



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA
EN INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS AVANZADAS

UPIITA

"SILLA DE MONTAJE ERGONOMICA PARA
EQUITACION"

Trabajo Terminal

*Que para obtener el Título de
"Ingeniero en Biónica"*

Presenta

Juan Carlos García Gallegos

Asesor

M. en C. Enrique Velázquez Velázquez

México, D. F. Junio del 2003

A

J.1 (8438)

upiita



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA
EN INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS AVANZADAS

UPIITA

**“SILLA DE MONTAR ERGONÓMICA PARA
EQUITACIÓN ”**

Trabajo Terminal

*Que para obtener el Título de
“Ingeniero en Biónica”*

Presenta

Juan Carlos García Gallego

Asesor

M. en C. Enrique Valaguez Velázquez



México D.F. Junio del 2003



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA
EN INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS AVANZADAS

UPIITA

Trabajo Terminal

**“SILLA DE MONTAR ERGONÓMICA PARA
EQUITACIÓN”**

*Que para obtener el Título de
“Ingeniero en biónica”*

Presenta

Juan Carlos García Gallegos

Asesor



M. en C. Enrique Valaguez Velázquez

Presidente del Jurado

Profesor Titular

M. en C. Ricardo Horta Olivares

Ing. Enrique Arturo García Tovar

México D. F. Junio del 2003



**A mi padre
que siempre me dio la
fuerza para salir adelante**

CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE TABLAS	III
ÍNDICE DE FIGURAS	IV
RESUMEN	VI
OBJETIVOS	VII
1. ANTECEDENTES	02
1.1. Historia del caballo.	02
1.2. Historia de la equitación	03
1.3. La montura.	05
1.4. La silla de tipo clásico	05
1.5. Reglamentación.	06
1.6. Ergonomía	07
1.7. Biomecánica.	08
1.8. Análisis de una silla de montar convencional.	09
1.9. El medio galope del caballo y su relación con el jinete.	10
1.10. Impactos mecánicos en la zona sacrolumbar del jinete.	15
1.11. Estructura de la columna vertebral.	15
1.12. Funcionamiento del disco intervertebral.	16
1.13. Análisis biomecánico de la región lumbosacra.	16
1.14. Estructura de las rodillas.	19
1.15. Análisis biomecánico de la articulación de la rodilla.	19
1.16. Características ergonómicas de la silla de montar de equitación.	25
1.17. Manufactura de un fuste típico.	25
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	27
2.1. Evolución de las sillas de montar.	27
2.2. La equitación como deporte y su problemática.	27
2.3. Dificultades en la construcción de sillas de montar.	28
2.4. Diagrama de bloques de la solución a los problemas propuestos.	30
3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA	31
3.1. Construcción del modelo para la elaboración de los moldes.	31
3.2. Elaboración de los moldes.	31
3.3. Vaciado de las piezas y obtención del prototipo final.	32
4. VALIDACIÓN DEL SISTEMA	39
4.1. Características mecánicas del material matriz-fibra.	39
4.1.1. Influencia de la longitud de la fibra.	39
4.1.2. Carga longitudinal.	41
4.1.3. Fase matriz.	42
4.1.4. Características de la fibra de vidrio del tipo S.	43

4.1.5. Características de las resinas de poliéster.	43
4.2. Diseño del resorte.	44
4.3. Estructura Interna de la Silla de Montar Ergonómica.	48
4.4. Vibración libre del sistema.	56
4.5. Funcionamiento esperado del prototipo.	60
5. CONCLUSIONES	61
5.1. Resultados esperados.	61
5.2. Ventajas del prototipo.	61
5.3. Desventajas del prototipo.	62
5.4. Posibles mejoras al prototipo.	62
GLOSARIO DE TÉRMINOS	63
REFERENCIAS	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resultados del análisis físico de una silla de montar convencional.	Pág. 10
Tabla 2. Propiedades del acero para resortes C75	Pág. 37
Tabla 3. Eficiencia de refuerzo de materiales compuestos.	Pág. 42
Tabla 4. Propiedades de la resina poliéster.	Pág. 43
Tabla 5. Propiedades mecánicas de la fibra de vidrio.	Pág. 55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. . Centros de masa del conjunto jinete/caballo.	Pág. 11
Figura 2. Trayectoria del centro de masa del binomio jinete/caballo en el medio galope.	Pág. 11
Figura 3. Análisis de la trayectoria del centro de masa en el medio galope.	Pág. 12
Figura 4. Análisis de la trayectoria del centro de masa del binomio jinete/caballo al saltar un obstáculo.	Pág. 13
Figura 5. . Trayectorias de centros de masas del caballo y jinete superpuestas.	Pág. 14
Figura 6. Reacciones de las fuerzas implícitas al montar un caballo.	Pág. 16
Figura 7. Articulación sacrolumbar y componentes normal y tangencial del peso.	Pág. 17
Figura 8. Posición del menisco en la rodilla humana.	Pág. 19
Figura 9. Jinete y caballo saltando un obstáculo.	Pág. 20
Figura 10. Rodilla con ángulos de flexión y línea de la gravedad.	Pág. 20
Figura 11. Inserciones tendinosas en la rótula.	Pág. 22
Figura 12. Reacción rotulofemoral en la rodilla.	Pág. 22
Figura 13. Presión de los paneles de la silla de montar en el caballo.	Pág. 29
Figura 14. Piezas de la juntura de revoluta.	Pág. 33
Figura 15. Vista lateral del fuste correspondiente a la base.	Pág. 34
Figura 16. Vista frontal del fuste correspondiente a la base.	Pág. 35
Figura .17. Vista superior del fuste correspondiente al asiento.	Pág. 36
Figura 18. Vista lateral del fuste correspondiente al asiento.	Pág. 37
Figura 19. Interacción fibra matriz ante un esfuerzo.	Pág. 39
Figura 20. Gráfica tensión/posición cuando $l = l_c$	Pág. 40

Figura 21. Gráfica tensión/posición cuando $l > l_c$	Pág. 40
Figura 22. Gráfica tensión/posición cuando $l < l_c$	Pág. 41
Figura 23. Sistema masa / resorte donde actúa la energía potencial gravitatoria y del resorte.	Pág. 45
Figura 24. Sistema representativo del asiento del fuste.	Pág. 46
Figura 25. Dibujo que muestra a la base y el asiento acoplados.	Pág. 48
Figura 26. Tensiones generales que se ejercen en el fuste.	Pág. 49
Figura 27. Tensiones generales ejercidas sobre la zona anterior del fuste.	Pág. 50
Figura 28. Enrollamiento del material metálico con fibras para un eficiente contacto metal/matriz.	Pág. 51
Figura 29. Orientaciones de conjuntos de fibras en el asiento del fuste.	Pág. 52
Figura 30. Acoplamiento de la juntura de revoluta.	Pág. 54

RESUMEN

Silla de Montar Ergonómica para Equitación

Palabras clave:

Jinete, caballo, competencia ecuestre de salto, silla de montar, albardón, fuste, aciones, ergonomía, articulación lumbosacra, articulación de rodilla, amortiguador, juntura de revoluta, material compuesto, fibra de vidrio, rodamientos, flecha, esfuerzos, tensiones, centro de masa.

Abstract:

The knee articulations and horseman lumbar are put under the control of great efforts during equestrian practices, consequently a horse saddle was designed; it has a shock-absorber spring under the seat and two more actions which will be minimizing possible problems. The idea of this project is to avoid skeleton structure's craft manufacture by using moulds.

Resumen:

Con la realización de este proyecto se pretende aplicar la ingeniería en un campo de la industria en la cual predomina la manufactura artesanal, esto es, la elaboración de fustes para sillas de montar clásicas o albardones de una manera rústica, contruidos de uno por uno, y todos diferentes entre sí. Mediante la sustitución de la madera por un material compuesto como lo es la fibra de vidrio es factible la utilización de moldes, y por consiguiente la elevación de la productividad en la industria dedicada a la construcción de albardones. Otra ventaja que otorgará este proyecto es la marcada aminoración del alto impacto que sufren los jinetes al practicar la equitación debido a la locomoción equina en su modalidad de medio galope. Dicho impacto daña la articulación sacrolumbar y la de rodilla en el jinete. La solución que más fácilmente podría implementarse en el fuste, resultó en que este llevara resortes amortiguadores en la zona del asiento y en la zona de las aciones. De esta forma, el impacto en dichas articulaciones disminuiría significativamente, dando más seguridad al jinete en el momento de las prácticas de equitación. Por consiguiente, el prototipo de la silla de montar para equitación otorgaría al jinete beneficios ergonómicos en su bienestar físico. Por último, el material compuesto utilizado en el prototipo sustituirá a la madera de una manera eficiente, pues como se verá más adelante en el desarrollo del reporte, es mucho más resistente que la madera teniendo en cuenta una densidad aproximadamente similar de ambos materiales. Por lo tanto, el prototipo podría devenir en mejoras productivas, ergonómicas y mecánicas.

OBJETIVOS

Se analizará una silla de montar convencional de equitación sensando y midiendo variables mecánicas presentes en la silla cuando ésta es utilizada por un jinete y caballo.

Se diseñará un prototipo de silla de montar basándose en principios ergonómicos y en los datos arrojados en el análisis de la silla de montar convencional.

En la construcción del prototipo, la estructura interna o fuste de la silla de montar se elaborará de un material compuesto sustituyendo a la madera, que en general es la que se utiliza.

La silla de montar se probará con un jinete y caballo para demostrar que el prototipo de silla de montar ergonómica tiene un buen desempeño.

INTRODUCCIÓN

El presente reporte del Trabajo Terminal, abarca un periodo de dos semestres, en consecuencia es un compendio de las actividades realizadas en este tiempo. En el Trabajo Terminal I se hizo hincapié en el desarrollo teórico y el diseño de la idea propuesta, para que en el Trabajo Terminal II se plasmara físicamente en el diseño de un prototipo real. En este reporte se resumen con detalle las actividades realizadas para llegar al prototipo final, cumpliendo con los objetivos propuestos en el protocolo del Proyecto Final.

Las actividades se describen en forma estructurada mediante capítulos para dar al reporte en forma clara la secuencia de lo realizado. Se comienza por el capítulo de Antecedentes, donde se construye el marco teórico y se describe el estado actual de la elaboración de sillas de montar en la industria y el impacto directo de las sillas en el desempeño del jinete. Posteriormente se redacta el capítulo referente al Planteamiento del Problema. En este capítulo se realiza una exposición detallada de los objetivos del proyecto y el impacto directo sobre las sillas de montar clásicas convencionales para llegar a la necesidad de desarrollar un nuevo diseño que se cristalice en un prototipo que cumpla tales objetivos. De aquí se parte al capítulo siguiente que trata del Desarrollo de la Propuesta donde se describen los elementos empleados para la elaboración del prototipo. Por último, sigue el capítulo referente a la Validación del Sistema, en el cual se justifica lo descrito en el anterior capítulo, esto es, el soporte teórico y diseño se encuentra en este capítulo. Se finaliza con las Conclusiones y las referencias empleadas para la sustentación teórica de este reporte.

1. ANTECEDENTES

1.1. Historia del caballo.

El hombre se ha valido del caballo a lo largo de la historia en tal magnitud de aspectos, que aquella se escribiría de otra forma en el hipotético caso de que no hubiesen existido los caballos.

Probablemente fueron los nómadas del Asia central quienes domesticaron el caballo, aproximadamente unos 5000 años a. de C., y cabalgaron duramente sobre poneys salvajes utilizándolos para sus correrías, y posteriormente los introdujeron entre la gente civilizada del mundo antiguo. A partir de entonces, en mayor o menor grado la caballería fue la gran fuerza en el campo de batalla, influyendo destinos de naciones enteras.

En la actualidad la caballería no tiene lugar en la guerra moderna, pero todos los ejércitos del mundo siguen manteniendo pequeñas unidades de caballería para propósitos ceremoniales, como orgulloso recuerdo de los tres mil años de activo servicio militar del caballo. A pesar de esto, el caballo se sigue utilizando en el deporte ecuestre, las modalidades de competencia han ido en aumento y no es raro encontrar personas que se dediquen o al menos disfruten estas actividades.

Los descubrimientos de la Paleontología en los siglos XIX y XX [5] nos permiten conocer los orígenes del caballo. A principios de la época Terciaria, en el Eoceno inferior, es decir, hace aproximadamente de 60 a 40 millones de años antes de nuestra Era, es identificado el primer antepasado del caballo, el eohippus, animal que tenía la talla de un zorro.

Después, en la Era Terciaria apareció en América el orohippus, su talla es más elevada, alcanzando ya los 40 cm aproximadamente. En el Oligoceno (entre 40 y 25 millones de años), aparece el mesohippus, su altura se eleva a 50 cm., sus miembros son más largos que los de sus predecesores, posee tres dedos en los miembros posteriores y anteriores, siendo los dedos laterales menos aparentes. Surge el miohippus, caballo cuyos dedos laterales ni siquiera tocan el suelo.

Del miohippus surgieron dos ramas, una de ellas con el nombre científico de ancheterium emigró hacia Asia y Europa donde se extinguió. La otra, el hypohippus, permaneció en América hasta el Plioceno, emigrando por tierra a Eurasia. La rama principal que continuó viviendo en América se adaptó a la vida de las estepas, surgiendo el meryhippus, adaptado para mantener la carrera. Seguía teniendo tres dedos en cada extremidad, siendo los extremos muy reducidos, apoyándose prácticamente en el central.

