

Edgar Gustavo Vera Puebla
David Job Morales Neira
Adolfo Juan Peña Pinargote
Antonio Ricardo Rodríguez Vargas

Ergonomía para pilotos de monoplaza



Ergonomía para pilotos de monoplaza



Ing. Edgar Gustavo Vera Puebla MSc.
Universidad Internacional del Ecuador.
Correo: edverapu@uide.edu.ec



Lic. David Job Morales Neira Mg, MSc.
Universidad Internacional del Ecuador; Unidad Educativa de Fuerza
Armadas Liceo Naval Guayaquil "Cmdte. Rafael Andrade Lalama".
Correo: damoralesne@uide.edu.ec



Ing. Adolfo Juan Peña Pinargote MSc.
Universidad Internacional del Ecuador; Fiscalía General del Estado.
Correo: ajpena@uide.edu.ec



Dr. C. Antonio Ricardo Rodríguez Vargas, PhD
Universidad de Guayaquil.
Correo: antonio.rodriguezv@ug.edu.ec

Ing. Edgar Gustavo Vera Puebla MSc.
Lic. David Job Morales Neira Mg, MSc.
Ing. Adolfo Juan Peña Pinargote MSc.
Dr. C. Antonio Ricardo Rodríguez Vargas, PhD

Ergonomía para pilotos de monoplaza



Ergonomía para pilotos de monoplaza

Ing. Edgar Gustavo Vera Puebla MSc.
Lic. David Job Morales Neira Mg, MSc.
Ing. Adolfo Juan Peña Pinargote MSc.
Dr. C. Antonio Ricardo Rodríguez Vargas, PhD

Ergonomía para pilotos de monoplaza
Editado por Colloquium
ISBN: 978-9942-814-14-2
Primera edición 2019

© Edgar Gustavo Vera Puebla
© David Job Morales Neira
© Adolfo Juan Peña Pinargote
© Antonio Ricardo Rodríguez Vargas
© Colloquium

La obra fue revisada por pares académicos antes de su proceso editorial, en caso de requerir certificación debe solicitarla a:
sbores@colloquium-editorial.com.

Quedan rigurosamente prohibidas, bajo las sanciones en las leyes, la producción o almacenamiento total o parcial de la presente publicación, incluyendo el diseño de la portada, así como la transmisión de la misma por cualquiera de sus medios, tanto si es electrónico, como químico, mecánico, óptico, de grabación o bien de fotocopia, sin la autorización de los titulares del copyright.

Ecuador 2019

Índice

ÍNDICE	2
PRÓLOGO	6
INTRODUCCION.....	8
BUTACA.....	12
CLASIFICACIÓN DE LAS BUTACAS EN VEHÍCULOS	13
POR SU ESTRUCTURA	13
SEGÚN EL ALOJAMIENTO	15
FORMULA STUDENT.....	15
BUTACAS PARA FORMULA STUDENT	16
NORMATIVAS PARA UNA BUTACA FSAE 2017 – 2018.....	16
VISIBILIDAD DEL CONDUCTOR.....	17
ACCESO A CABINA.....	18
GEOMETRÍA DE ASIENTO	18
ANTROPOMETRÍA.....	20
ANTROPOMETRÍA ESTÁTICA Y DINÁMICA ANTROPOMETRÍA ESTÁTICA.....	20
ANTROPOMETRÍA DINÁMICA	21
VARIABILIDAD ANTROPOMÉTRICA	21
OBTENCIÓN DE DATOS ANTROPOMÉTRICOS	22
PERCENTILES ANTROPOMÉTRICOS.....	25
DIMENSIONES ANTROPOMÉTRICAS.....	26
DATOS ANTROPOMÉTRICOS PARA EL DISEÑO AUTOMOTRIZ	27
ERGONOMÍA.....	28
MATERIALES PARA BUTACAS EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ DE COMPETIÓN	30
ESPUMAS DE POLIURETANO	30
ESPUMAS DE POLIETILENO	31
FIBRA DE VIDRIO	32
FIBRAS KEVLAR	34
FIBRAS DE CABUYA.....	34
PRUEBAS ESTÁTICAS.....	36
CINEMÁTICA	37
PRUEBAS DINÁMICAS	38
DINÁMICA DE VEHÍCULOS	38
ACTITUD DEL VEHÍCULO EN CURVAS	40

MOVIMIENTO ROTACIONAL	40
LEYES DE ROZAMIENTO DE COULOMB	41
RESISTENCIA A LA RODADURA	41
FRENADO	43
MODELADO EN 3D	44
ANÁLISIS MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS	44
MEDIOS E INSTRUMENTOS APLICADOS A LA INVESTIGACIÓN	45
ANÁLISIS DE POSTURA.....	48
VALIDEZ Y CONFIABILIDAD DE LOS INSTRUMENTOS	52
MEDICIONES DE LONGITUD	53
ACROMIO-RADIAL.....	53
RADIAL- ESTILOIDEA	53
MEDIO ESTILOIDEA - DACTILOIDEA.....	54
ALTURA LLIOESPINALE	54
ALTURA TIBIALE LATERALE	55
TIBIALE MEDIALE – MALEOLAR TIBIALE	55
MEDICIÓN DE DIÁMETROS BIACROMIAL	56
BILIOCRESTÍDEO	57
LONGITUD DEL PIE	57
TRANSVERSO DEL TÓRAX.....	58
PROFUNDIDAD ÁNTERO – POSTERIOR DEL TÓRAX	58
OBTENCIÓN POR INGENIERÍA INVERSA EN MODELOS DE BUTACAS DEL 2012 Y 2014, LAS MEDIDAS INICIALES PARA LA PROPUESTA DE DISEÑO.....	59
VALIDACIÓN DE MODELOS 2012 Y 2014 EN TIEMPO REAL, PARA DETERMINAR EL NIVEL DE CONFORTABILIDAD INICIAL.....	61
TOMA DE DATOS ESTÁTICOS DE PUNTOS DE PRESIÓN EN EL CUERPO	62
CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA	63
ENSAYO DE CONFORTABILIDAD	63
ÁNGULOS DE POSICIONAMIENTO CORRECTO DEL PILOTO EN LA CABINA CON EL PROTOTIPO DE BUTACA.....	65
FIGURA 53. POSICIÓN ERGONÓMICA DEL PILOTO DE ACUERDO FSAE 2017 - 2018.....	66
REDISEÑO DE BUTACA.....	67
CONSTRUCCIÓN DE LA CABINA Y PROTOTIPO DE BUTACA.....	68
MOLDE PARA OBTENCIÓN DE GEOMETRÍA HUMANA	69
FABRICACIÓN DE LA CABINA DONDE SE ALOJA LA BUTACA.....	71
CONSTRUCCIÓN DE LA BUTACA FINAL	72

VALIDACIÓN CON EL PROTOTIPO REDISEÑADO	77
CONFORT GENERAL	78
DISEÑO DE LA BUTACA	79
ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS	81
MALLADO	82
FUERZA DE FRENADO	83
FUERZA CENTRÍFUGA SOBRE LA BUTACA.....	84
PESO DEL PILOTO SOBRE LA BUTACA	86
PRESIÓN DEL PILOTO SOBRE EL RESPALDO DE LA BUTACA	87
MOMENTOS DE TORSIÓN POR FUERZA CENTRÍFUGA.....	88
RESULTADOS	90
RESULTADOS ANTROPOMÉTRICOS.....	90
COMPARACIÓN DE LAS MEDIDAS TOMADAS EN ESTADOS UNIDOS Y ECUATORIANAS	92
MEDIDAS ERGONÓMICAS	94
COMPARACIÓN DE DATOS ERGONÓMICOS	96
RESULTADOS DE CONFORTABILIDAD DEL PILOTO	97
RESULTADOS DE CÁLCULOS PARA FUERZAS QUE SUFRE LA BUTACA EN COMPETENCIA.....	98
CONDICIONES DE BORDE.....	98
FUERZA DE FRENADO	98
FUERZA CENTRÍFUGA.....	100
PESO DEL ASIENTO.....	100
PRESIÓN DEL PILOTO SOBRE EL RESPALDO DE LA BUTACA	101
MOMENTO DEBIDO A LA FUERZA CENTRÍFUGA.....	102
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	102
ENCUESTAS DE EVALUACIÓN SUBJETIVA Y OBJETIVA	102
ENSAYO DE CONFORTABILIDAD	104
SIMULACIÓN DE LOS MODELOS 2012, 2014 Y PROPUESTA DE LA BUTACA.....	104
DIAGRAMA DE DEFORMACIÓN TOTAL	105
DIAGRAMA DE ESFUERZOS DE VON-MISES	106
DIAGRAMA DE ESFUERZO MÁXIMO.....	107
CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO.....	109
CONCLUSIONES	111
RECOMENDACIONES	112
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	114

Prólogo

Los estudios presentados en este libro son el resultado de un proyecto que presenta el 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 confort 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 cansse 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.

