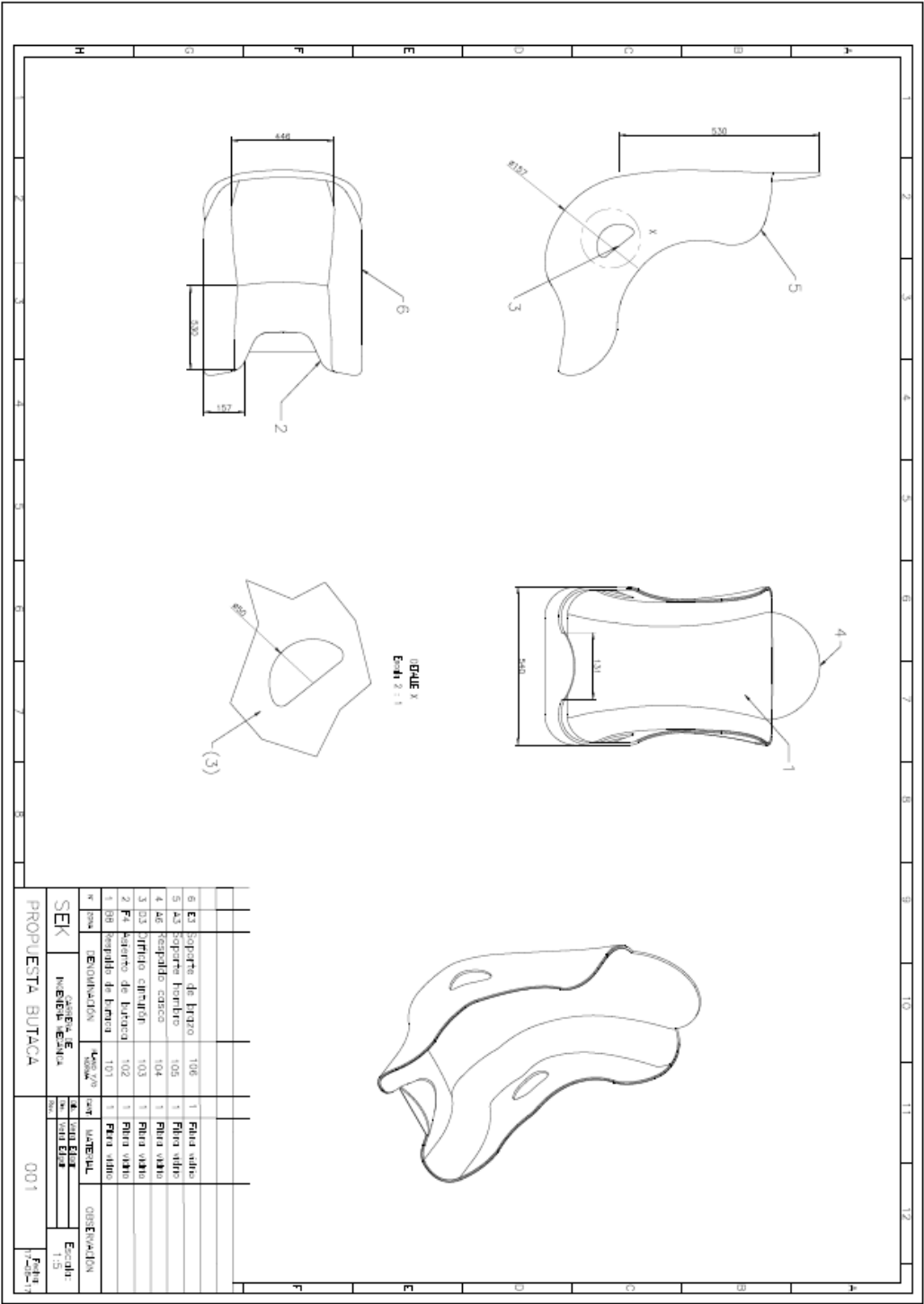
- T4.1.2 During this test, the steering wheel, steering column, seat and all padding may be removed. The shifter or shift mechanism may not be removed unless it is integral with the steering wheel and is removed with the steering wheel. The firewall may not be moved or removed.