El meryhippus de América se transformó en el pliohippus, caballo del Plioceno, periodo final de la Edad Terciaria, aproximadamente de 10 a 1 millón de años antes de nuestra Era. Este ya no presentaba ningún dedo lateral, siendo ya el primer y verdadero solipedo. A raíz de la primera glaciación, parte de ellos emigraron a América del Sur y allí desaparecieron. Los otros atravesaron otra vez el estrecho de Bering y se situaron en Asia, Europa y África,

donde sobrevivieron, llegando con ello al Pleistoceno, donde aparece el pleshippus, verdadero predecesor del actual caballo equus caballus.

El caballo salvaje es el último eslabón de la cadena, antes de que el hombre empiece a domesticarlo. Se conocen dos tipos de caballo salvaje, uno de ellos, el equus Przewalski, es el caballo salvaje de las estepas de Mongolia, en vías de extinción. El otro, extinto ya, es el equus caballus gmelini, el último de ellos fue muerto en 1879, cerca de Askania Wora, Rusia.

Del equus Przewalski descienden todas las razas temperamentales de caballos domesticados, pero se cree que del otro caballo salvaje, el equus caballus gmelini de mayor alzada, se obtuvieron las pesadas razas de tiro del norte de Europa. A partir de aquí, en función de las necesidades de la población, las diferencias entre las razas de caballos se acentuaron. En casos en que hubo necesidad de caballos rápidos, vigorosos y resistentes se utilizó al caballo árabe para mejorar la descendencia equina y así satisfacer exigentes requerimientos en actividades bélicas o meramente deportivas.

1.2. Historia de la equitación

En el 350 a. de C. Jenofonte, discípulo de Sócrates, crea el primer tratado de equitación. Tratado, cuyas enseñanzas van a perdurar durante toda la Edad Media, llegándose a utilizar hasta el siglo XVI, donde el esplendor de la Escuela Italiana, desbanca estas antiguas enseñanzas, a la vez que el empleo del caballo cobra una importancia tremenda, por ser el adiestramiento de unidades montadas, vital para la guerra. Así Pignatelli, introduce el concepto de adiestramiento, siendo su discípulo Federico Grisonnes quien, en 1561 escribe el tratado "Principios de la Caballería", transformando totalmente los principios de "equitación brutal" sostenidos en la Edad Media por el establecimiento del arte apegado a lo filosófico, del funcionamiento del conjunto Jinete-Caballo.

Durante los siglos XVII y XVIII, la escuela francesa es quien marca la pauta. De la Guernière en el XVII, introduce el concepto de "flexibilidad" en el cuello del caballo y crea la actual montura del Cadre Noir de Saumur, una de las Escuelas que sigue conservando sus más fieles tradiciones, basadas en el purismo del Arte Equestre.

La Escuela Italiana, vuelve a tomar las riendas a principios el siglo XX, siglo definido por la Gran Revolución Industrial, el invento de la máquina de vapor a finales del siglo XIX, llevó consigo la construcción de los primeros vehículos de motor y por tanto la sustitución de éste por el caballo, pasando a un segundo plano y produciéndose asimismo, un gran cambio en el empleo de la equitación. El uso del motor produjo una decadencia del caballo en el Ejército, aumentando la práctica del deporte.

Es Federico Caprilli, quien desarrolló la técnica moderna del salto, cambio del concepto de embocadura; en definitiva, crea lo que es conocido como "equitación natural", produciendo asimismo, una gran revolución ecuestre. En esta época, nos encontramos con dos tendencias claramente diferenciadas:

- Escuela Italiana: posición hacia delante o asiento ligero, equitación natural, equitación liberal.
- Escuela Francesa: Movimientos del jinete sutiles y discretos para ayudar al caballo. Equitación perfeccionista y por tanto más fría y conservadora.

Además de estas dos tendencias, no hay que olvidar la escuela Alemana y la Escuela Española de Equitación en Viena. Hasta 1882, tienen gran influencia las escuelas europeas en auge, dejándose llevar por éstas; esta actitud cambia con la creación en Valladolid, España, de una escuela para la formación de instructores. En 1902, se traslada a Madrid, manteniendo las influencias francesas, a pesar de la revolución de Caprilli.

Sin embargo, no fue sino hasta finales del siglo XIX cuando se introdujeron clases de saltos en algunas exhibiciones ecuestres, las cuales han evolucionado hasta los distintos tipos de competencias con las que se cuenta en nuestros días. Actualmente, las competencias hípicas tienen tres tipos de pruebas: las pruebas de saltos, las pruebas de adiestramiento o "doma" y la prueba de "los tres días" que en algunos países aún se conoce como "la militar".

Aunque en los Juegos Olímpicos de París en 1900, se introdujeron algunas pruebas de monta, no fue sino hasta 1912 en Estocolmo, cuando la equitación pasó a ser parte del programa olímpico, incluso la Federación Ecuestre Internacional (FEI) no se creó sino hasta 1921, pero desde entonces ha guardado un riguroso orden en las pruebas.

En cuanto a los jinetes, la FEI marca que en competencias internacionales, estas deben ser presentadas directamente por su Federación Nacional y deben tener un carnet que acredite ante la Federación su calidad de amateur o profesional.

Dentro de los Juegos Olímpicos compiten tres variantes de la Equitación:

- Salto de Obstáculos: El concurso hípico de salto de obstáculos es la más moderna especialidad del deporte ecuestre, que ha venido a convertir al deporte clásico de la equitación en un deporte espectáculo. El salto de obstáculos es un deporte muy especializado. Aunque el salto es el fundamento básico de este tipo de pruebas, no es el objetivo único: la precisión en el salto y la velocidad de ejecución son también dos compromisos que jinete y caballo deben superar. Si a ello unimos la complicada disposición de los obstáculos, a la que el caballo no tiene tiempo de adaptarse y que el jinete debe prever con suficiente antelación y la acrobática monta que requiere esta especialidad, nos daremos cuenta de la enorme dificultad que entraña este deporte.
- Adiestramiento: El concurso de Adiestramiento, es una de las modalidades de la Equitación más elegantes; en donde las aptitudes necesarias para desarrollar esta técnica son: Completo dominio y manejo del caballo (cambios de mano, trote largo, trote corto, galope largo y corto), posición del jinete excelente y manejar de manera perfecta todas las líneas de la pista (diagonales, vueltas, semivueltas, etc.)

- La prueba de los tres días: La prueba de los tres días es en donde se requiere que los jinetes sean mucho más versátiles ya que cada día se lleva a cabo una modalidad de la equitación diferente; en el primer día se hace la prueba de Fondo, en el segundo la prueba de Adiestramiento y en el tercer día culmina con la prueba de Salto de Obstáculos (a una altura mucho menor que en la prueba individual de Salto.)

De todo el programa olímpico, las pruebas ecuestres son en las únicas que hombres y mujeres compiten en igualdad de circunstancias, es decir, no se dividen en las tradicionales ramas: varonil y femenil. El Salto Ecuestre es la disciplina más popular de las tres.

Como ya se mencionó, el objetivo del proyecto se enfocará precisamente al Salto Ecuestre. Ahondando en sus raíces tiene sus orígenes en Irlanda, donde la cacería de zorro es muy común y las competencias de salto se comenzaron a realizar como entrenamiento para los caballos de caza.

La prueba consiste en que el binomio (caballo-jinete) deberá sortear una serie de obstáculos, generalmente de 12 a 15, colocados en una pista en el menor tiempo posible. Las penalizaciones llegan al derribar alguno de los obstáculos, o bien, la desobediencia de los corceles, errores en el recorrido o por extenderse en el tiempo acordado también son penalizados. En las agendas de los jinetes más importantes del mundo están los Juegos Olímpicos, la Copa del Mundo y los tres eventos de la Copa Pulsar, la que otorga las bolsas más jugosas de los deportes ecuestres.

1.3. La montura

Una montura es una estructura rígida que conecta estructuras dinámicas del caballo con el jinete. El calce y la posición de la montura afecta el movimiento del caballo y la habilidad del jinete para comunicarse con el animal. Las monturas contribuyen en mayor forma a una baja performance y a la conducta del caballo en todos los deportes. Antes de proseguir, se verán los antecedentes históricos de la silla de montar, así como las características generales de las monturas actuales.

En el siglo VIII a. c. los escitas emigraron a las estepas del norte del Mar Negro y en el año 700 a. c. llegaron a Asia Central, hasta la frontera de Grecia, pueblo con el que mantuvieron un importante intercambio comercial y cultural junto con otros de Europa Central.

A esta cultura se le atribuye la invención de la silla de montar, consistía en un cojín doble de cuero de aproximadamente 60 centímetros de largo que se sujetaba al caballo por medio de un cincho. Este tipo de montura proporcionaba al jinete una mejor distribución del peso, lo que facilitaba su equilibrio, además de contar con unas extensiones de cuero a manera de estribos.

Fue en la época bizantina cuando aparecieron elementos tales como la silla, la brida y las riendas. Sin olvidar que con la silla se crearon los estribos que fueron de gran utilidad para unos jinetes que tenían que buscar el máximo equilibrio en su caballo.

1.4. La silla de tipo clásico.

La silla de tipo clásico a veces llamada “albardón”, tanto la inglesa (que tiene el faldón más ahusado y alargado hacia abajo) como la italiana Pariani, famosa en todo el mundo (el faldón es más ancho y pronunciado hacia delante), está formada por un armazón de madera de haya reforzado por bandas metálicas y un revestimiento de cuero y piel. Existen varios tipos de silla: de doma (dressage), de caza, de polo, de carreras, de obstáculos, etc., de acuerdo al uso que se destinen. Esto no significa que sólo se empleen para ese uso concreto. Se puede afrontar tranquilamente obstáculos con una silla de caza, y viceversa, y lo mismo puede decirse de los demás modelos. Una silla normal pesa entre cinco y seis kilos; para ser apta para el caballo, su arco interior no debe ser ni demasiado estrecho ni demasiado ancho respecto a la cruz; no debe oprimir los riñones ni la columna vertebral.

La silla se complementa con la cincha, indispensable porque es lo que la sujeta al dorso. Por este motivo la cincha está sometida a notables esfuerzos; puede ser de cuerda, cuero o nylon. Si su colocación no es correcta puede provocar rozaduras. Otro complemento de la silla consiste en el llamado sudadero, avío o mantasilla, que impide que el sudor del caballo impregne la silla, pero sobre todo, evita que el contacto con la silla dañe la piel del animal. Los sudaderos más corrientes son de fieltro, piel de oveja o de tela guateada. La montura debe ser cómoda tanto para el jinete como para el caballo.

Para finalizar esta parte, las sillas de montar, en todas sus formas y tamaños, a lo largo de la historia humana, han sido construidas empíricamente, llevando consigo, eso sí, una evolución fundamentada en la experiencia del jinete sobre el caballo. Es decir, la montura en la historia de la humanidad ha llegado a ser lo que es gracias al sistema de “prueba y error”, al igual que las demás guarniciones con que se cuenta para el completo control del caballo.

Se tiene actualmente diferentes tipos de monturas, cada una con un uso específico, han llegado a poseer una determinada forma para facilitar la tarea por la que han sido creadas, implicando que cada cual evolucionó aparte, saliendo éstas de un nodo común hace siglos, por mencionar algunas sillas de montar utilizadas en el mundo tenemos a la “charra” o “mexicana”, la “texana”, la “australiana”, esta última resulta de una combinación de texana con albardón, etc.

1.5. Reglamentación.

La reglamentación internacional está subordinada al FEI (Federación Ecuestre Internacional), el cual como ya se mencionó se creó en 1921 como respuesta a la necesidad de una normatividad en cuanto a competencias hípicas. En una página de equitación chilena se pudo obtener esta información [8]. Cuando hay competencias internacionales como las Olimpiadas por ejemplo, deben acatarse a lo que está sustentado en el organismo, pero en caso de que sea una competencia regional, aparte de basarse en la FEI, se debe tomar en cuenta la reglamentación existente en cada país.

La silla de montar en una competencia hípica deberá pesar de 5 a 6 kilos aproximadamente y contar con unas 15 pulgadas de longitud, en cuanto a sus otras características, el reglamento no ha puesto normas, por lo que se tiene un relativo rango de "acción", en el diseño de la misma. En otras palabras, se puede decir que mientras se cumpla con el peso especificado en la FEI y su longitud, el diseño en su conformación puede tener variantes acentuadas con respecto al albardón clásico.

1.6. Ergonomía

Ergonomía es una disciplina nacida con el propósito de integrar, en la concepción de los sistemas de producción, los conocimientos existentes sobre el hombre en situación de trabajo. Con una sólida metodología e instrumentos de análisis que le son propios, la ergonomía se apoya en todas las disciplinas que convergen en su interés por el comportamiento humano en la producción y en el uso de los productos: desde la fisiología a las ciencias cognitivas, de la biomecánica a la sociología del trabajo, de la medicina a la ingeniería, la informática, etc.