INTRODUCCION

La Formula Student es una competencia automovilística de diseño, construcción y desarrollo de vehículos monoplaza, 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).

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).

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 monoplaza 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. 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.

El presente proyecto de investigación genera una propuesta de diseño y construcción de un prototipo de butaca para vehículos monoplaza, 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. 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).

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.



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.

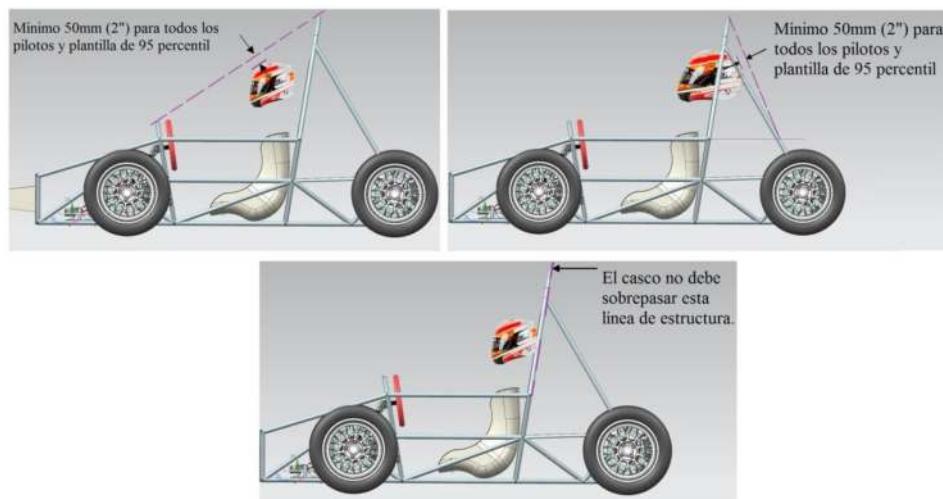


Figura 7. Restricción Fórmula SAE para butacas

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.

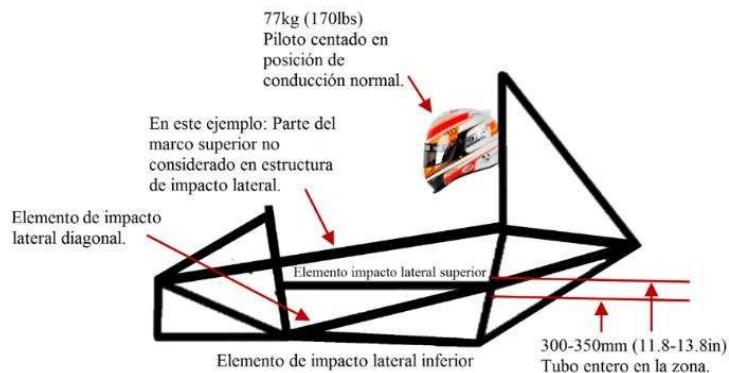


Figura 8. Estructura de impacto lateral Formula Student

Visibilidad del conductor.

Debe contar con un campo de visión frontal de 200º y mínimo 100º 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.

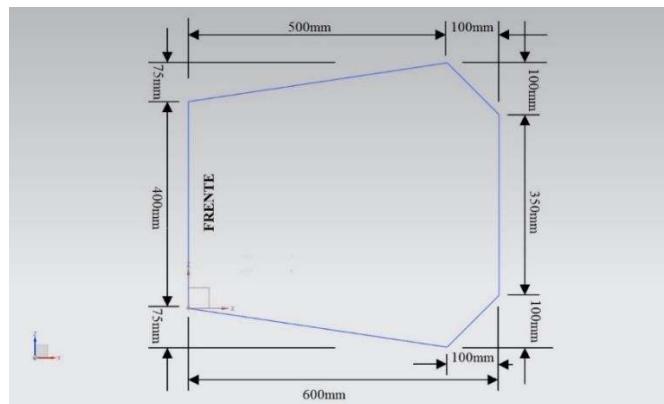


Figura 9. Cabina de monoplaza fórmula SAE

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	Dime nsión
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 (11.8 1 in)
Línea recta que conecta a los círculos de 200 mm	490 mm (19.2 9 in)
Línea recta que conecta el centro de 200 mm superior con el centro del círculo de cabeza de 300 mm	280 mm (11.0 2 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 Vitruvio, 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.

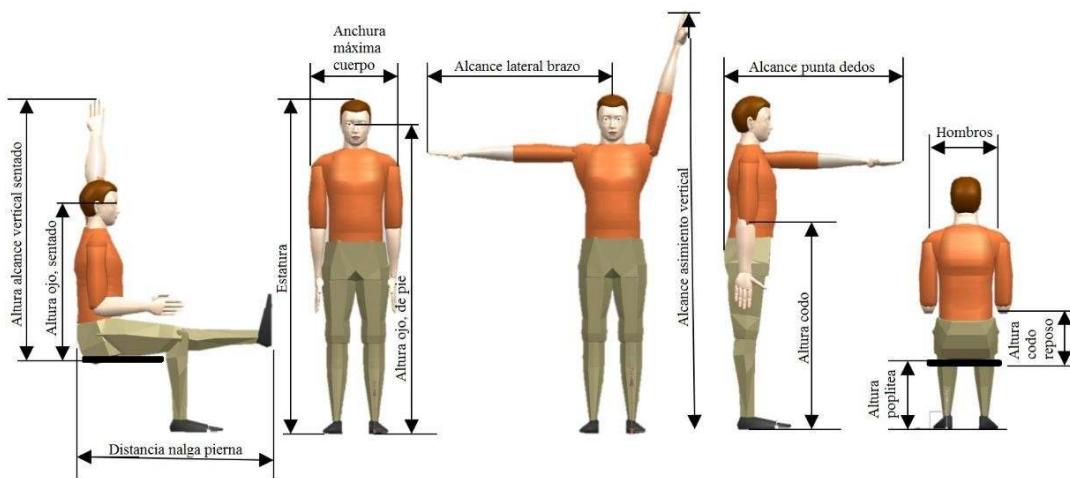


Figura 11. Medidas antropométricas

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 género 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.

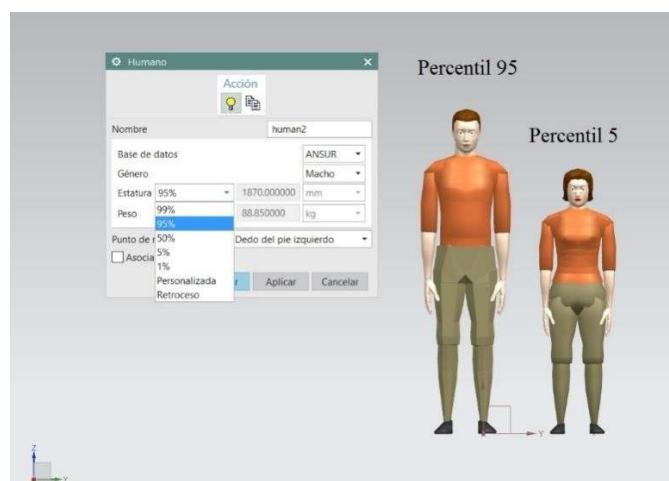


Figura 17. Percentiles antropométricos

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	436,0	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