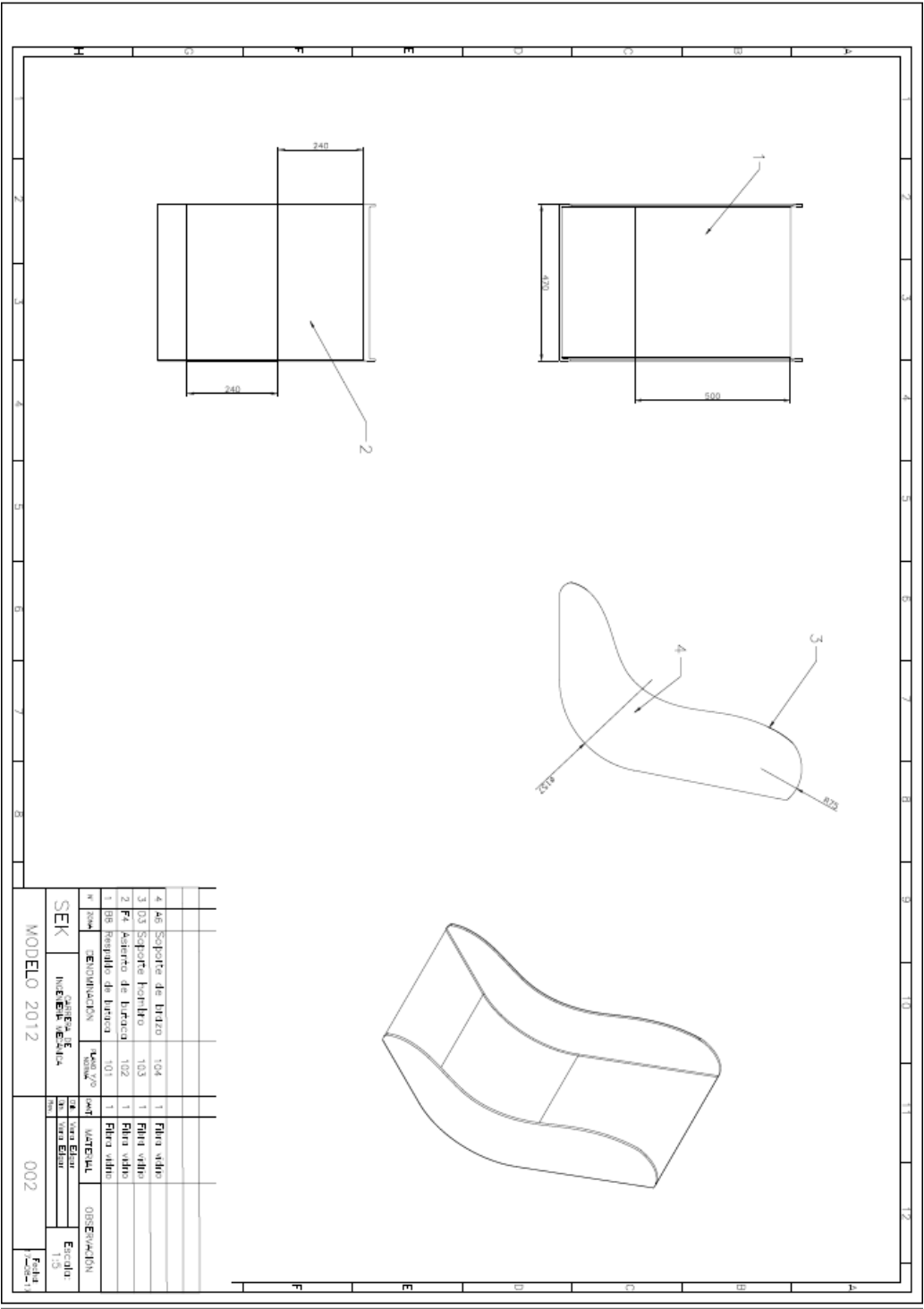
NOTE: As a practical matter, for the checks, the steering column will not be removed. The technical inspectors will maneuver the template around the steering column shaft, but not the steering column supports.