La ergonomía utiliza ciencias como la medicina, la fisiología y la antropometría. La ergonomía se define como un cuerpo de conocimientos acerca de las habilidades humanas, sus limitaciones y características que son relevantes para el diseño. El diseño ergonómico [10] es la aplicación de estos conocimientos para el diseño de herramientas, máquinas, sistemas, tareas, trabajos y ambientes seguros, confortables y de uso humano efectivo.

El término ergonomía se deriva de las palabras griegas *ergos*, trabajo; *nomos* leyes naturales o conocimiento o estudio. Literalmente estudio del trabajo. La ergonomía tiene dos grandes ramas: una se refiere a la ergonomía industrial, biomecánica ocupacional, que se concentra en los aspectos físicos del trabajo y capacidades humanas tales como fuerza, postura y repeticiones. La otra rama se refiere al estado psicológico.

Un ergónomo tiene como misión, en su definición más conocida (y más restringida), la de "adaptar la máquina al hombre". La función del ergónomo en las empresas va más allá: concebir, conjuntamente con responsables técnicos, máquinas, organizaciones, dispositivos técnicos, formaciones, que permitan alcanzar los objetivos de la producción y al mismo tiempo garanticen el bienestar físico, psíquico y social de las personas.

La necesidad de proteger a los trabajadores, contra las causas de enfermedades profesionales y accidentes de trabajo, es una cuestión inobjetable. Estos problemas, que son propios de la legislación laboral, se proyectan en la ergonomía hacia una situación más radical: la adaptación de los métodos, instrumentos y condiciones de trabajo, a la anatomía, la fisiología y la psicología del trabajador.

Los factores de riesgo laboral más importantes son:

- Carga estática de trabajo
- Manejo incorrecto de cargas

- Trabajo físico exigente
- Mal diseño del puesto de trabajo

Como se puede ver, el concepto de ergonomía es muy amplio, y su aplicación lo es aún más. Casi todas las áreas de la vida que impliquen trabajo, ahí estará implícita la ergonomía. Es fundamental y necesario que se proteja al trabajador de cualquier daño, ya sea físico o mental.

La aplicación directa de la ergonomía en el proyecto de la silla de montar toma en cuenta el bienestar del jinete al montar un caballo. Partiendo de la actividad ergonómica, se tiene que el jinete profesional de salto, es un trabajador como cualquier otro que podemos encontrar en otras áreas laborales, y como trabajador que es, se busca mejorar sus condiciones de trabajo, tal y como lo plantea la ergonomía.

El área o campo de trabajo de un jinete es el caballo, las guarniciones (dentro de las guarniciones está la silla de montar), la pista donde practica y compete, etc. Uno de los elementos que interactúa directamente con el jinete y es básico para controlar el caballo es la silla de montar. La silla enlaza al jinete y caballo para volverlos uno solo en prácticas hípicas, soporta al jinete sentado sobre ella, y además los pies del jinete están en los estribos, "extensiones" de la silla de montar. Como se observa, la silla de montar es clave en el buen funcionamiento del binomio jinete/caballo, entonces, la silla de montar es la "herramienta" principal del trabajador ecuestre. Es inobjetable que la silla de montar se debe ergonomizar de alguna manera rediseñándola para beneficiar al jinete en su desempeño.

Como se observó en la introducción a este trabajo, el intentar resolver los problemas del jinete y por consiguiente mejorar sus condiciones de trabajo implica una aplicación directa de la ergonomía. En este particular caso, la ergonomía se enfoca hacia el deporte ecuestre. Las disciplinas que auxiliarán a la ergonomía en el diseño de la silla de montar serán la anatomía, la biomecánica, la ingeniería de materiales, entre otras.

El objetivo principal de este proyecto está inmerso en el campo de acción de la ergonomía y se buscará ante todo demostrar que la silla de montar puede mejorarse en cuanto a su forma y material en beneficio del jinete, y por que no, del caballo también.

1.7. Biomecánica.

El cuerpo del caballo está compuesto de un conjunto de segmentos rígidos articulados entre sí. Por consiguiente, el cuerpo del caballo, igual que el de cualquier otro animal incluido el hombre, sigue con exactitud las mismas leyes mecánicas de los cuerpos inanimados. Estas leyes deben aplicarse, sin embargo, con sumo cuidado puesto que las ecuaciones mecánicas que determinan los movimientos de un conjunto de segmentos corporales articulados son bastante más complicadas que las que causan el movimiento de un objeto rígido como, por ejemplo, una bala. Debido a que los organismos vivos siguen las leyes mecánicas de Newton, existen dos procedimientos complementarios para estudiar el cuerpo en movimiento: la cinética y la cinemática.

La cinética es un método que explica las causas del movimiento; la cinemática es un método más descriptivo que mide las características del movimiento en relación con el tiempo. El método cinemático se emplea más frecuentemente, quizás porque es más fácil medir y visualizar los desplazamientos o velocidades que medir e imaginar las fuerzas, momentos de fuerzas y aceleraciones aplicadas al cuerpo. Para poder entender las ventajas y limitaciones de los procedimientos técnicos basados en la cinemática y/o en la cinética, es conveniente profundizar en las definiciones teóricas de ambas disciplinas.

La cinemática estudia los cambios en la posición espacial de los segmentos corporales durante un tiempo concreto [12]. Los movimientos se cuantifican mediante variables lineales o angulares que relacionan tiempo, desplazamiento, velocidad y aceleración. La cinemática nunca hace referencia a las causas del movimiento. Por el contrario, la cinética o dinámica estudia la causa del movimiento que podría explicarse mediante la fuerza aplicada al cuerpo, su distribución y sus dimensiones. Está relacionada con fuerzas, energía y trabajo que, a su vez, también está relacionado con variables cinemáticas tales como la aceleración y la velocidad.

Como se observa, tal y como se puede analizar el caballo por sí solo, también se puede analizar al hombre, inclusive a ambos, interactuando por ejemplo en una práctica ecuestre. Para el desarrollo del proyecto de la silla de montar ergonómica será importante tener en cuenta los análisis biomecánicos del conjunto jinete/caballo, ya que es indispensable para el diseño del prototipo de la silla de montar.

1.8. Análisis de una silla de montar convencional.

Mediciones realizadas por los investigadores de biomecánica equina Hilary M. Clayton y Henk C. Schamhardt a una silla de montar convencional, hicieron posible el diseño de la silla de montar ergonómica, pues los datos arrojados fueron valiosos ya que no se tuvo que partir de cero en cuanto a la obtención de la información necesaria mediante los sensores y microcontrolador que se iban a necesitar al analizar una silla de montar clásica.

La pareja de investigadores analizó el comportamiento de la silla de montar en un trayecto corto, en el momento en que el binomio jinete/caballo trota velozmente e inicia un salto librando un obstáculo que está impidiendo el paso, tal y como en una competencia ecuestre. La información es extensa, ya que en la prueba los sensores otorgaron los datos a una alta velocidad. En vista a esto, se tomaron los datos relevantes al objetivo del proyecto terminal, esto es, cuando el jinete se ve sometido a una alta tensión en el momento de los impactos por el trote del caballo en el suelo, y los momentos en que el caballo inicia y culmina el salto.

Datos físicos generales de los participantes en la prueba

Masa del jinete: 70 Kg.

Altura del jinete: 1.73 m.

Masa del caballo: 485 Kg.

Altura del caballo: 1.68 m. (hasta la cruz).

Acción relevante del jinete y caballo.	Tensión en las acciones.	Fuerza ejercida en el asiento por el jinete.
EL conjunto Jinete/caballo permanece en reposo.	45 N	558 N
El conjunto jinete/caballo inicia la suspensión en el aire al efectuar un trote veloz.	50 N	577 N
El conjunto jinete/caballo toca el suelo luego de la suspensión en el aire por el trote.	102 N	950 N
El conjunto jinete/caballo inicia el salto de obstáculo.	353.2 N	0 N
El conjunto jinete/caballo toca el suelo después de haber saltado el obstáculo.	113 N	1270 N

Tabla 1. Resultados del análisis físico de una silla de montar convencional.

Se utilizaron dinamómetros electrónicos en las acciones y sensores resistivos para medir la fuerza ejercida del jinete hacia el asiento de la silla de montar. Los resultados de la prueba realizada en la silla de montar convencional, concuerdan con un análisis físico del binomio jinete/caballo, claro está, que no está de más contar con material adicional para dicho estudio, ya sea un video o fotografías tomadas a alta velocidad mientras se realiza el salto.

Como se observa en la tabla, hay lapsos en los que es importante conocer el comportamiento que el binomio ejerce sobre la silla de montar, como al despegar del suelo, arribar, en fin, todo movimiento que implique aceleraciones y desaceleraciones y que impacte directamente en la silla. Es fundamental conocer esto pues por la tercera ley de Newton, se sabe que todas las tensiones que ocurran en la silla de montar influirán directamente en el cuerpo del jinete, e interesa al proyecto cuantificar estas cantidades mecánicas y observar el impacto que tienen en las áreas vulnerables del cuerpo.

Ahora bien, existen largos lapsos en los que los sensores de la silla arrojaron datos, pero que no son relevantes al proyecto por la siguiente razón, las aceleraciones y desaceleraciones apenas se perciben, existen tales variaciones pues el caballo no es un marco de referencia inercial, pero se pueden despreciar para fines del objetivo de ergonomía en la silla de montar que requiere de aceleraciones de tal magnitud que impacten en la biomecánica del jinete en forma pronunciada, es decir, se necesitan sólo valores críticos en momentos críticos de la prueba ecuestre.

1.9. El medio galope del caballo y su relación con el jinete

En el trote veloz o medio galope, habrá instantes en que jinete y caballo estén suspendidos en el aire [6], comportándose como la trayectoria parabólica de un proyectil observando su centro de masa. Durante este intervalo de “suspensión” en el aire, la única aceleración que existe en el binomio es la de la gravedad, manteniéndose la velocidad constante, por lo que no existen variaciones marcadas en los sensores de la silla de montar. Entonces, si esto ocurre en el trote, con mayor razón ocurrirá en el salto del binomio, en donde habrá mayor velocidad inicial, mayor ángulo de “despegue” y por lo tanto mayor despliegue de energía por parte del caballo manteniendo una trayectoria parabólica en el aire mucho más larga que cuando el equino trotea. La siguiente imagen muestra los centros de masa del jinete y caballo.

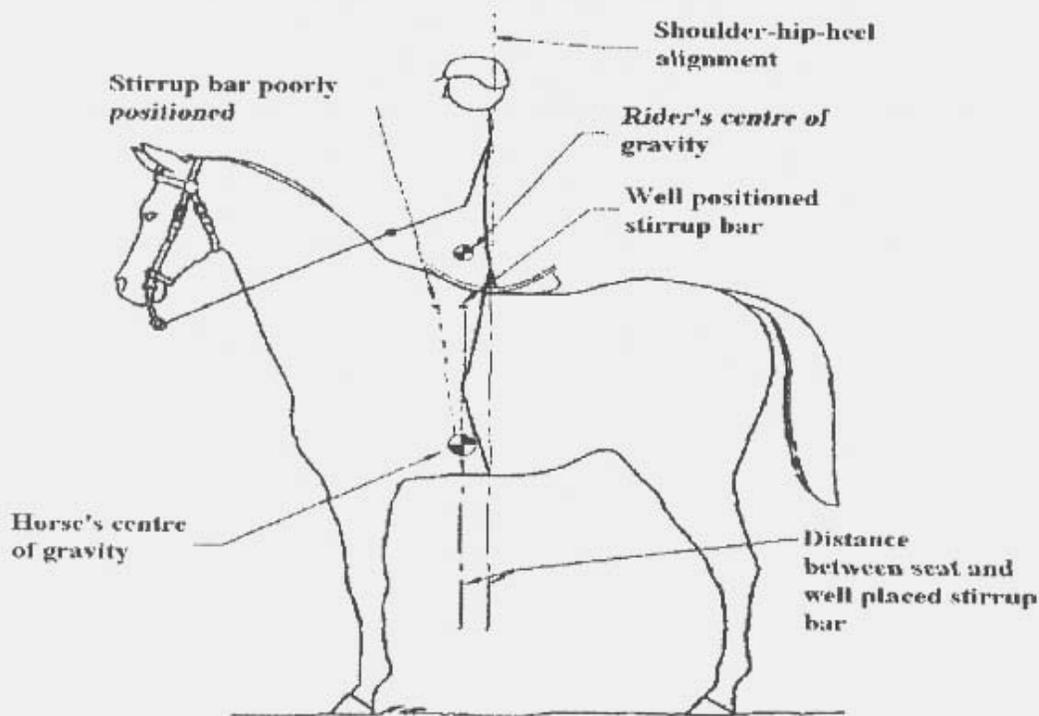


Fig. 1. Centros de masa del conjunto jinete/caballo.

Como se mencionó en la Introducción, el Trabajo Terminal I se complementó con el Trabajo Terminal II, se realizó una validación necesaria concerniente a ambos periodos, todo esto enfocado al diseño de la silla de montar ergonómica.

A continuación se hará un breve resumen sobre lo realizado en diseño. Basándose en el centro de masa de un equino y jinete, se tiene la siguiente trayectoria del mismo durante el medio galope, acción que es realizada por el binomio previo al salto de obstáculos.



Fig. 2. Trayectoria del centro de masa del binomio jinete/caballo en el medio galope.