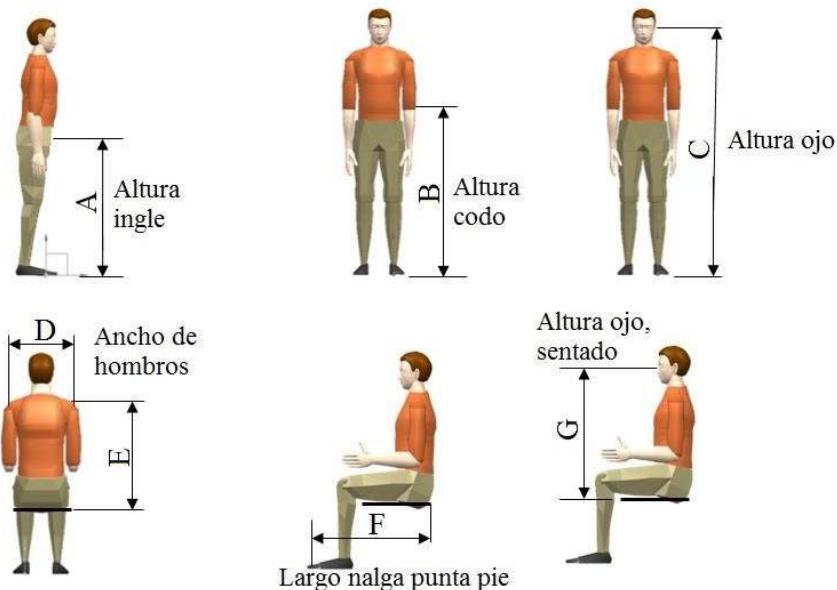


Figura 18. Dimensiones antropométricas de ciudadanos estadounidenses.

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 monoplaza 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 oC y 30 oC
Resistencia a Temperatura	De -40 oC a 90 oC
Volumen expansión	Aproximadamente 45L/t envase
Densidad g/cm3	0,04
Resistencia a tracción (N/cm2)	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 espinette, lo mismo 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/cm3	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/m2	33
Resistencia al aislamiento en agua Ω	5x108
Permeabilidad eléctrica 48-62Hz	5,5
Absorción de agua mg	19
Temperatura de servicio oC	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.

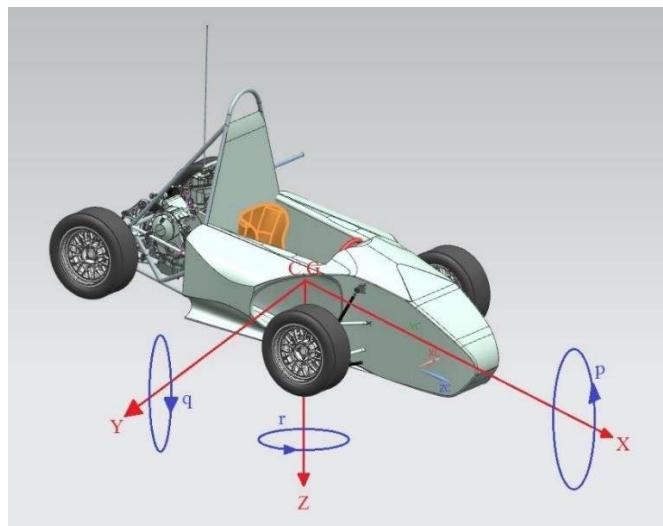


Figura 23. Fuerzas actuantes en un vehículo (Parra, 2008)

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.

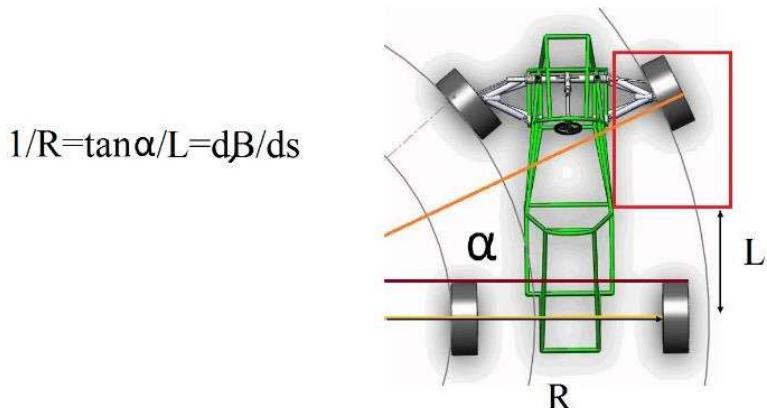


Figura 24. Ángulo de curva en el vehículo

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.

$$\Sigma = \quad (2)$$

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.

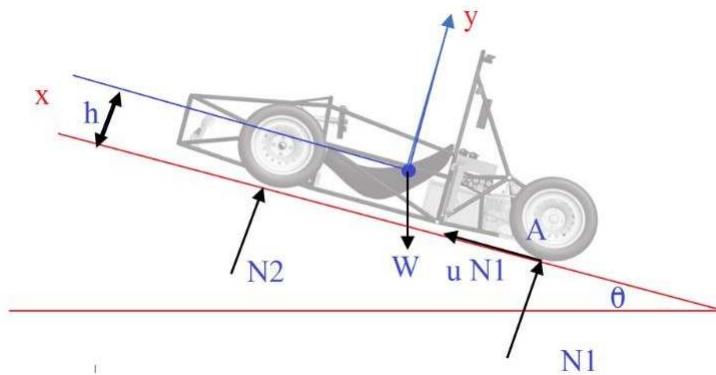


Figura 25. Fuerza de rozamiento en un automóvil

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 a la Rodadura.

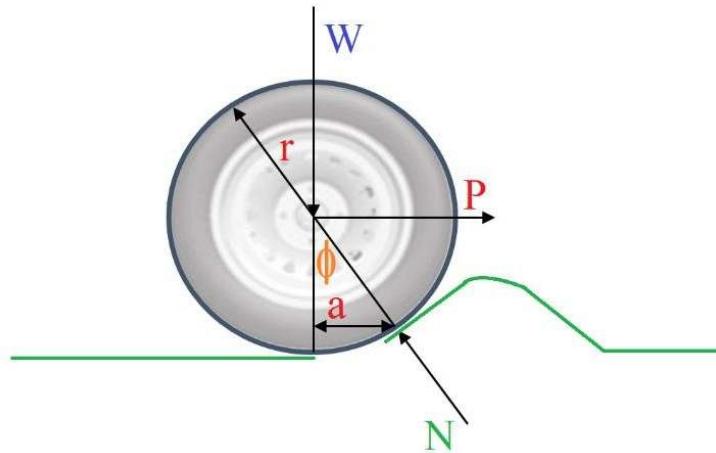


Figura 26. Resistencia a la rodadura

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.

(3)

=

En la Figura 27 se observa el sistema de tracción

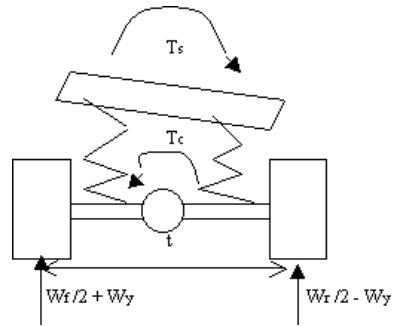


Figura 27. Sistema de tracción (Parra, 2008)

Frenado

En el automóvil se 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.

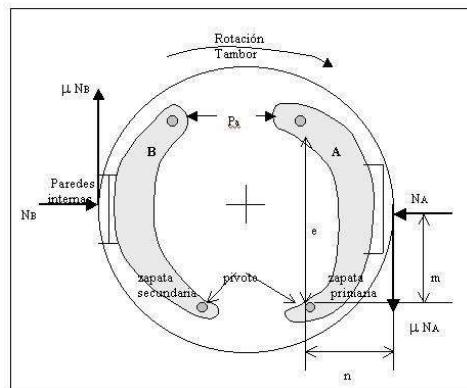


Figura 28. Sistema de frenos (Parra, 2008)

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 Figura29 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.