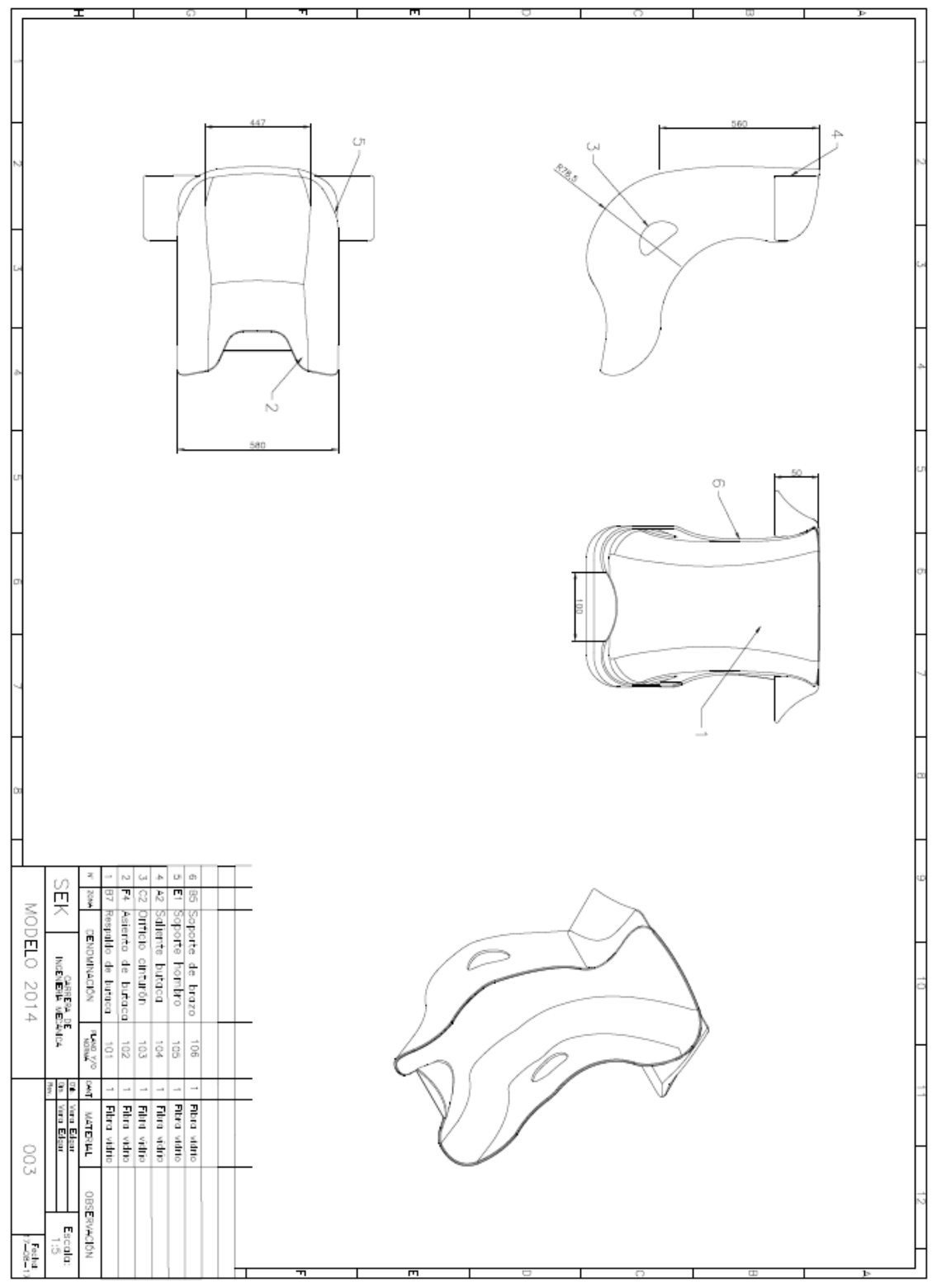
T4.2 Cockpit Internal Cross Section:

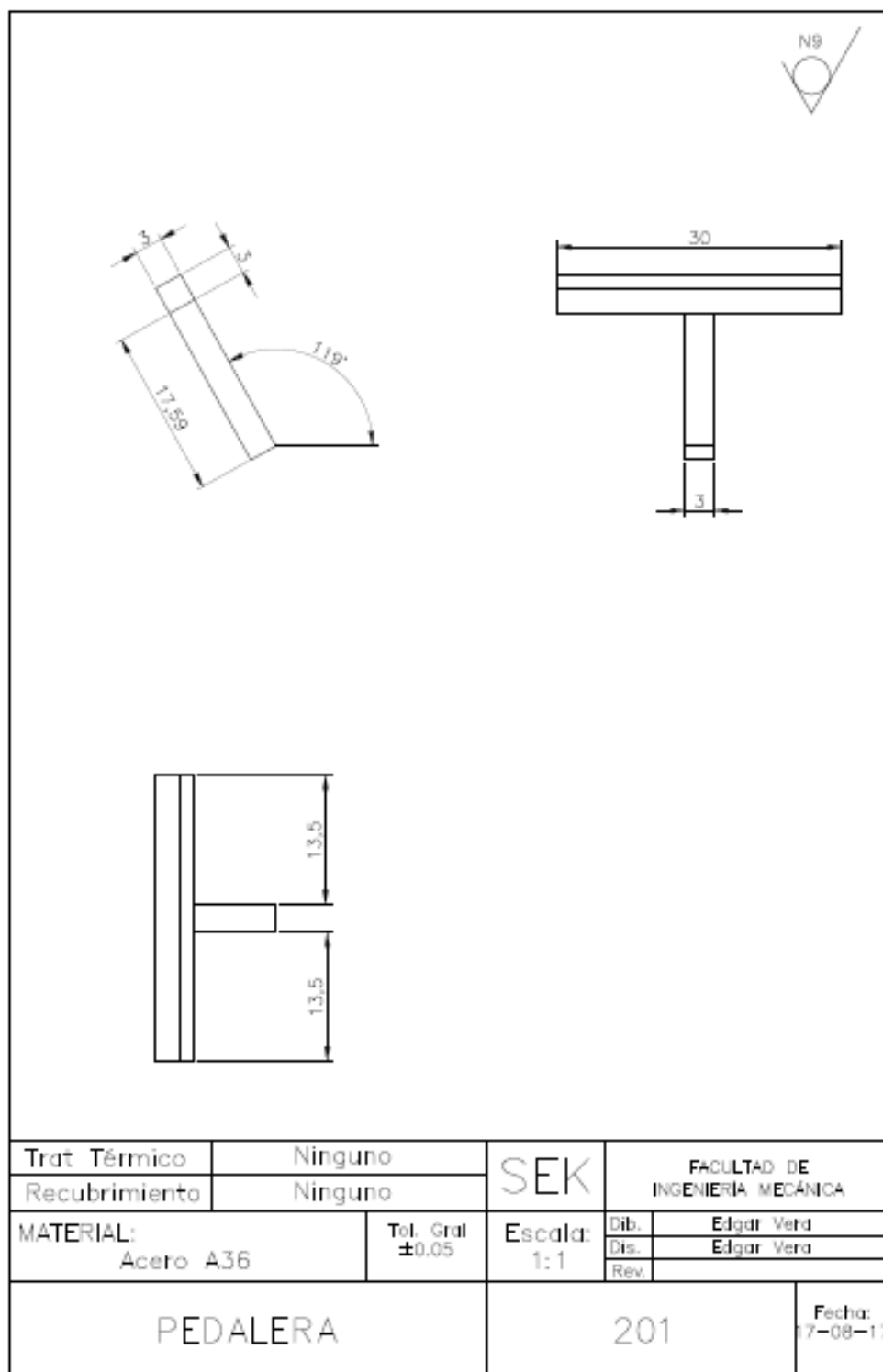
- T4.2.1 A free vertical cross section, which allows the template shown in Figure 9 to be passed horizontally through the cockpit to a point 100 mm (4 inches) rearwards of the face of the rearmost pedal when in the inoperative position, must be maintained over its entire length. If the pedals are adjustable, they will be put in their most forward position.