Se puede observar idealizadamente una línea recta seguida de una curva parabólica, las cuales se alternan periódicamente. El análisis en esta parte del accionar equino, puede realizarse mediante fórmulas físicas de trayectorias parabólicas y movimiento rectilíneo uniforme. Enseguida se muestra otra figura de un salto del caballo en el medio galope.

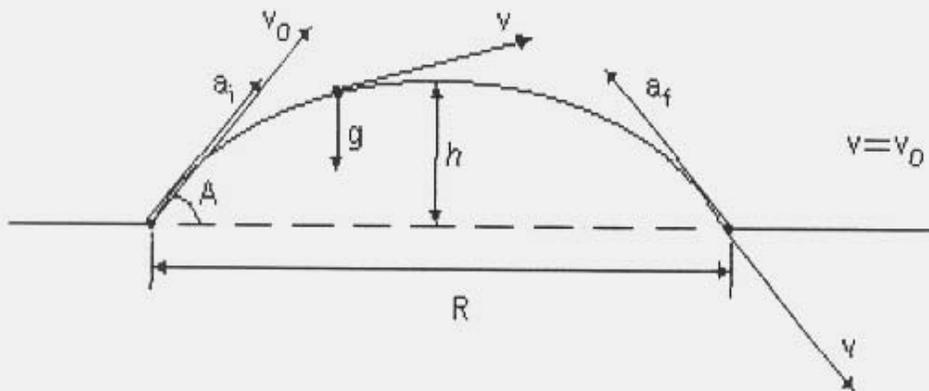


Fig. 3. Análisis de la trayectoria del centro de masa en el medio galope.

Donde la literal *a* son las aceleraciones iniciales y finales, la letra *v* las velocidades inicial y final, *g* la gravedad, *h* la altura máxima, *R* la longitud máxima y *A* el ángulo de despegue. La única aceleración actuante en la trayectoria parabólica es la gravedad, existe una aceleración inicial que da el impulso necesario para la elevación del conjunto jinete/caballo, y otra aceleración en sentido opuesto que desacelerará bruscamente al conjunto al tocar tierra. La velocidad se mantendrá constante durante la trayectoria, la cual estará dada por la velocidad inicial.

A continuación se darán las ecuaciones que tienen que ver con los cálculos de las variables necesarias para el diseño de la silla de montar ergonómica:

$$\begin{aligned}
 v_x &= v_o \cos(A) \\
 v_y &= v_o \text{sen}(A) - gt \\
 t_R &= 2v_o \text{sen}(2A) / g \\
 t_h &= v_o \text{sen}(2A) / g \\
 R &= (v_o)^2 \text{sen}(A) / g \\
 h &= (v_o)^2 \text{sen}^2(A) / 2g
 \end{aligned}$$

Para el análisis del salto del obstáculo el procedimiento es muy similar al anterior, con la única diferencia en que la trayectoria parabólica será mucho mayor, así como las variables de aceleración y velocidad serán más grandes. Se presenta abajo un esquema general del salto de obstáculo.

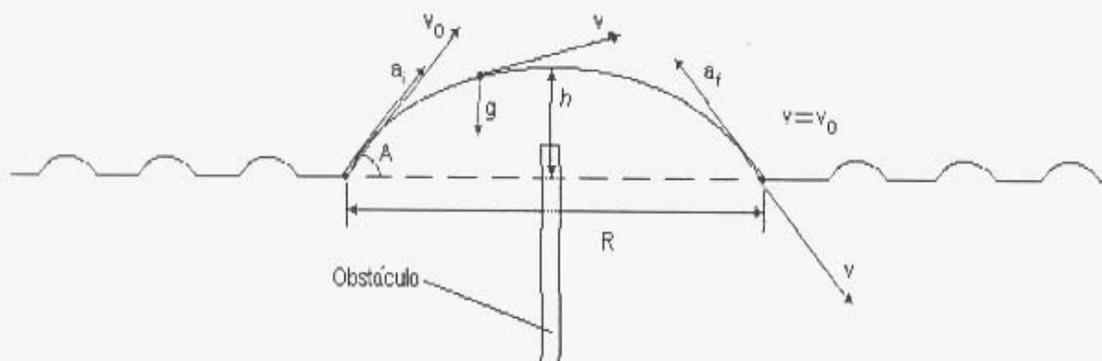


Fig. 4. Análisis de la trayectoria del centro de masa del binomio jinete/caballo al saltar un obstáculo.

Las ecuaciones que describen a las variables implicadas son las mismas que en el anterior análisis. Resolviéndolas para unas condiciones iniciales típicas para un medio galope y salto equino como lo es el ángulo de despegue, la velocidad inicial y la aceleración inicial, se tendrá la información suficiente para una descripción detallada del comportamiento de la silla de montar como enlace del jinete y del caballo.

Analizando que ocurre con el jinete sobre el caballo, se tiene que en la parte previa al salto del obstáculo, el jinete va sentado sobre la silla casi todo el tiempo, sólo en instantes el jinete al ritmo del medio galope que le otorga el caballo va moviendo su cuerpo para estar lo más posible en equilibrio, sus movimientos se centran en piernas (especialmente en las rodillas), y en cintura, al hacer su dorso hacia delante o hacia atrás. El centro de masa del jinete describe una trayectoria similar al del caballo, aunque no idénticas ya que aunque se consideran como conjunto, no pertenecen a un mismo cuerpo, y existen algunas diferencias, el enlace que tienen en común es el albardón.

La velocidad inicial del caballo al iniciar el salto se puede decir que es la misma para el jinete, pues el impulso inicial que se traduce en la velocidad la da el caballo y se transmite de forma íntegra al jinete al estar encima de este. Con la gran diferencia de que la inercia es manifiestamente desigual, casi con una proporción 1:6, siendo obviamente el jinete el de menor inercia. Esto implica que variables como R (alcance) y h (altura) son diferentes en ambos cuerpos, por la ley de la conservación de la energía mecánica, la altura y el alcance del jinete serán mayores que el caballo [14] ante un impulso dado compensando la menor inercia del hombre.

A continuación se observa un esquema sobre las trayectorias de los centros de masas del caballo y jinete al superponerlas.



Fig. 5. Trayectorias de centros de masas del caballo y jinete superpuestas.

La razón por la que ambas curvas sean tan similares tiene que ver con las posturas del jinete en todos los instantes del galope, que le permiten tener un equilibrio sobre el caballo y minimizar las diferencias, pero a pesar de esto, el jinete al tener un “atraso” al momento en que el caballo toca tierra, en forma brusca su cuerpo será desacelerado al volver a la silla de montar, y gran parte de la energía de la colisión se disipará por la columna vertebral del jinete, en forma específica en los discos intervertebrales de la zona lumbar.

En el salto de obstáculos, el jinete debe realizar algunos movimientos como el pararse sobre los estribos e inclinarse hacia la cruz del caballo cuando se inicia el salto, recuperar la vertical durante la suspensión en el aire y sentarse cuando el caballo toca tierra con una ligera inclinación hacia atrás para vencer la inercia que se trae durante el salto. A lo largo de todos estos movimientos, el jinete cambió de postura varias veces implicando un cambio en su centro de gravedad y entonces, afectando el centro de gravedad de ambos cuerpos. La labor del jinete es minimizar esta variación del centro de masa cuando utiliza diferentes posturas sobre el caballo.

Para fines prácticos del proyecto, es importante el lapso en donde el jinete está sentado sobre el albardón y cuando está totalmente parado sobre los estribos, que son los casos de máxima presión y tensión respectivamente en la silla de montar.

En cuanto al análisis en las acciones, puede dividirse en dos partes, cuando el binomio está en el medio galope y cuando se produce el salto del obstáculo. En el medio galope el jinete va sentado en casi todo el trayecto, por lo que la mayor parte de su peso lo soporta el asiento, las acciones solo soportarán el peso de las piernas y en lapsos un mayor porcentaje del peso del jinete.

En instantes las acciones tendrán poca tensión, esto es, cuando el caballo se impulsa y le transmite aceleración al jinete y vence su inercia, pero son instantes muy cortos, pues cuando el binomio en plena trayectoria parabólica tenga una velocidad constante, las acciones volverán a tener tensión, dependiendo de la postura del jinete en esos momentos.

Las tensiones máximas en las acciones estarán dadas cuando el caballo después del obstáculo toca tierra y como la inercia del jinete es ir hacia abajo entonces al ocurrir la repentina desaceleración, las acciones presentarán una tensión máxima, disipándose la energía en las propias acciones y ligamentos de las piernas del jinete, especialmente en las rodillas.

1.10. Impactos mecánicos en la zona sacrolumbar del jinete

En las pruebas ecuestres de salto, se tiene que el caballo en la mayor parte del tiempo que dura la prueba trotea a diferentes velocidades, esto, por la dinámica de las mismas pruebas que coloca obstáculos a lo largo de la pista donde caballo y jinete se desplazarán, es diferente a las carreras de caballos clásicas, pues en estas el caballo galopará, y este galope tiene diferencias marcadas contra el trote. Para empezar, en el galope, no existirá momento en el que el jinete y el caballo estén suspendidos sin tocar el suelo, el caballo tendrá una extremidad por lo menos tocando tierra. En cambio en el trote, esto no es así, habrá un lapso en el que el binomio no toque tierra, implicando pequeños saltos frecuentes en el desplazamiento del caballo, estos saltos impactan directamente al jinete al estar sentado sobre la silla. En conclusión, se infiere que el trote es la manera de andar del caballo que más daño hace al jinete.

Ante esto, se puede atisbar que el daño que se causa al jinete se acentúa cuando este es practicante de salto de obstáculos, y en cambio si practica las carreras de caballos el impacto mecánico se concentrará en la zona de las rodillas pues el jinete en toda la carrera no debe ir sentado en la silla. Pese a estos detalles biomecánicos en tan diferentes pruebas, el objetivo del proyecto terminal se mantiene en intentar proteger ambas zonas del jinete al efectuar su actividad.

1.11. Estructura de la columna vertebral

La columna vertebral, llamada comúnmente espina dorsal, está formada por una estructura de 32 a 34 huesos [4] llamados vértebras. Presenta cinco regiones bien diferenciadas:

Cervical: compuesta por siete vértebras.

Dorsal o torácica: compuesta por doce vértebras sobre las que se articulan las costillas.

Lumbar: con cinco vértebras.

Sacra: compuesta por cinco vértebras. Las cinco vértebras sacras están soldadas en el adulto, formando un hueso triangular (el sacro), que se mete en cuña entre los huesos de la cadera y forma la pared posterior de la pelvis.

Coccigea: compuesta por 3, 4 ó 5 vértebras atrofiadas.

Las vértebras del cóccix casi siempre están soldadas y muchas veces están unidas al sacro. El cóccix o rabadilla es la parte más rudimentaria de la columna vertebral humana.

Las vértebras. Cada vértebra está formada por un cuerpo redondo llamado cuerpo vertebral, constituido por un tejido óseo compacto, tras el que se encuentra un arco óseo (arco neural) que delimita un orificio llamado orificio raquídeo vertebral.

El disco intervertebral. El disco intervertebral es una especie de almohadilla situada entre cada dos vértebras. Está formado por un anillo externo fibroso, formado por cartilagos dispuestos de forma semejante a pequeños elásticos concéntricos, y por un núcleo interno gelatinoso que es deformable e incompresible; es algo parecido a una pequeña bolsa o cápsula llena de un líquido viscoso.

1.12. Funcionamiento del disco intervertebral

Cuando se ejerce una presión vertical sobre la columna vertebral, esta presión se trasmite de una vértebra a la siguiente a través del disco intervertebral. El núcleo gelatinoso tiene la misión de repartir las fuerzas en todas las direcciones. Las fuerzas son absorbidas por las plataformas vertebrales. Las fuerzas verticales y las oblicuas se transmiten a las fibras elásticas del anillo fibroso, que las absorben deformándose permanentemente.

Debido a su posición en la parte mas baja de la columna, los discos intervertebrales correspondientes a las vértebras lumbares, son los que más sufren, ya que deben soportar todo el peso de la columna y del tronco, permanentemente.

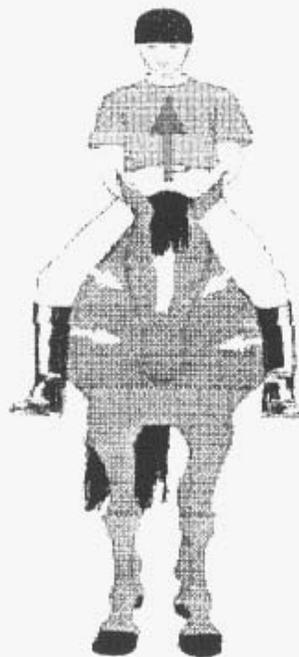


Fig. 6. Reacciones de las fuerzas implícitas al montar un caballo.

1.13. Análisis biomecánico de la región lumbosacra.

A continuación se mostrará un análisis biomecánico de la región lumbosacra ante esfuerzos producidos por la práctica de la equitación. Como se ha mencionado, el estudio realizado por la investigadora Hilary [1] lo realizó con un jinete de 70 Kg de masa, partiendo de un hombre de esta masa se realizarán los cálculos referentes a las articulaciones en la zona lumbar y en la zona de las rodillas.