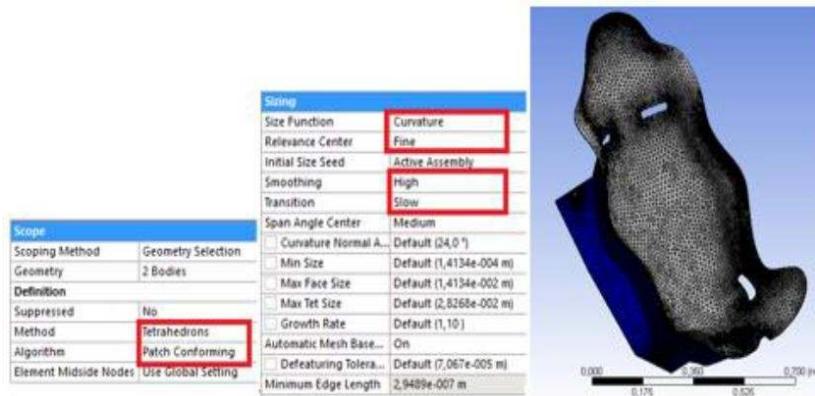


Figura 30. Modelo de Butaca en ANSYS (Monotoa & García, 2016)

Medios e instrumentos aplicados a la investigación

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.

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.

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. 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.

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.

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.

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 monoplaza 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.

Son los métodos y técnicas experimentales que serán considerados para responder las preguntas de investigación, incluyendo: análisis de postura, escalas de calificación de confort, 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 deslizante, 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 deslizante grande utilizado.



Figura 32. Calibre deslizante 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

Compresión (N)	Tracción (N)				
	Estándar (N)	Carga	Descarga	Carga	Descarga
0	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. 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 Ilioespinal

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 ilioespinal. Figura 38 se indica la medida antropométrica.



Figura 38. Altura Ilioespinal

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 entre 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.

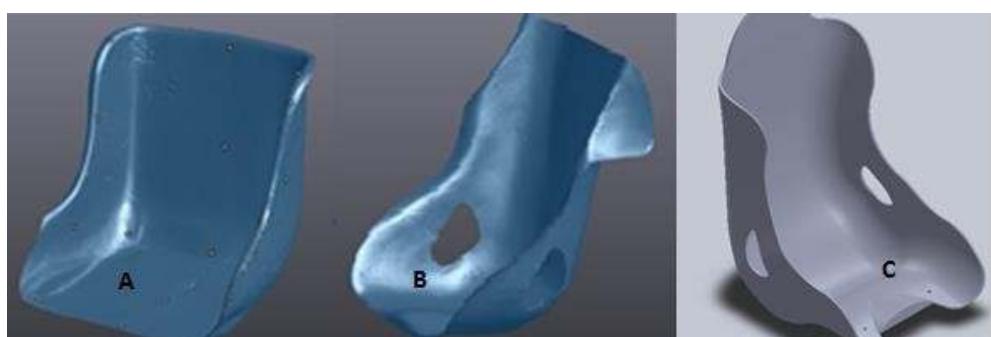


Figura 47. Modelos escaneados del 2012, 2014 y prototipo de butaca

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.

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

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.

Al ser butacas de *Formula Student* que tienen medidas reglamentarias la altura es aceptable en los dos modelos. 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.

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.

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.

Se observa la comparación entre modelos dando como resultado una butaca demasiada 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.

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

Al ser modelos laminados por vía húmeda con refuerzo de fibra de vidrio no muestran formas irregulares que afecten al conductor.

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.

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%.

La butaca muestra una altura de borde el respaldo superior al modelo del 2012.

La inclinación en los dos modelos es escasa, siendo un parámetro que mejorar en la construcción de la propuesta de butaca.

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

La curvatura horizontal de respaldo es correcta en el modelo 2014, en cambio en el modelo 2012 es poco plano.

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.

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 48. 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 48. 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 monoplaza 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 49. 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 50. 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 50. 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 51 se observa los modelos empleados y el prototipo final.



Figura 51. 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 52 se muestran los puntos de medida de presión para el ensayo de confortabilidad.



Figura 52. 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 monoplaza. En la Figura 53 se observa la posición del conductor basado en la normativa FSAE 2017-2018 de 95% percentil en hombres y 5% en mujeres.

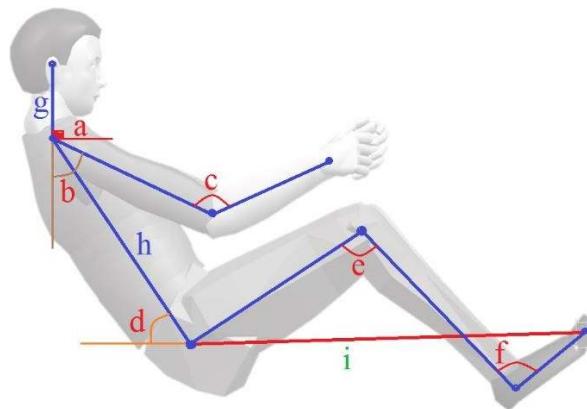


Figura 53. Posición ergonómica del piloto de acuerdo FSAE 2017 - 2018

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 54. Adicionalmente, En la Tabla 9 se observan estos valores.

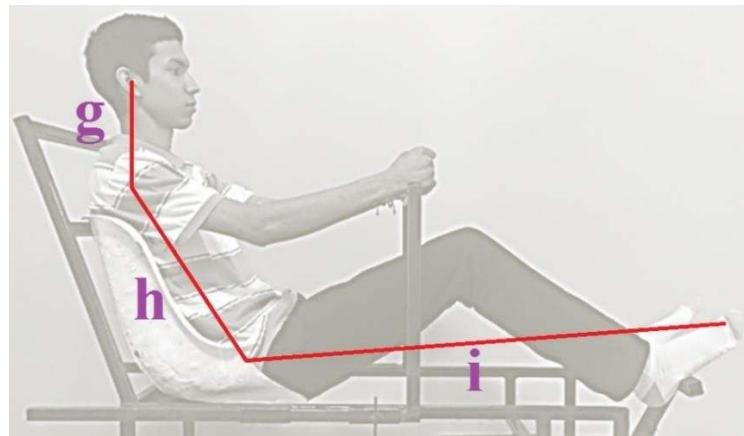


Figura 54. Distancias fijas en *Formula Student*

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 *comfort* 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 55 se muestra el proceso de moldeo.



Figura 55. 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 80º percentil y un ancho de la cadera del 70º 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 56 se muestra la espuma empleada.



Figura 56. 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 57 se observa la madera que se utilizará.



Figura 57. 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 58 se indica las bolsas plásticas.



Figura 58. 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 58.



Figura 58. 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 59.

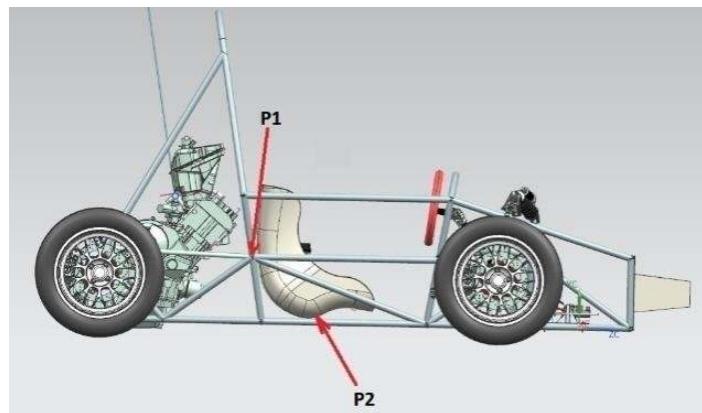


Figura 59. Cabina de un *Formula Student*

Se fabricó un módulo estructural para tomar medidas antropométricas y ergonómicas basadas en un *Formula Student* 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 60.



Figura 60. Construcción de un módulo estructural

La estructura metálica terminada para la toma de datos antropométricos se observa en la Figura 61.



Figura 61. Módulo de pruebas

Construcción de la butaca final

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

Construcción de una cabina de madera para que el piloto permanezca en su interior, como se muestra en la Figura 62.



Figura 62. Cabina de madera

Utilización de espumas de poliuretano para obtener el perfil del piloto como se observa en la Figura 63.



Figura 63. Espuma de poliuretano

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 64.



Figura 64. Solidificación de la espuma

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 65 se tiene el modelo con la forma de la butaca.



Figura 65. Perfil de la butaca

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 66.