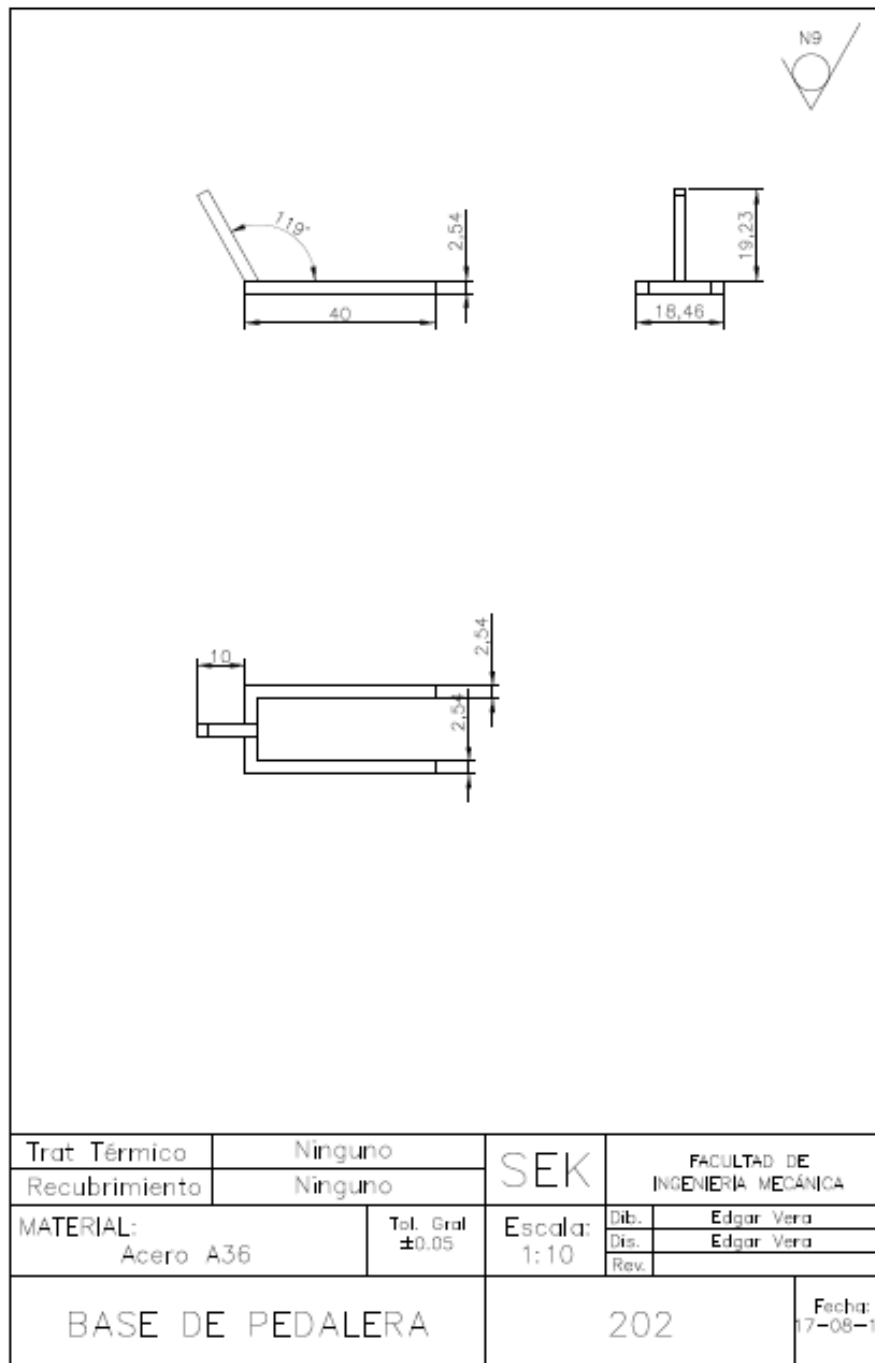
Anexo 5

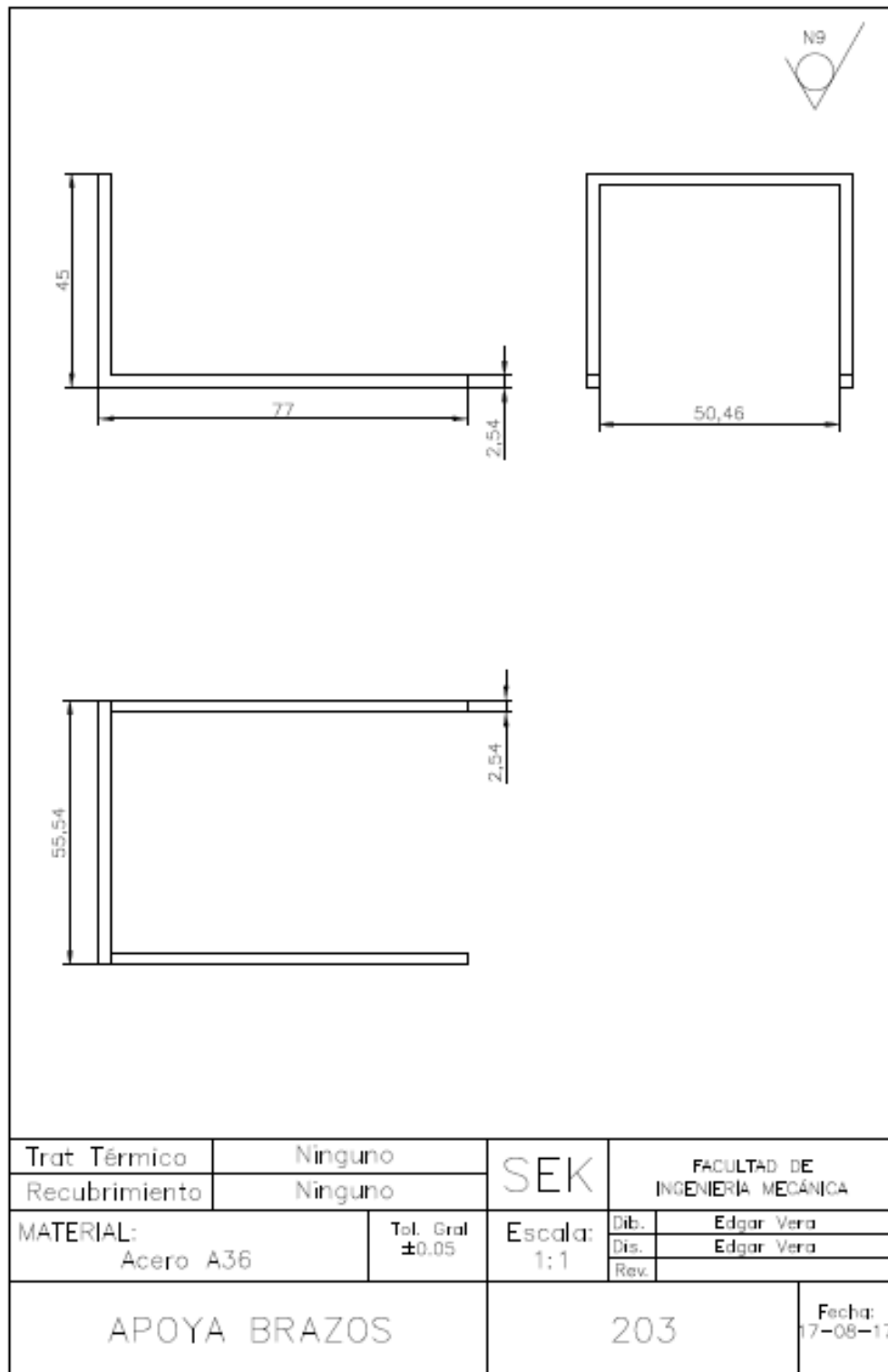


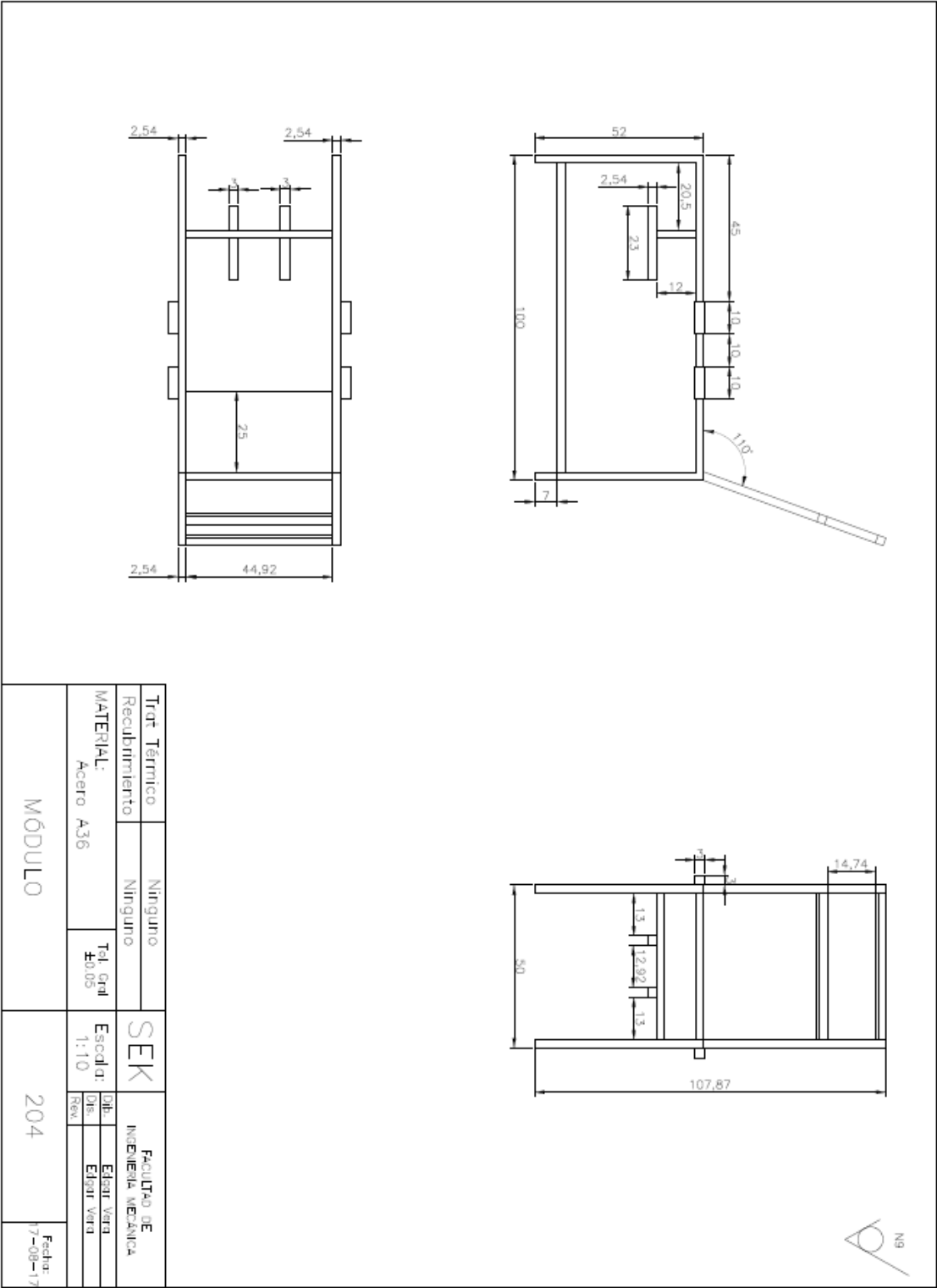












Anexo 6

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK
ENCUESTA DE ERGONOMÍA CASO BUTACA *FORMULA STUDENT*

Test de juicio subjetivo

Piloto: ✓ Butaca: ✓ Propuesta: 2012 Tiempo: 0 minutos

Edad: 19

Test de confort general: por favor, señale en esta escala su estado de comodidad en este momento (marque con una X)

☐	0	EXTREMADAMENTE INCÓMODO
☐	1	MUY INCÓMODO
☐	2	BASTANTE INCÓMODO
☐	3	INCÓMODO
☒	4	LIGERAMENTE INCÓMODO
☐	5	INDIFERENTE
☐	6	LIGERAMENTE CÓMODO
☐	7	CÓMODO
☐	8	BASTANTE CÓMODO
☐	9	MUY CÓMODO
☐	10	EXTREMADAMENTE CÓMODO

Test de juicio Subjetivo: por favor, para completar esta parte del cuestionario (asiento y respaldo), acomódese en la butaca con la espalda apoyada al respaldo y considere que las preguntas se refieren únicamente a la butaca, independientemente de lo que piense de la cabina del monoplaza.