Con un hombre de 70 Kg, unos 35 Kg de masa estarán sobre la articulación sacrolumbar. La línea de gravedad pasa a través del borde posterior de la articulación sacrolumbar. El ángulo sacro normal (ángulo que forma el borde superior del sacro con la horizontal estando el jinete erguido) es de aproximadamente 41° (Hellens y Keats, 1971).

En esta posición no necesita la fuerza de los erectores de la columna para equilibrar el peso sobrepuesto. Así, 35 Kgf es la única tensión dirigida hacia abajo sobre la articulación. El peso W se divide [11] en dos componentes: uno perpendicular a la superficie del sacro (C) y uno paralelo a la superficie del sacro (S).

El componente C actúa como fuerza compresiva sobre el disco interpuesto, mientras S actúa como fuerza de deslizamiento y tiende a hacer que la 5ª vértebra lumbar se deslice hacia delante sobre el borde superior del sacro.

$$C = (35\text{Kg})\cos(41^\circ) = 26.415\text{Kg}$$

$$S = (35\text{Kg})\text{sen}(41^\circ) = 22.96\text{Kg}$$

Enseguida se muestra una imagen de la articulación sacrolumbar con el peso y sus componentes normal y tangencial.

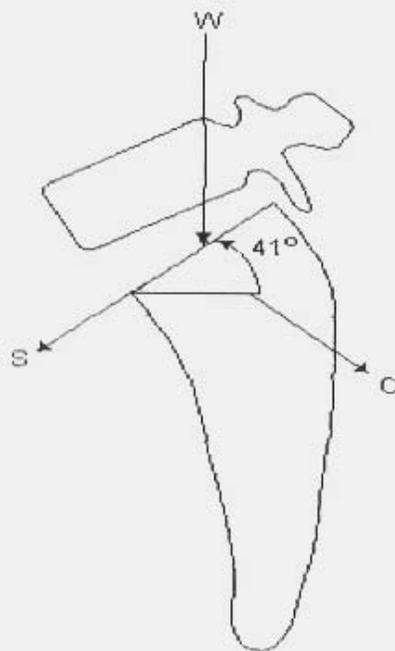


Fig. 7. Articulación sacrolumbar y componentes normal y tangencial del peso.

Se puede observar que el jinete estático sobre el caballo, tiene una fuerza de compresión en la articulación lumbosacra de 26.415 Kgf. A partir de esta fuerza de dirección vertical, se transmite hacia arriba en las otras articulaciones vertebrales con la proporcional disminución de fuerza según se vaya descontando la masa al ir subiendo.

Ahora, para tener la fuerza neta ejercida sobre esta articulación cuando el jinete trotó y salta con el caballo, debemos tener las aceleraciones que se sumarán a la gravedad y así poder sacar dicho cálculo.

Se tiene que el binomio al iniciar el salto de obstáculo, aproximadamente lo hace con 30° sobre la horizontal, el comportamiento de éste es ahora el de un proyectil en tiro parabólico manejando su centro de masa. Como la superficie es plana, la llegada del binomio al suelo luego de saltar el obstáculo será también de 30° , añadiendo que poseerá la misma velocidad que cuando inició el salto. Partiendo de aquí, se puede tomar la componente vertical de la aceleración en el momento en que toca el piso el binomio. Entonces se pueden aplicar la siguiente fórmula física, de impulso-momento:

$$Ft = m(v_f - v_i)$$

De donde m es la masa del binomio, t el tiempo de llegada del binomio al suelo, F la fuerza y v las velocidades inicial y final. Según análisis de un video de un salto de obstáculo real, se midió un tiempo de arribo de 0.3 segundos, además de una velocidad inicial de 8 m/s, la masa del caballo se manejará igual que el caballo de la prueba de Hilary. Estos datos se utilizarán en la fórmula.

$$F(0.3s) = (555Kg)(v_f - 0)$$

$$F = \frac{(555Kg)(8m/s)}{0.3s}$$

$$F = 14800N$$

Teniendo la fuerza, se puede calcular la aceleración con la masa del jinete y del caballo. Se deberá tomar la componente vertical de la aceleración, que es la que interesa por ahora.

$$a = \frac{F}{m}$$

$$a = \frac{14800N}{555Kg} = 26.67m/s^2$$

$$a = a\text{sen}(30^\circ) = 13.335m/s^2$$

Entonces, tomando el peso del jinete que es de 70 Kgf, con su articulación sacrolumbar que soporta una fuerza es de 35 Kgf, se observa que con esta aceleración, casi 1.36 veces la gravedad, la fuerza en la articulación aumenta considerablemente. Manejando Newtons, la fuerza sobre la articulación es de 466.725 N, o también 47.575 Kgf. La articulación sacrolumbar en estas condiciones tiene que soportar una tensión de 0.68 veces su propio peso. Como si en un instante el jinete erguido en el suelo cargara un bulto de 12.6 Kgf.

Ahora, se calcularán los componentes compresivos y de deslizamiento de la articulación lumbosacra.

$$C = (47.575Kgf) \cos(41^\circ) = 35.9Kgf$$

$$S = (47.575Kgf) \text{sen}(41^\circ) = 31.21Kgf$$

1.14. Estructura de las rodillas.

En cuanto a la zona de las rodillas, se tiene que los ligamentos y meniscos pertenecientes a la articulación, absorben y disipan la energía producida por los impactos. Los meniscos son estructuras fibrocartilaginosas cuyas funciones son soportar y distribuir una parte significativa de la carga que pasa a través de la articulación, absorber la energía provocada por los impactos, colaborar en la estabilidad de la rodilla y contribuir junto con otras estructuras a la lubricación articular. El menisco está compuesto básicamente por fibras de colágeno de tipo I agrupadas en forma de fascículos con cierta orientación preferencial en dirección circunferencial y en dirección radial en las zonas posteromediales. Las fibras de colágeno presentan valores elevados de rigidez y resistencia a tracción y, por tanto, su mayor contribución a las propiedades mecánicas del material se registra cuando están orientadas en la dirección de la carga, como ocurre con los tendones y los ligamentos.

A continuación se muestra un esquema donde se puede observar la posición del menisco en la rodilla humana.



Fig. 8. Posición del menisco en la rodilla humana

1.15. Análisis biomecánico de la articulación de la rodilla.

Ahora se verá que ocurre con la rodilla del jinete. En la postura de pie, la línea de la gravedad cae aproximadamente a través del eje de la articulación de la rodilla. Con la rodilla en extensión completa, el brazo de momento de la línea de la gravedad es de cero; por lo tanto no se necesita fuerza muscular para mantener el equilibrio en ese punto. La fuerza de compresión de la articulación es igual a la mitad del peso sobrepuesto, o aproximadamente 42.6 Kg para un hombre de 90.5 Kg. Al flexionarse la rodilla, sin embargo, la línea de la gravedad cae por detrás del eje articular.

Enseguida se muestra una imagen de un jinete en pleno salto, se puede apreciar bien la postura de sus miembros inferiores. Con base a esta y otras imágenes se realizó un análisis de la fuerza existente en la articulación de la rodilla en este momento del salto. El ángulo de flexión de las piernas en el jinete es similar en todo el proceso de medio galope y salto que se realiza, pero la explicación del por qué se escogió dicho momento del salto es porque el jinete va totalmente parado sobre los estribos, con sus piernas flexionadas y su torso inclinado hacia delante.

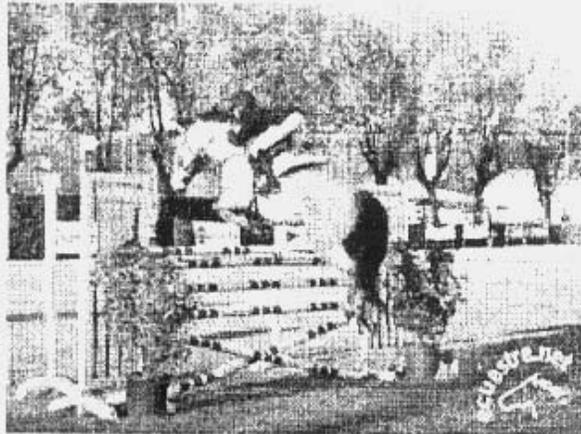


Fig. 9. Jinete y caballo saltando un obstáculo

Para el análisis se seguirá utilizando a un jinete de 70 Kg de masa, se calculará la fuerza del cuadriceps y la compresión en las articulaciones de las rodillas.

La flexión aproximada de la rodilla en el jinete es de unos 100° . Usando momentos de fuerza alrededor de la articulación [11] de la rodilla, se calcula la fuerza de cuadriceps. Se muestra una imagen de la rodilla con ángulos de flexión, línea de gravedad y datos necesarios para el cálculo.

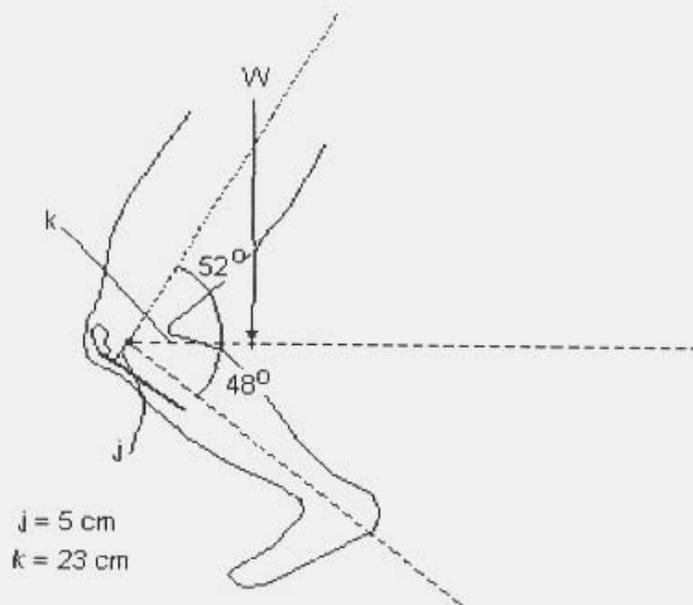


Fig. 10. Rodilla con ángulos de flexión y línea de la gravedad.

Para resolver la magnitud de la fuerza que el cuádriceps ejerce, se utilizará el siguiente procedimiento de sumatoria de momentos en equilibrio que a continuación se muestra.

$$\begin{aligned}\sum \text{Momentos} &= 0 \\ Wk + Mj &= 0\end{aligned}$$

De donde M es la fuerza muscular del cuádriceps, W el peso del jinete en Kgf y por último j y k las distancias que se pueden apreciar en la anterior imagen.

Despejando a la incógnita M, nos queda:

$$M = -\frac{Wk}{j}$$

El peso de una pierna, dada la ley de las proporciones biológicas para un cuerpo de masa de 70 Kg es de 3.15 Kg, por ser dos las piernas actuantes, da la cantidad de 6.3 Kg, entonces $70 \text{ Kg} - 6.3 \text{ Kg} = 63.7 \text{ Kg}$. Entonces:

$$M = -\frac{(-63.7 \text{ Kg})(23 \text{ cm})}{5 \text{ cm}} = 293 \text{ Kgf}$$

Pero como son dos las piernas sobre los estribos, nos queda una fuerza M de 146.5 Kg. Esto es:

$$M = 146.5 \text{ Kgf}$$

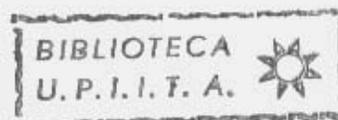
Se tiene entonces, que la fuerza de reacción articular es 2.09 veces el peso corporal en Kgf.

Ahora se determinarán las componentes articulares de compresión y deslizamiento. La componente de compresión articular (R_c) es perpendicular al platillo tibial y paralela al eje longitudinal de la tibia, mientras que la fuerza de deslizamiento (R_s) es paralela al platillo tibial. Esto es similar a la articulación sacrolumbar.

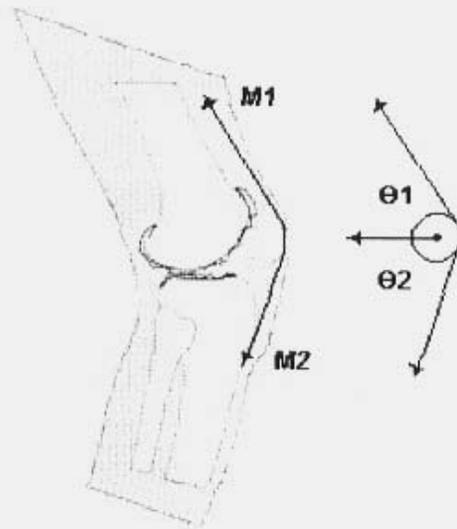
El platillo tibial tiene un ángulo de 42° con respecto a X. EL ángulo formado por la fuerza de reacción con el eje longitudinal de la tibia es de $48^\circ - 42^\circ = 6^\circ$. Por lo tanto, se tiene que:

$$\begin{aligned}R_c &= R \cos \theta = (-146.5 \text{ Kg}) \cos(6^\circ) = -145.7 \text{ Kgf} \\ R_s &= R \sin \theta = (-146.5 \text{ Kg}) \sin(6^\circ) = -15.31 \text{ Kgf}\end{aligned}$$

Las ecuaciones dieron para la fuerza de reacción de compresión una cantidad de 145.7 Kgf, valor que aumenta considerablemente al añadirse la aceleración a que es sometido el jinete en las pruebas ecuestres.