Figura 66. Molde de empaste de vinil

Se prepara el molde eliminando imperfecciones hasta que se obtenga una superficie lisa que favorezca el laminado por vía húmeda. En la Figura 67 se tiene el molde



Figura 67. Pulido del molde

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. En la Figura 68 se muestra la resina empleada



Figura 68. Laminado por vía húmeda

Realizar el laminado por vía húmeda de la butaca con resina polimérica reforzada con fibra tejida de vidrio como se muestra en la Figura 69. 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 69. Fabricación de la butaca reforzada con fibra de vidrio

Extracción del negativo del molde de butaca terminada como se muestra en la Figura 70.



Figura 70. Extracción de la butaca

Realización de los orificios en enclavamiento para que ingrese el cinturón de seguridad como se indica en la Figura 71.



Figura 71. 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 con el prototipo construido como se muestra en la Figura 72. 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 72. 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. La altura no varía significativamente en cada modelo, ya que deben cumplir la normativa de la *Formula Student*. El modelo de butaca del 2012 presenta más incomodidad por la anchura del asiento.

El 70% de los encuestados dan este resultado, en cambio en el modelo del 2014 según el 40% de los pilotos es demasiada ancha. Por lo tanto, se mejora la anchura de la autoparte en esta propuesta de diseño. 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. 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 los modelos del 2012 y 2014 eran demasiado duros según los encuestados. 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. 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 adecuar para un percentil del 95% en hombres y 5% en mujeres.

Como se trata de modelos lisos laminados por vía húmeda no presentan imperfecciones que afecten la parte inferior del cuerpo del piloto. Haciendo una comparación de modelos se saca la altura adecuada para el 80% de los encuestados. Se tomo como patrón el modelo de butaca del 2014 ya que cuenta con más del 60% de aprobación por parte de los pilotos.

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

Se necesita dar mayor forma a la butaca según las medidas antropométricas de los pilotos participantes en la *Formula Student*. 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. No presentan imperfecciones que afecten la espalda del cuerpo del piloto, puesto que se trata de superficies lisas que se deterioran con el tiempo. 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 *comfort*, 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 73.



Figura 73. Construcción del molde

Para el modelado de los modelos del 2012 y 2014 se realizó un escaneo 3D como se muestra en la Figura 74.

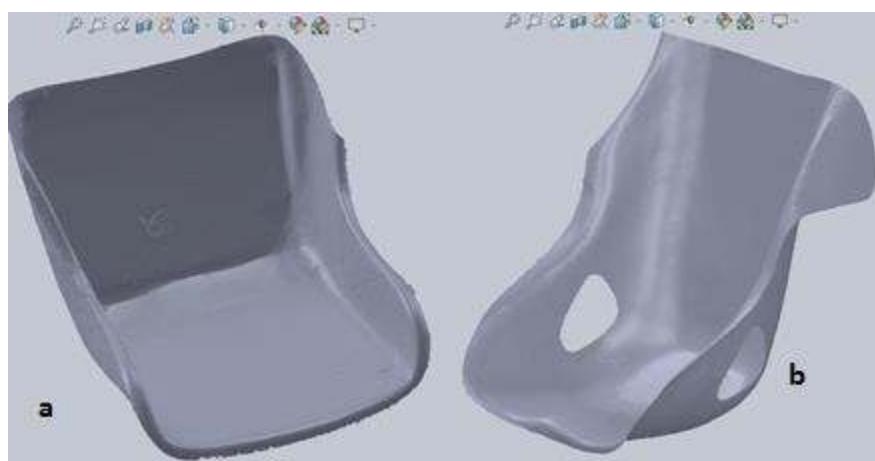


Figura 74. Modelos 2012 (a) y 2014 (b) para el diseño

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 75 se nota el modelo de butaca terminado.

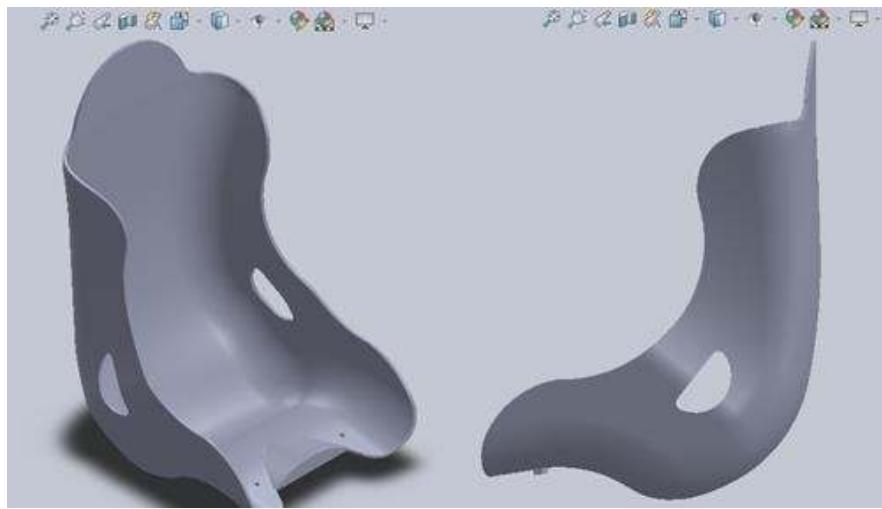


Figura 75. Diseño de la butaca realizado en SolidWorks

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. 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/cm3	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 76 se distingue la butaca para realizar el mallado.

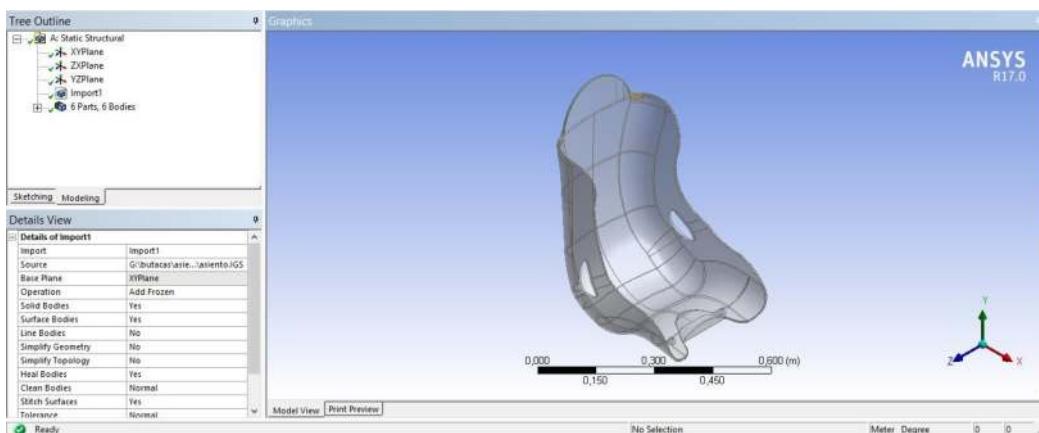


Figura 76. Geometría de la butaca en ANSYS

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 77.

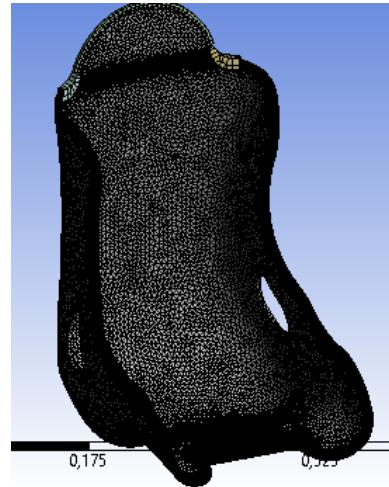


Figura 77. Mallado de la butaca en ANSYS

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 78.



Figura 78. 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.

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

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

Dónde:

F_{c_x} = Fuerza centrífuga en la dirección de la trayectoria [N] F_{c_y} = 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 79



Figura 79. Fuerza centrífuga

Peso del piloto sobre la butaca

Este se distribuye entre el asiento de la butaca y el respaldo, 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 m/s²] 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 80.