Asiento

La altura le parece

☐	Demasiado alto (la referencia es el piso de la carrocería)
☒	Altura correcta
☐	Demasiado bajo

La anchura le parece

☐	Demasiado ancho (demasiada holgura lateral)
☐	Anchura correcta
☒	Demasiado estrecho

La profundidad le parece

☐	Demasiado profunda (desde la base del espaldar al borde delantero de la butaca)
☐	Profundidad correcta
☒	Demasiado corta

Respecto a la inclinación

☒	Le inclinaría más hacia arriba (respecto al borde delantero)
☐	No le cambiaría, me parece bien
☐	Le inclinaría hacia abajo

El material le parece

☒	Demasiado duro
☐	Correcto
☐	Demasiado blando

La forma le parece

☐	Demasiado contorneada
☐	Correcto
☒	Poco contorneada

¿Se le clava el borde del asiento en los muslos o en las curvas?

☐	Si
☒	No

Respaldo

La altura del borde superior le parece

☐	Demasiado alto
☒	Altura correcta
☐	Demasiado bajo

La altura del borde inferior (o apoyo lumbar, si existe) le parece

☐	Demasiado alto (falta apoyo en la zona de los riñones)
☐	Altura correcta
☒	Demasiado bajo (no hay hueco para las nalgas y la zona de los riñones no apoya bien en el respaldo)

La anchura le parece

- | | |
|-------------------------------------|---|
| ☐ | Demasiado ancho (demasiada holgura lateral) |
| ☒ | Anchura correcta |
| ☐ | Demasiado estrecho |

La inclinación le parece

- | | |
|-------------------------------------|--|
| ☐ | Excesiva (el respaldo está demasiado inclinado hacia atrás) |
| ☐ | Correcta |
| ☒ | Escasa (me gustaría que el respaldo estuviera más inclinado) |

El perfil vertical (se refiere a la forma que tiene el respaldo de arriba abajo) le parece

- | | |
|-------------------------------------|---|
| ☐ | Demasiado contorneado (me gustaría que fuese más plano, la forma que tiene me resulta incómoda) |
| ☐ | Correcta |
| ☒ | Poco contorneado (es demasiado plano, me gustaría que la forma se adaptase más a la espalda) |

La curvatura horizontal (se refiere a la forma que tiene el respaldo de lado a lado) le parece

- | | |
|-------------------------------------|--|
| ☐ | Demasiado curvado (es tan envolvente que limita los movimientos de la espalda) |
| ☐ | Correcta |
| ☒ | Poco plano (me gustaría que el respaldo estuviese más curvado de lado a lado) |

¿Se le calva alguna zona del respaldo?

- | | |
|-------------------------------------|----|
| ☐ | Si |
| ☒ | No |

Butaca

Globalmente, considera que la butaca es

- | | |
|-------------------------------------|---------------|
| ☐ | Muy cómoda |
| ☐ | Cómoda |
| ☐ | Normal |
| ☐ | Algo incómoda |
| ☐ | Incómoda |
| ☒ | Muy incómoda |

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK
ENCUESTA DE ERGONOMÍA CASO BUTACA *FORMULA STUDENT*

Test de juicio subjetivo

Piloto: Butaca: Propuesta: 2014 Tiempo: 0 minutos

Edad: 19

Test de confort general: por favor, señale en esta escala su estado de comodidad en este momento (marque con una X)

☐	0 EXTREMADAMENTE INCÓMODO
☐	1 MUY INCÓMODO
☐	2 BASTANTE INCÓMODO
☐	3 INCÓMODO
☐	4 LIGERAMENTE INCÓMODO
☐	5 INDIFERENTE
☒	6 LIGERAMENTE CÓMODO
☐	7 CÓMODO
☐	8 BASTANTE CÓMODO
☐	9 MUY CÓMODO
☐	10 EXTREMADAMENTE CÓMODO

Test de juicio Subjetivo: por favor, para completar esta parte del cuestionario (asiento y respaldo), acomódese en la butaca con la espalda apoyada al respaldo y considere que las preguntas se refieren únicamente a la butaca, independientemente de lo que piense de la cabina del monoplaça.

Asiento

La altura le parece

☐	Demasiado alto (la referencia es el piso de la carrocería)
☒	Altura correcta
☐	Demasiado bajo

La anchura le parece

☐	Demasiado ancho (demasiada holgura lateral)
☒	Anchura correcta
☐	Demasiado estrecho

La profundidad le parece

☐	Demasiado profunda (desde la base del espaldar al borde delantero de la butaca)
☒	Profundidad correcta
☐	Demasiado corta

Respecto a la inclinación

☒	Le inclinaría más hacia arriba (respecto al borde delantero)
☐	No le cambiaría, me parece bien
☐	Le inclinaría hacia abajo

El material le parece

☒	Demasiado duro
☐	Correcto
☐	Demasiado blando

La forma le parece

☐	Demasiado contorneada
☐	Correcto
☒	Poco contorneada

¿Se le clava el borde del asiento en los muslos o en las curvas?