Ahora se calculará la fuerza de reacción de la articulación rotulofemoral. Esta fuerza es la equilibrante de la fuerza del músculo cuádriceps. Se muestran unas imágenes donde se aprecia esta reacción rotulofemoral.



Inserciones tendinosas en la rótula

Fig. 11.

La rótula tiene como analogía una polea móvil, como puede apreciarse en la imagen, por esto, M1 y M2 tendrán la misma magnitud de tensión.

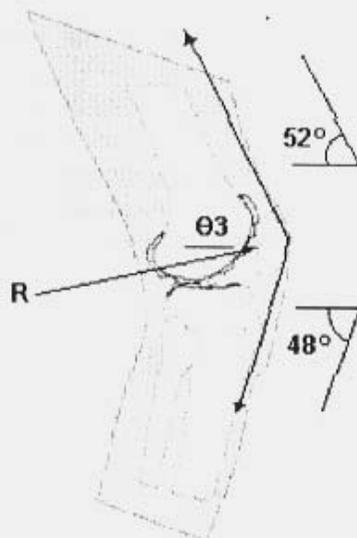


Fig. 12. Reacción rotulofemoral en la rodilla.

M1 y M2, como se mencionó ya, son iguales en magnitud, si se conoce θ_1 y θ_2 y la fuerza muscular M, entonces se puede calcular la fuerza de reacción de la articulación rotulofemoral.

La fuerza del tendón rotuliano se calculó en 146.5 Kg en cada pierna, entonces:

$$\sum F = 0$$

$$\sum F_x = 0$$

$$0 = M1\cos\theta_1 + M2\cos\theta_2 - R_x$$

$$R_x = (146.5Kg)(0.616) + (146.5Kg)(0.669) = 188.218Kgf$$

$$\sum F_y = 0$$

$$0 = M1\sen\theta_1 + M2\sen\theta_2 - R_y$$

$$R_y = (146.5Kg)(0.788) + (-146.5Kg)(0.743) = 6.57Kgf$$

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} = 188.315Kgf$$

$$\theta = 1.999^\circ \approx 2^\circ$$

Por lo tanto, la fuerza de reacción de la articulación rotulofemoral es hacia la derecha y ascendente, con una magnitud de 188.315 Kgf en cada pierna.

El análisis anterior fue para un jinete con piernas flexionadas en una posición estática, ahora, se hará lo mismo pero en el momento en que el caballo inicia el salto, cuando el jinete está de pie sobre los estribos y el jinete tiene la misma postura.

El caballo tiene su centro de masa aproximadamente a un metro del suelo, combinado con el del hombre sube solo un poco. Manejando el centro de masa a 1.15 m, y observando fotografías, se pudo obtener que en el salto, el centro de masa se eleva unos 2.30 m sobre el nivel del suelo, dando una diferencia de 1.2 m; la velocidad inicial es de 8 m/s y la final de 0 m/s, pues al manejarse solo componentes verticales, llega un momento en el punto máximo del salto en que la velocidad es cero; el tiempo que tarda el caballo en despegar también es de 0.3 s. Con estos datos, y usando la siguiente fórmula física, se puede calcular la aceleración.

$$y = \frac{1}{2}at^2$$

$$a = \frac{2y}{t^2} = \frac{2.4m}{(0.3)^2}$$

$$a = 26.67m/s^2$$

Si se observa, da la misma aceleración que cuando el binomio arriba a tierra luego del salto, esto es por su comportamiento parabólico. Usando la componente vertical de la aceleración, se tiene que:

$$a = a \text{sen}(30^\circ) = 13.335 \text{ m/s}^2$$

Y siguiendo con el análisis:

$$\sum \text{Momentos} = 0$$

$$Wk + Mj = 0$$

$$M = -\frac{Wk}{j}$$

Como son dos piernas, se prosigue:

$$M = -\frac{(-86.59 \text{Kgf})(23 \text{cm})}{5 \text{cm}} = 398.31 \text{Kgf}$$

$$M = 199.16 \text{Kgf}$$

Y calculando las componentes de compresión y deslizamiento:

$$Rc = R \cos \theta = (-199.16 \text{Kg}) \cos(6^\circ) = -198.06 \text{Kg}$$

$$Rs = R \text{sen} \theta = (-199.16 \text{Kg}) \text{sen}(6^\circ) = -20.82 \text{Kg}$$

Se puede observar la enorme tensión a la que son sometidas las articulaciones en su componente de compresión, casi 2.83 veces el peso corporal aplicado a cada una de las rodillas, añadiendo que el área de articulación conforme la pierna se flexiona disminuye, por lo que la presión aumenta aún más.

Ahora, se calculará la fuerza de reacción de la articulación rotulofemoral.

$$\sum F = 0$$

$$\sum F_x = 0$$

$$0 = M1 \cos \theta1 + M2 \cos \theta2 - R_x$$

$$R_x = (199.16 \text{Kg})(0.616) + (199.16 \text{Kg})(0.669) = 255.9 \text{Kgf}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$0 = M1 \text{sen} \theta1 + M2 \text{sen} \theta2 - R_y$$

$$R_y = (199.16 \text{Kg})(0.788) + (-199.16 \text{Kg})(0.743) = 8.96 \text{Kgf}$$

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} = 256.01 \text{Kgf}$$

$$\theta = 2.005^\circ \approx 2^\circ$$

Por lo tanto, la fuerza de reacción de la articulación rotulofemoral es hacia la derecha y ascendente, con una magnitud de 256.01 Kgf en cada pierna. Esta fuerza de reacción es de 3.66 veces el peso total del jinete, la tensión es muy alta.

1.16. Características ergonómicas de la silla de montar de equitación

Ahora se hará un enfoque hacia la ergonomía propia de la silla de montar convencional. Se tiene que en el mundo actualmente se realizan estudios ergonómicos acerca del diseño de una silla que pueda ser usada en el trabajo, en la oficina, inclusive en la escuela que cause el menor daño al usuario. Este diseño se basa en la forma del asiento de una silla de montar clásica, se está probando y su efectividad al parecer es buena. Se encontró en Internet este tipo de silla con el nombre de "Salli" [15]. Según estudios ergonómicos, la silla Salli evita los dolores en la espalda, hombros y en la nuca, mejora la circulación de la sangre en las piernas, y por tanto otorga un mayor bienestar físico que una silla típica utilizada en el hogar o lugar de trabajo.

De esta situación puede deducirse que la forma del asiento en la silla de montar se acopla anatómicamente bien a los glúteos y muslos del jinete. Claro está que existen diferencias marcadas en los contextos de una postura pasiva en una silla como Salli y de posturas activas sobre un albardón en una prueba ecuestre, pero no hay antecedentes de jinetes que por la forma del asiento de la silla de montar hayan tenido problemas de circulación en las piernas por ejemplo o que tengan problemas de dolores por la postura en la que el asiento los obliga a estar.

Es evidente que el asiento de las sillas de montar de alguna manera, a través de su evolución, ha llegado a ser ergonómico, o por lo menos tiende a serlo. Partiendo de aquí, el proyecto de la silla de montar ergonómica no contempla realizar cambios en la forma del asiento. El cambio que tendrá el prototipo de silla de montar ergonómica, será más bien de un implemento en el asiento que amortigüe los impactos que el jinete recibe al trotar o saltar el caballo, impidiendo que a largo plazo el jinete sufra un daño en la región sacra y en las vértebras lumbares. El daño puede cuantificarse gracias a los datos obtenidos sobre la fuerza que ejerce el jinete sobre el asiento.

1.17. Manufactura de un fuste típico

La construcción del fuste de un albardón, en general se realiza de manera artesanal. Se utiliza madera de haya, que es un árbol fagáceo de tronco grueso y liso de corteza gris, además tiene una copa redonda y espesa, y su madera es liviana y resistente. Las características de esta madera la hacen la más apropiada para la conformación de la estructura interna de una silla de montar pues le otorgarán resistencia y ligereza. Cuando se ha conformado el fuste de esta madera y se ha recubierto con papiro o tela, se le añade una tira metálica en el contorno de la parte inferior. El metal reforzará a la madera en gran medida y el papiro o tela unirá fuertemente las partes de madera que conforman al fuste.

Luego de esto, se le colocará la piel y los herrajes necesarios para tener lista una silla de montar de equitación o albardón.

El material que se utilizará para construir la estructura interna o fuste de la silla de montar ergonómica, será la fibra de vidrio, material compuesto análogo a la madera pues también posee fibras y una matriz que las aglutina, sólo que de una manera artificial. Este material sustituirá de manera eficaz a la madera de haya y le dará mejores propiedades mecánicas al prototipo de la silla de montar ergonómica.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

A continuación se plantearán de manera general los problemas que el proyecto de la silla de montar ergonómica se propone combatir y solucionar. El problema principal está dado en el alto impacto a que es sometida la articulación sacrolumbar del jinete, al igual que las articulaciones de las rodillas. Otro problema es la extremada rigidez de los fustes de madera y metal comunes en los albardones que afecta directamente al caballo. Y por último la manera artesanal de construir los fustes puede ocasionar que no tenga un buen calce en el caballo.

2.1. Evolución de las sillas de montar

Las sillas de montar, en todas sus formas y tamaños, a lo largo de la historia humana, han sido elaboradas empíricamente, llevando consigo una evolución. Dicha evolución está fundamentada en la experiencia del jinete sobre el caballo, es decir, la montura en la historia de la humanidad ha llegado a ser lo que es gracias al sistema de "prueba y error", al igual que las demás guarniciones con que se cuenta para el completo control del caballo.

Se tiene actualmente diferentes tipos de monturas, cada una con un uso específico, han llegado a poseer una determinada forma para facilitar la tarea por las que han sido creadas, implicando que cada cual evolucionó aparte, saliendo éstas de un nodo común hace siglos. De todas las sillas de montar existentes en la actualidad, particularmente para el desarrollo del proyecto, la atención se enfocará en la silla de montar llamada comúnmente "albardón", montura que es utilizada en las competencias ecuestres de salto en todo el mundo.

2.2. La equitación como deporte y su problemática.

En todos los deportes existentes siempre hay un esfuerzo físico específico. Por ejemplo en el fútbol el esfuerzo físico se concentra especialmente en las piernas, en el tenis los esfuerzos están en los brazos y piernas, en el patinaje la fuerza principal es dada por las piernas, y así, se pueden listar un gran número de deportes con sus respectivos esfuerzos corporales máximos. El deporte que corresponde a los objetivos del proyecto es la equitación, que al igual que en otros deportes hay un esfuerzo físico permanente en su práctica. En la equitación, todo el cuerpo debe estar finamente controlado para llevar al caballo a realizar con destreza las pruebas a las que serán sometidos ambos. Las partes del cuerpo del jinete que están en un esfuerzo máximo y continuo son las piernas y brazos en general, aunque como la postura del jinete es en todo momento muy importante, también trabajan la espalda baja y el abdomen.

La equitación es un deporte en equipo que consta del caballo y jinete, en donde el miembro caballo, realiza un gran esfuerzo físico, pues es el que trota, salta y soporta en su lomo al jinete, y este último lleva el control total del primero. El caballo al realizar medio galope en las pruebas ecuestres transmite impulsos y aceleraciones al cuerpo del jinete de abajo hacia arriba, esto produce una compresión en la espalda baja del jinete, pues actúa una fuerza hacia arriba dada por el caballo y otra hacia abajo dada por la masa superior del jinete, luego entonces la equitación es un factor de riesgo para padecer dolores de espalda, además muchos jinetes profesionales terminan padeciendo estos dolores. En primer lugar,

esto se debe a la vibración que conlleva la equitación que genera carga sobre el disco intervertebral y es un factor de riesgo para su futura degeneración y protrusión o hernia. En segundo lugar, el jinete necesita mantener su espalda recta a pesar de que los movimientos del caballo alteran constantemente la posición de su pelvis. Para mantenerse erguido y compensar ese efecto, debe trabajar constantemente la musculatura de la espalda.

En teoría debería aconsejarse a todo jinete que padezca dolor de espalda y en especial de la columna lumbar, ya no seguir con su actividad hipica, dado que las presiones que sufre la columna tanto en el trote como en el galope pueden ser de marcada intensidad. Sin embargo, aunque el jinete profesional sea un consumado experto, no deja de estar libre de algún daño físico que se traduciría en un bajo rendimiento al realizar sus actividades ecuestres. A todo lo anterior, hay que añadir que también una zona corporal del jinete sensible a las tensiones dadas por la práctica de la equitación es la rodilla. Los ligamentos y meniscos de la rodilla absorben las fuerzas excedentes que impedirían al jinete mantener su postura sobre el caballo, a todo momento las rodillas deberán “disipar” pequeñas o grandes tensiones, dependiendo del momento en la prueba ecuestre.

2.3. Dificultades en la construcción de sillas de montar.

Existe otra problemática en la práctica de la equitación con referencia al caballo y es a causa de la silla de montar. Hay veces que la construcción en madera de la silla ha sido asimétrica y hay estructuras sobresalientes en ella que puedan causar lesiones en la espalda del caballo. Cuando el problema es amplio en la silla, ninguna posición de esta en el caballo será la apropiada.