Figura 80. Peso del piloto sobre la butaca

Presión del piloto sobre el respaldo de la butaca

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

$$W_e \quad (11)$$

$$P_e = \frac{A}{e}$$

Dónde:

P_e = Presión del piloto sobre el respaldo de la butaca [Pa] W_e = Peso del piloto en el respaldo [N]

$$A_e = \text{Área del respaldo de la butaca } [m^2]$$

La presión del piloto se distribuye sobre el respaldo de la butaca como se indica en la Figura 81



Figura 81. 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 a la trayectoria.

$$M_{Tx_F_c} = F_{c_x} \times X \quad (12)$$

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

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 82



Figura 82 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 1	UNIDAD 2	UNIDAD 1	UNIDAD 2	UNIDAD 1	UNIDAD 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 ASENTIDO [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	10,1 5	27,94	11	26,87	10,58
ANCHURA MÁXIMA DEL CUERPO [cm / in]	45,87	18,0 6	46,39	18,2 6	46,13	18,16
ANCHURA DE HOMBROS [cm / in]	45,08	17,7 5	35,81	14,1	40,45	15,92
ANCHURA DE CODO A CODO [cm / in]	52,3	20,5 9	44,71	17,6	48,51	19,1
ANCHURA DE CADERAS [cm / in]	37,65	14,8 2	38,99	15,3 5	38,32	15,09
ALTURA EN POSICIÓN SEDENTE NORMAL [cm / in]	95,09	37,4 4	79,62	31,3 5	87,36	34,39
ALTURA EN POSICIÓN SEDENTE ERGUIDA [cm / in]	97,68	38,4 6	80,28	31,6 1	88,98	35,03
ALTURA DE OJO EN POSICIÓN SEDENTE [cm / in]	80,71	31,7 8	69,02	27,1 7	74,87	29,47
ALTURA DE HOMBROS EN POSICIÓN SEDENTE [cm / in]	62,71	24,6 9	57,4	22,6	60,06	23,64
ALCANCE VERTICAL EN POSICIÓN SEDENTE [cm / in]	144,0 9	56,7 3	125,8 2	49,5 4	134,9 6	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	22,8 7	51,51	20,2 8	54,8	21,57
ALTURA POPÍTLEA [cm / in]	49,95	19,6 7	42,38	16,6 9	46,17	18,18
DISTANCIA SACRO (NALGA) A LA FOSA POPLÍTEA [cm / in]	52,38	20,6	53	20,8	52,69	20,74

	2		7			
DISTANCIA SACRO (NALGA) A LA RODILLA [cm / in]	64,38	25,3 5	58,61	23,0 7	61,5	24,21
DISTANCIA SACRO (NALGA) A LA PUNTA DEL PIE [cm / in]	81,74	32,1 8	73,82	29,0 6	77,78	30,62
DISTANCIA SACRO (NALGA) AL TALÓN [cm / in]	116,9 7	46,0 5	102,2 8	40,2 7	109,6 3	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
91,9	36, 2	68,1	25, 8	94,66	37,2 7	70,86	26,8 7
120,1	47, 3	98	38, 6	120,3	47,3 8	104,0	40,9 6
174,2	68, 6	143	56, 3	175,7	69,1 9	149,2	58,7 6
52,6	20, 7	37,8	14, 9	45,08	17,7 5	35,81	14,1
69,3	27, 3	53,8	21, 2	62,71	24,6 9	57,4	22,6
94	37	58,6	27	81,74	32,1 8	73,82	29,0 6
86,1	33, 9	71,4	28, 1	80,71	31,7 8	69,02	27,1 7

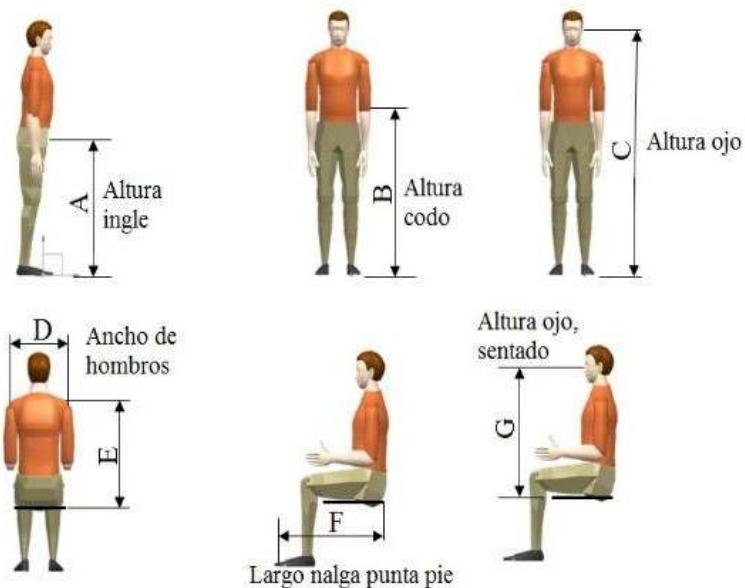


Figura 83. Medidas antropométricas

Los parámetros de comparación de datos de Estados Unidos y ecuatorianos para el dimensionamiento de la butaca se muestran en la Figura 83. 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 84



Figura 84. 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 1	UNIDAD 2	UNIDAD 1	UNIDAD 2	UNIDAD 1	UNIDAD 2
g: HOMBRO A CENTRO DE CABEZA [cm / in]	19,98	7,87	13,8 8	5,46	16,93	6,67
h: HOMBRO A CADERA [cm / in]	43,69	17,2 0	38,3 5	15,1 0	41,02	16,1 5
i: CADERA A PIE [cm / in]	109,7 3	43,2 0	90,9 5	35,8 1	100,34	39,5 0

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 85 y 86.



Figura 85. Percentiles P95 en hombres

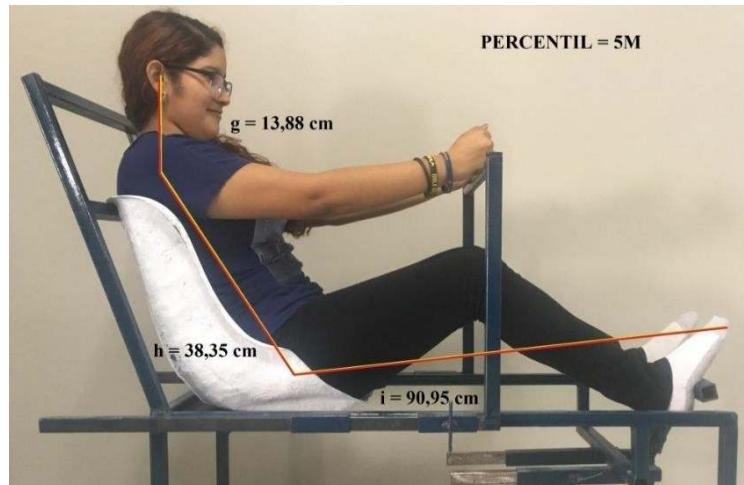


Figura 86 Percentiles P5 en mujeres

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	Formula Student
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



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 87 se muestra el modelo con el perfil del conductor fabricado en poliuretano con un corte transversal para verificar su amoldamiento al cuerpo.



Figura 87 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 88 se muestra los puntos de contacto del vehículo y la autoparte en los tres modelos de butaca.