☐	Si
☒	No

Respaldo

La altura del borde superior le parece

☒	Demasiado alto
☐	Altura correcta
☐	Demasiado bajo

La altura del borde inferior (o apoyo lumbar, si existe) le parece

☐	Demasiado alto (falta apoyo en la zona de los riñones)
☒	Altura correcta
☐	Demasiado bajo (no hay hueco para las nalgas y la zona de los riñones no apoya bien en el respaldo)

La anchura le parece

☐	Demasiado ancho (demasiada holgura lateral)
☒	Anchura correcta
☐	Demasiado estrecho

La inclinación le parece

☐	Excesiva (el respaldo está demasiado inclinado hacia atrás)
☐	Correcta
☒	Escasa (me gustaría que el respaldo estuviera más inclinado)

El perfil vertical (se refiere a la forma que tiene el respaldo de arriba abajo) le parece

☐	Demasiado contorneado (me gustaría que fuese más plano, la forma que tiene me resulta incómoda)
☐	Correcta
☒	Poco contorneado (es demasiado plano, me gustaría que la forma se adaptase más a la espalda)

La curvatura horizontal (se refiere a la forma que tiene el respaldo de lado a lado) le parece

☐	Demasiado curvado (es tan envolvente que limita los movimientos de la espalda)
☒	Correcta
☐	Poco plano (me gustaría que el respaldo estuviese más curvado de lado a lado)

¿Se le calva alguna zona del respaldo?

☐	Si
☒	No

Butaca

Globalmente, considera que la butaca es

☐	Muy cómoda
☐	Cómoda
☒	Normal
☐	Algo incómoda
☐	Incómoda
☐	Muy incómoda

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

ENCUESTA DE ERGONOMÍA CASO BUTACA *FORMULA STUDENT*

Test de juicio subjetivo

Piloto: ✓ Butaca: ✓ Propuesta: 2017 Tiempo: 0 minutosEdad: 19

Test de confort general: por favor, señale en esta escala su estado de comodidad en este momento (marque con una X)

☐	0	EXTREMADAMENTE INCÓMODO
☐	1	MUY INCÓMODO
☐	2	BASTANTE INCÓMODO
☐	3	INCÓMODO
☐	4	LIGERAMENTE INCÓMODO
☐	5	INDIFERENTE
☐	6	LIGERAMENTE CÓMODO
☐	7	CÓMODO
☒	8	BASTANTE CÓMODO
☐	9	MUY CÓMODO
☐	10	EXTREMADAMENTE CÓMODO

Test de juicio Subjetivo: por favor, para completar esta parte del cuestionario (asiento y respaldo), acomódese en la butaca con la espalda apoyada al respaldo y considere que las preguntas se refieren únicamente a la butaca, independientemente de lo que piense de la cabina del monoplaza.

Asiento

La altura le parece

☐	Demasiado alto (la referencia es el piso de la carrocería)
☒	Altura correcta
☐	Demasiado bajo

La anchura le parece

☐	Demasiado ancho (demasiada holgura lateral)
☒	Anchura correcta
☐	Demasiado estrecho

La profundidad le parece

☐	Demasiado profunda (desde la base del espaldar al borde delantero de la butaca)
☒	Profundidad correcta
☐	Demasiado corta

Respecto a la inclinación

☐	Le inclinaría más hacia arriba (respecto al borde delantero)
☒	No le cambiaría, me parece bien
☐	Le inclinaría hacia abajo

El material le parece

☐	Demasiado duro
☒	Correcto
☐	Demasiado blando

La forma le parece

☐	Demasiado contorneada
☒	Correcto
☐	Poco contorneada

¿Se le clava el borde del asiento en los muslos o en las curvas?

☐	Si
☒	No

Respaldo

La altura del borde superior le parece

☐	Demasiado alto
☒	Altura correcta
☐	Demasiado bajo

La altura del borde inferior (o apoyo lumbar, si existe) le parece

☐	Demasiado alto (falta apoyo en la zona de los riñones)
☒	Altura correcta
☐	Demasiado bajo (no hay hueco para las nalgas y la zona de los riñones no apoya bien en el respaldo)

La anchura le parece

☐	Demasiado ancho (demasiada holgura lateral)
☒	Anchura correcta
☐	Demasiado estrecho

La inclinación le parece

☐	Excesiva (el respaldo está demasiado inclinado hacia atrás)
☒	Correcta
☐	Escasa (me gustaría que el respaldo estuviera más inclinado)

El perfil vertical (se refiere a la forma que tiene el respaldo de arriba abajo) le parece

☐	Demasiado contorneado (me gustaría que fuese más plano, la forma que tiene me resulta incómoda)
☒	Correcta
☐	Poco contorneado (es demasiado plano, me gustaría que la forma se adaptase más a la espalda)

La curvatura horizontal (se refiere a la forma que tiene el respaldo de lado a lado) le parece

☐	Demasiado curvado (es tan envolvente que limita los movimientos de la espalda)
☒	Correcta
☐	Poco plano (me gustaría que el respaldo estuviese más curvado de lado a lado)

¿Se le calva alguna zona del respaldo?

☐	Si
☒	No

Butaca

Globalmente, considera que la butaca es

☐	Muy cómoda
☒	Cómoda
☐	Normal
☐	Algo incómoda
☐	Incómoda
☐	Muy incómoda