En la estructura interna de la silla de montar o fuste es importante que exista espacio suficiente en el eje longitudinal para que la espina dorsal se mueva con libertad de presión. Los ángulos de los paneles deben seguir los ángulos de caballo. Sillas con ángulos muy agudos ponen mucha presión en las esquinas de afuera del panel, creando dolor en el centro del músculo longissimus dorsi. Un importante aspecto para verificar la correcta posición en la silla de montar es que se debe ver balanceada cuando se mira lateralmente.

Encontrar la silla apropiada, hacerla calzar y mantenerla cómoda para el caballo no es una tarea fácil. Por otro lado los caballos no pueden explicar exactamente donde se sienten incómodos. Inicialmente las sillas de montar eran hechas a la medida, pero con el tiempo y la mecanización de la industria este rubro se ha convertido en una buena forma de ingresos para las compañías manufactureras. Esta producción en masa ha traído como consecuencia problemas de calce. La única manera de saber si la silla de montar es la correcta es probándola en el caballo y montando por algún tiempo, desafortunadamente esto no es posible.

La mayoría de los fustes de los diferentes tipos de monturas que existen están hechos de madera, su construcción se hace de manera artesanal, y como se mencionó antes, las estructuras internas de las sillas de montar se producen según medidas estandarizadas en función de una mejor productividad en la industria manufacturera. En la actualidad apenas se empieza a sustituir la madera por otros materiales como lo es la fibra de vidrio, PVC, o algún otro polímero. El fuste del albardón como se mencionó está hecho en general de

madera reforzada con tiras de metal que le dan a la estructura la suficiente rigidez y resistencia necesarias para el continuo trajín a que son sometidos en las diferentes pruebas ecuestres. Se tiene pensado sustituir el material del que está construido el fuste por otro que ofrezca las conocidas cualidades y aparte tenga más virtudes como lo serían una mayor resistencia, ligereza, flexibilidad, etc., además de un costo relativamente bajo. El material que más se apega a lo anterior es la fibra de vidrio.

El diseño de la montura ergonómica, podrá evitar un problema común en la construcción de sillas de montar, este problema es el mal calce de la silla a la espalda del equino. No en todas las sillas ocurre esto, pero si en una gran parte, y como se mencionó anteriormente, esto se debe a la producción artesanal en serie basada en medidas estandarizadas. No a todos los caballos de proporciones similares les quedará bien una determinada silla de montar. El problema del calce, tiene su base específicamente en el arco y ángulo que forman la silla de montar, que por ser de madera y reforzada con tiras metálicas estos no cambian. La ventaja de usar la fibra de vidrio radica en que tendrá una cierta flexibilidad sin sacrificar por ello resistencia, lo que ocasionará que el ángulo tenga un cierto rango de variación. Entonces la silla de montar con un fuste de fibra de vidrio, podrá quedar bien a un mayor número de caballos en comparación a un fuste convencional de madera y metal.

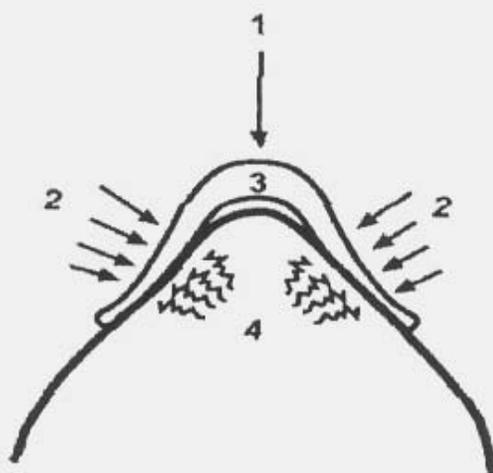
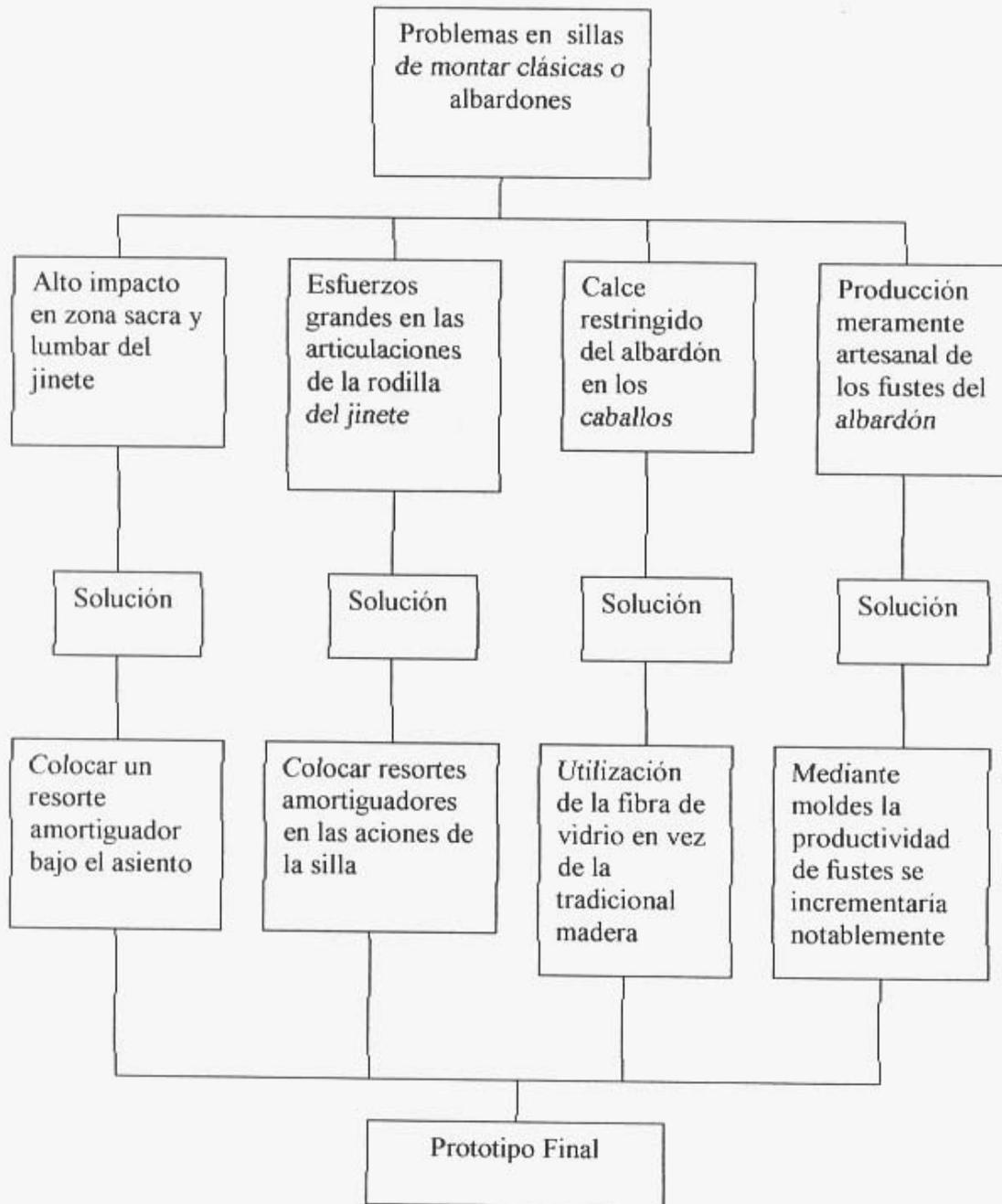


Fig. 13. Presión de los paneles de la silla de montar en el caballo.

En el capítulo referente a los antecedentes, se menciona algo sobre los reglamentos. Estos reglamentos en el proyecto se consideran muy importantes, especialmente los de salto con obstáculos, la razón de esto es para no violentar los apartados existentes sobre las características generales de la silla de montar, especialmente el peso de 6 Kg y su longitud de aproximadamente 15 pulgadas.

En la siguiente página se muestra un diagrama de bloques que resume sustancialmente lo escrito aquí. Se muestran los problemas y las soluciones que el proyecto intenta solucionar.

2.4. Diagrama de bloques de la solución a los problemas propuestos.



3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA.

3.1. Construcción del modelo para la elaboración de los moldes.

Al inicio de la construcción del prototipo del fuste de la silla de montar ergonómica se tuvo que hacer un modelo “patrón” que permitiera obtener los moldes necesarios para el vaciado. Este modelo se realizó siguiendo el diseño en cuanto a sus medidas y forma, al mismo tiempo un modelo a escala 3.5 : 1 realizado previamente facilitó su elaboración y visualización tridimensional que muchas veces los dibujos planos no otorgan.

Se pensó cual material sería el idóneo para hacer el modelo, la madera fue una opción, pero por su dureza sería difícil trabajarla en una tarea que no debiera ser tan complicada. A la misma conclusión se llegó con la resina poliéster con carga de calcita, que se utiliza comúnmente en figurillas escultóricas que son ampliamente comercializadas. Finalmente se optó por papel periódico unido con resistol blanco, esto facilitaría el armado del modelo y a la vez se cortarían con navaja aquellas partes que no quedarán bien. El papel periódico se montó sobre un esqueleto de alambre, armado de tal forma que permitiera respetar las medidas del diseño. De esta manera se construyó el asiento de la silla y la base que estará en contacto directo con el caballo.

Cuando ambas piezas hubieron secado, se recubrieron totalmente con resanador automotriz. El resanador automotriz tiene como base a la resina poliéster, se toma un poco, se mezcla con un catalizador y se unta sobre la superficie deseada. Se endurece en minutos y es fácil lijarlo o desbastarlo. Así, se realizó sobre la superficie de papel de ambas piezas. A partir de aquí todo fue desbastar en esmeril, lijar y resanar hasta llegar a la forma requerida. Con lijas finas se pulieron las piezas y quedaron listas para servir de patrones para los moldes.

3.2. Elaboración de los moldes.

Para la elaboración de los moldes se utilizó el caucho de silicón y la fibra de vidrio como soporte del primero. El caucho se comercializa con un diluyente y un catalizador, este debe mezclarse con un caucho ya diluido con una proporción de 3 % del volumen total del material, y al igual que el resanador automotriz, endurece en minutos. El caucho debe aplicarse directamente sobre las piezas, creando una capa sobre la superficie determinada, después, debe colocarse tiras de fibra de vidrio con resina poliéster encima del caucho, para que cuando la resina endurezca tome la forma que tiene la capa exterior del caucho y sirva como soporte del caucho en el momento del vaciado.

Las partes que conforman al molde varían según la complejidad de la pieza. El asiento del molde es una pieza sencilla, por esto solo bastaron dos partes para conformar el molde.

En cambio, la pieza de la base, es un poco más compleja y se necesitaron cuatro partes para conformar al molde. Es importante mencionar que gracias a las características mecánicas del caucho, los moldes pueden reutilizarse ampliamente, permitiendo numerosos vaciados y por lo tanto muchos fustes, evitando tener que realizar a mano cada uno de ellos. Los moldes para lograr una larga vida, deben tener un cuidado y mantenimiento, en el caucho

del molde, por ejemplo, debe untársele diluyente cada cuatro o cinco vaciados aproximadamente, esto es para conservar de la mejor manera su superficie.

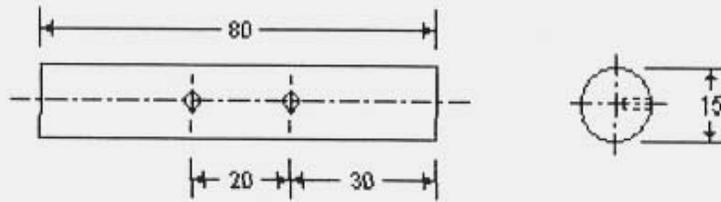
3.3. Vaciado de las piezas y obtención del prototipo final.

Por último, se tiene el vaciado de la pieza con sus aditamentos mecánicos respectivos. Como se ha mencionado a lo largo de este reporte, el cuerpo del prototipo estará constituido de fibras de vidrio unidas por la matriz polimérica. Sobre las características de la fibra de vidrio, en el capítulo sobre la validación del sistema puede encontrarse información suficiente.

Enseguida se muestran dibujos que describen las dimensiones de las piezas constituyentes del fuste. En el capítulo referente a la validación del sistema se explica como van constituidas para conformar el prototipo final.

En la página siguiente se muestra un dibujo de los elementos que sujetarán a los rodamientos, otro de una flecha o eje y por último el de una abrazadera donde irá montado el asiento del fuste.

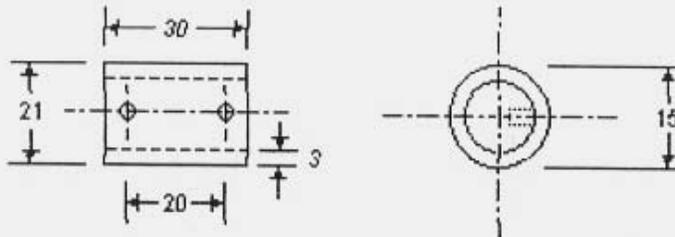
Pieza 1



Unidades: mm
Material: Acero 1045

Barrenos : 1/8 pulg.
Cuerda con machuelo estándar.