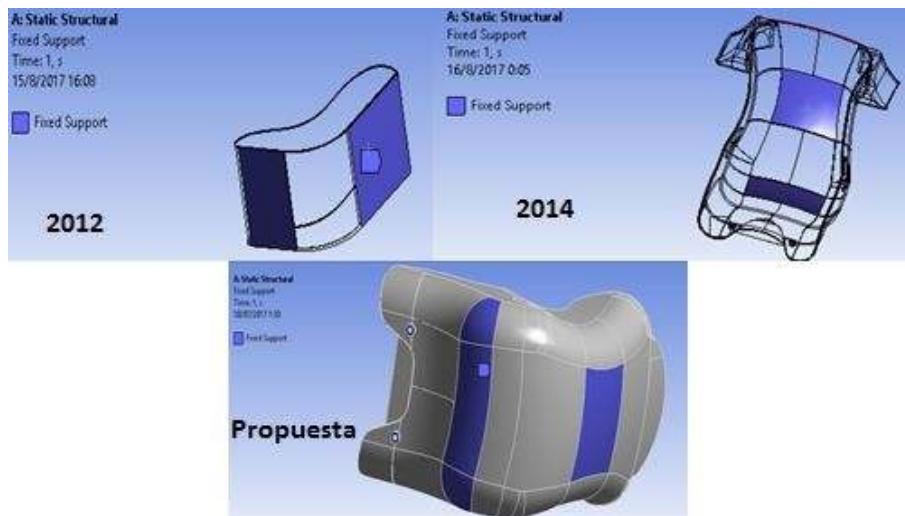


Figura 88 Condiciones de borde en los modelos 2012, 2014 y propuesta final

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 89 se ingresa el valor en el modelo de Ansys para los tres modelos.

$$f_f = 1867,32 [N]$$

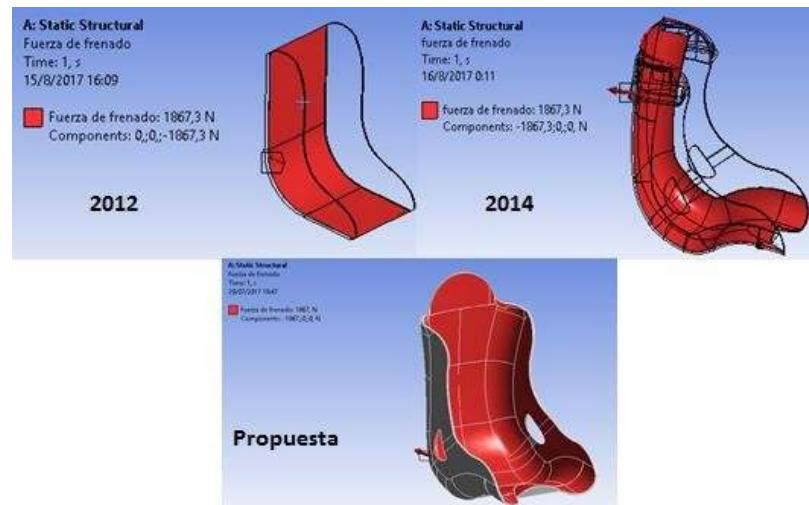


Figura 89. Fuerza de frenado

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 90 se muestra la carga en el programa ANSYS.



Figura 90 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 91

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

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



Figura 91 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 92

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

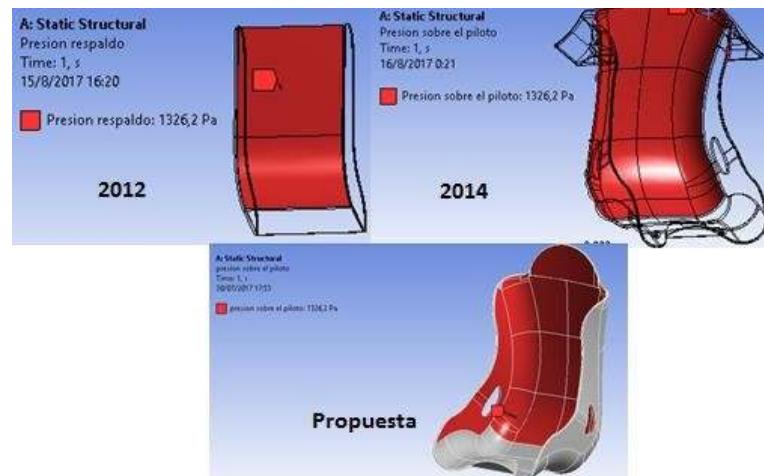


Figura 92. Presión del piloto sobre el respaldo

Momento debido a la fuerza centrífuga

En la Figura 93 se muestra la programación de los momentos generados por la fuerza centrífuga calculados mediante las Ecuaciones 12 y 13.

$$M_T = 286,65 \text{ [N.m]}$$

F_C

$$M_T = 7,55 \text{ [N.m]}$$

F_C

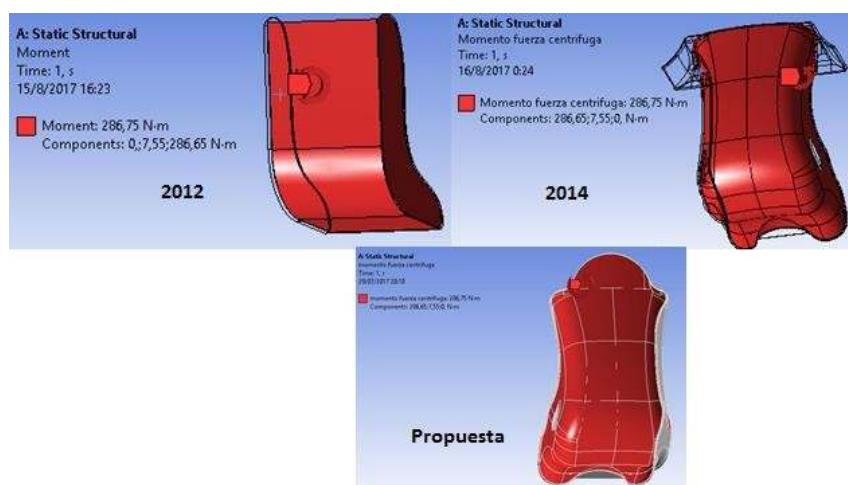


Figura 93 . Momento de la fuerza centrífuga

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. La consideración de la butaca de forma general en comparación a modelos construidos.

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		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 94 se muestran los valores obtenidos en la medida.

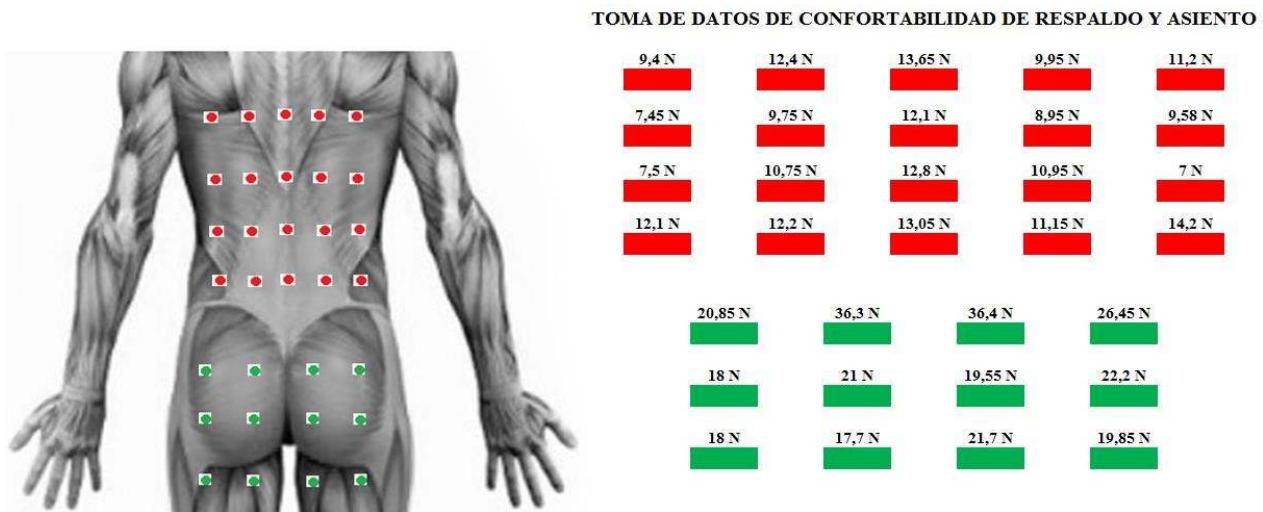


Figura 94 Toma de datos de confort en respaldo y asiento

En el respaldo de la butaca la zona que soporta 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, centrifuga, 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 95 se muestra la deformación del modelo 2012

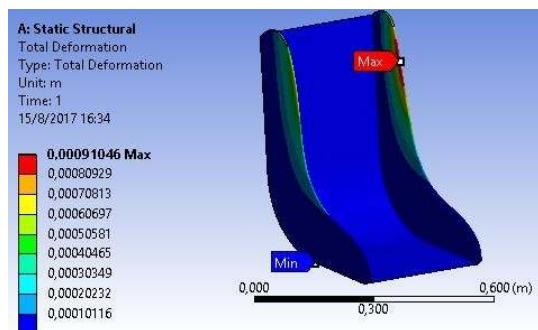


Figura 95 Diagrama de deformación total modelo 2012

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 96

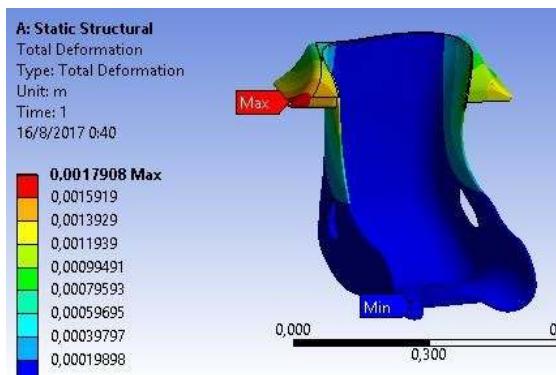


Figura 96. Deformación máxima total del modelo 2014

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 97. Por lo tanto, la rigidez y el espesor de la autoparte es aceptable teóricamente sin concentradores de esfuerzos.

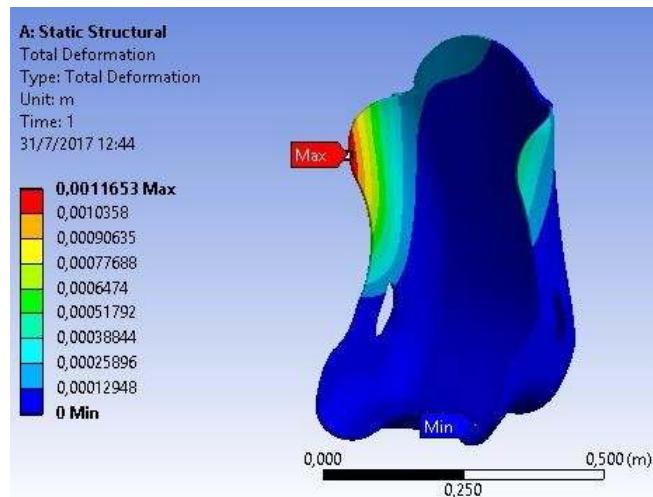


Figura 97 Deformación total en la propuesta de butaca

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 98

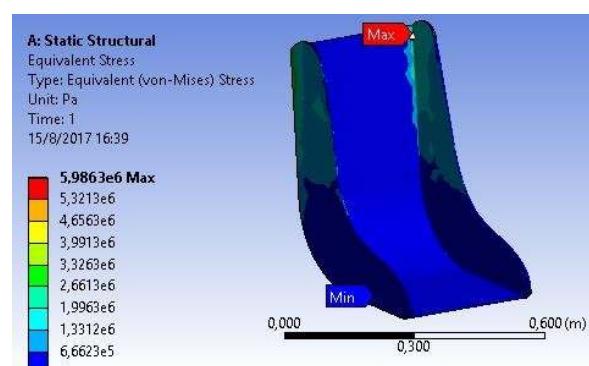


Figura 98 Esfuerzo máximo de tensión en modelo 2012

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 99

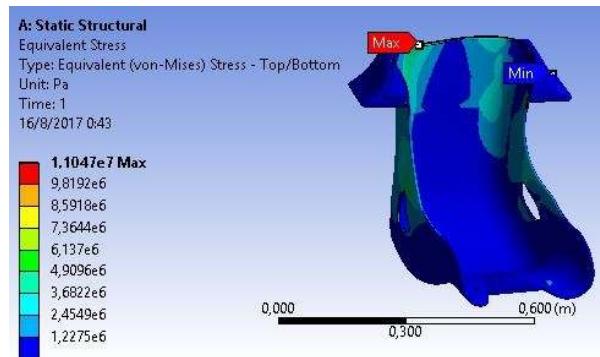


Figura 99. Esfuerzo máximo de tensión en modelo 2014

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 100. Es así como la butaca soporta con las condiciones de borde curvas para monoplazas de competición.

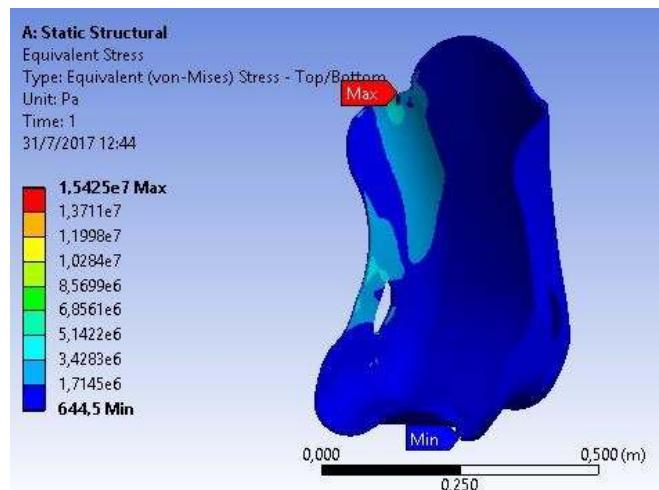


Figura 100. Diagrama de esfuerzos de Von Mises en la propuesta de butaca

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 101.

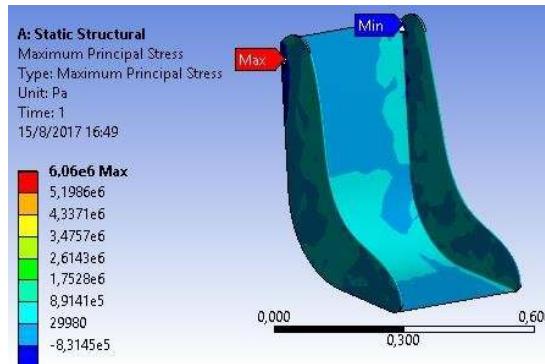


Figura 101. Diagrama de esfuerzo máximo en el modelo 2012

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 102.

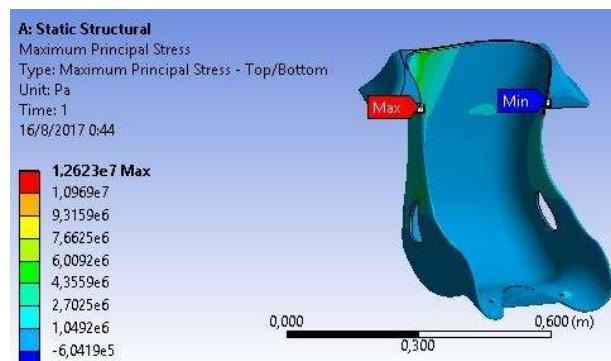


Figura 102. Esfuerzo máximo de tensión en modelo 2014

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 103

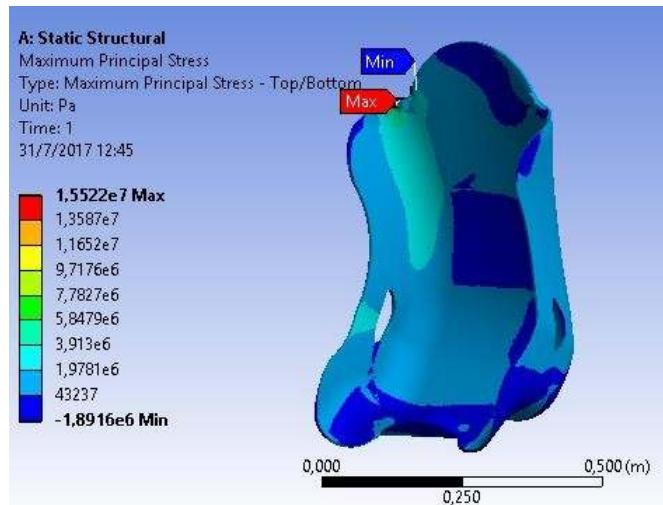


Figura 103. Diagrama de esfuerzo máximo

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. 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 104 se muestra la butaca final tapizada para reducir el parámetro de incomodidad por dureza del material.



Figura 104. 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 trapezio 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, centrifuga, 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 solicitudes 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, reclinación 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 monoplaza 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 monoplaza 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 infisión para aplicaciones aeronáuticas . *Memorias del XX Congreso internacional anual de la SOMIM*, 838-845.

Min, C., Seokhee, N., Sunghyun, L., & Hwa-Sooon, 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 en 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.