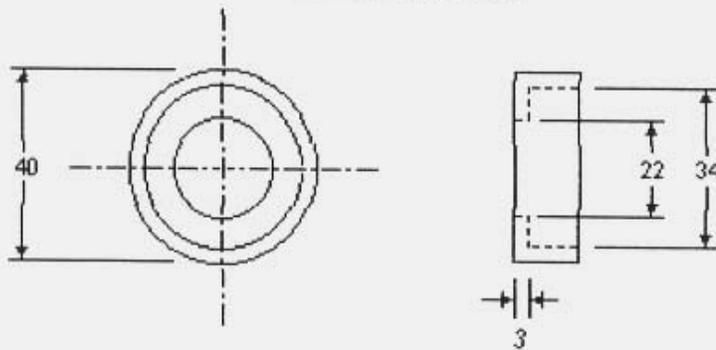
Pieza 2



Unidades: mm
Material: Acero 1038

Barrenos: 1/8 pulg.

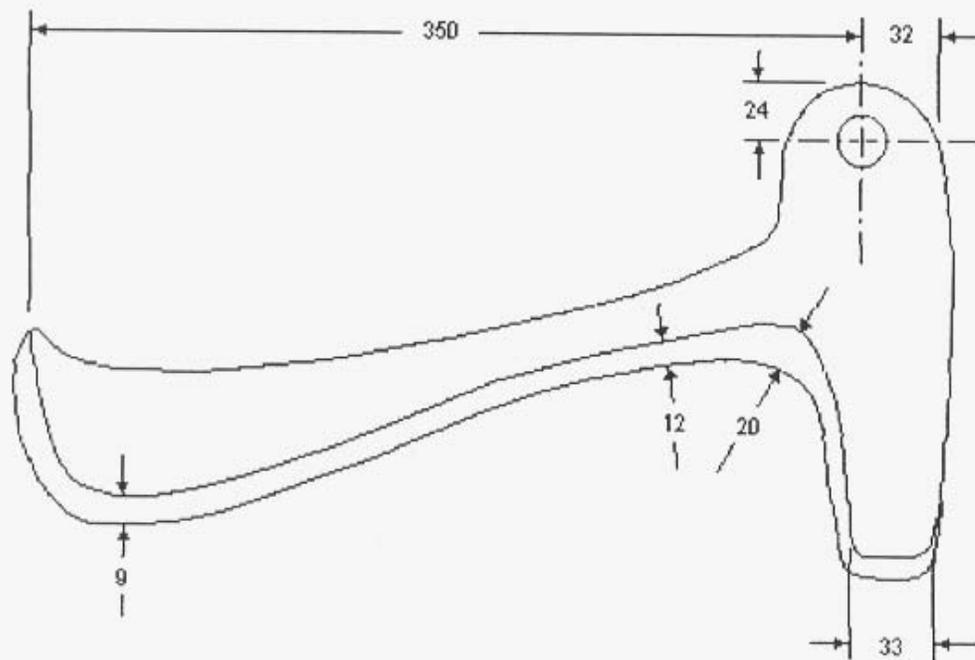
Pieza 3



Unidades: mm
Material: Acero 1045

Fig. 14. Piezas de la junta de revoluta.

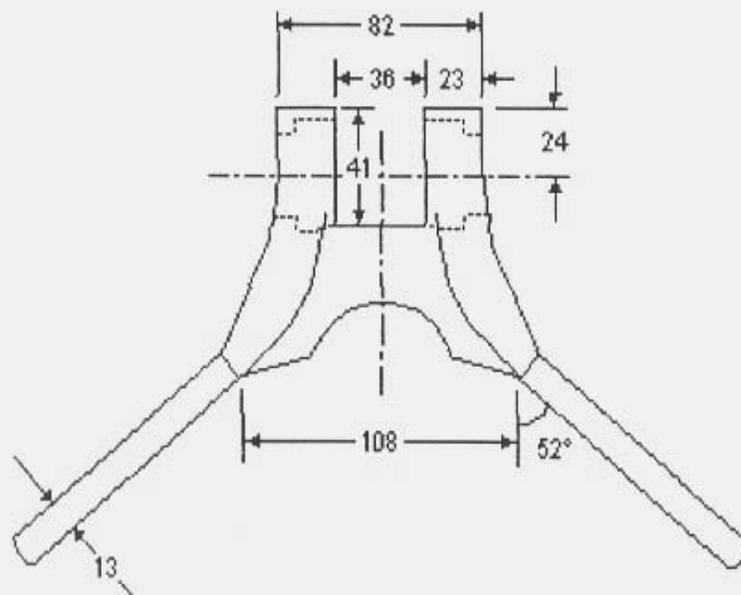
Ahora, se apreciarán los dibujos del diseño dimensional del fuste prototipo. Pertenecen a las vistas lateral y frontal respectivamente.



Unidades : mm
Material: Fibra de Vidrio

Barreno : 22 mm

Fig. 15. Vista lateral del fuste correspondiente a la base.



Unidades: mm
 Material: Fibra de vidrio

Fig. 16. Vista frontal del fuste correspondiente a la base.

Con los dibujos mostrados puede inferirse el montaje final. Por ejemplo, los rodamientos irán colocados en sus "cajas" metálicas, y a su vez estos soportarán la flecha con la abrazadera. Los porta/rodamientos estarán colocados en la zona anterosuperior central del fuste, por lo que esta zona se destinará a la junta de revoluta que otorgará al asiento un movimiento angular con respecto a su parte anterior.

En las siguientes página se aprecian los dibujos del asiento en sus vistas superior y lateral respectivamente.

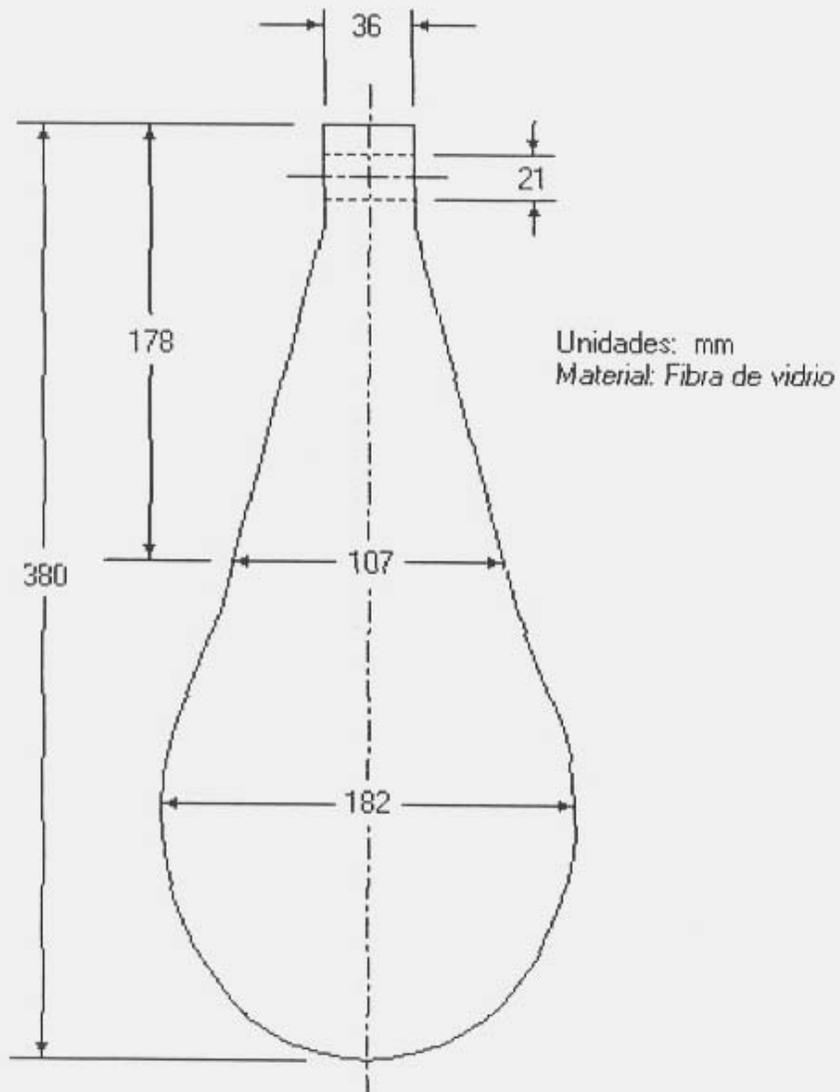
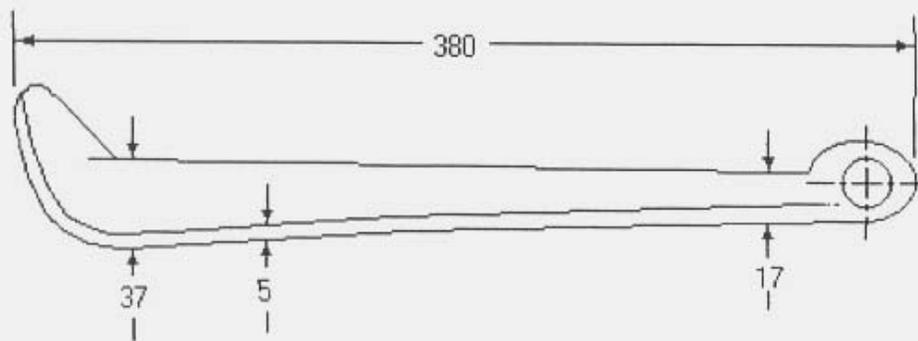


Fig. 17. Vista superior del fuste correspondiente al asiento.



Unidades: mm
 Material: Fibra de vidrio
 Radio de la cabeza = 35 mm

Fig. 18. Vista lateral del fuste correspondiente al asiento.

En cuanto al resorte, elemento indispensable en la ergonomía requerida en el fuste, se mandó hacer uno con una constante de 600 lb/pulg. El diseño teórico del resorte arrojó una constante de 642 lb/pulg. El cálculo de esta constante viene dado en el siguiente capítulo, que trata sobre la validación del sistema.

El resorte posee 72 mm de largo, 60 mm de diámetro y el calibre del alambre es de 7 mm. Como resultado de la carga solicitada se tienen en realidad 3 espiras, dos fijas en los extremos y una más en medio totalmente funcional. El material utilizado para la manufactura del resorte es el acero para resortes C75, templado y revenido.

Módulo elástico axial	Esfuerzo por tensión A	Esfuerzo por tensión B	Esfuerzo por tensión C	Módulo elástico Angular G	Esfuerzo por torsión
210 000	750	350	120	80 000	500

Tabla 2. Propiedades del acero para resortes C75 (N / mm²)

Los rodamientos a utilizarse en el prototipo del fuste, son comunes. Tienen 15 mm de diámetro interno, 34 mm de diámetro externo y un ancho de 14 mm, como se ha visto, soportarán ambos la flecha donde estará el asiento del fuste acoplado.

En cuanto a las soleras que estarán “ahogadas” dentro del cuerpo del fuste, tienen medidas de 10 mm de ancho por un espesor de 3 mm. A todo lo largo del cuerpo del metal, habrán barrenos de 1 / 4 de pulg. Estos barrenos otorgarán una mejor sujeción al metal en el cuerpo

polimérico. En las áreas del asiento y la base donde el resorte irá atornillado, habrá solera desnuda, las dimensiones de esta solera son de 100 mm por 100 mm con un espesor de 5 mm. Estas soleras llevarán 4 pares de barrenos que permitirán una sólida sujeción del resorte a ambas placas.

4. VALIDACIÓN DEL SISTEMA.

4.1. Características mecánicas del material matriz-fibra.

Los materiales compuestos reforzados con fibras se subclasifican por la longitud de la fibra. En el caso de las fibras cortas, estas suelen ser demasiado cortas para conseguir un apreciable aumento de resistencia.

4.1.1. Influencia de la longitud de la fibra.

Las características mecánicas [13] de los compuestos reforzados con fibras dependen no sólo de las propiedades de las fibras, sino también del grado en que una carga aplicada se transmite a la fibra por medio de la fase matriz. En este proceso de transmisión de carga es muy importante la magnitud de la unión en la intercara de la fase matriz y fibra. Al aplicar un esfuerzo de tracción, la unión fibra-matriz cesa en los extremos de la fibra y en la matriz se genera un patrón de deformación; en otras palabras, en los extremos de la fibra no hay terminación de carga desde la matriz.

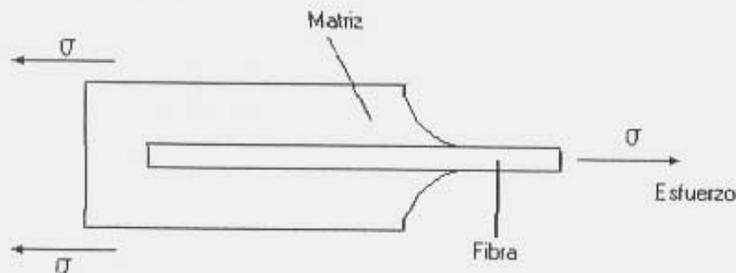


Figura 19. Interacción fibra matriz ante un esfuerzo.

Existe una longitud de fibra crítica para aumentar la resistencia y la rigidez del material compuesto. Esta longitud crítica l_c depende del diámetro d de la fibra, de la resistencia a la tracción σ_f y de la resistencia de la unión matriz-fibra (o resistencia de cizalladura de la matriz) τ_c :

$$l_c = \frac{\sigma_f d}{\tau_c}$$

La longitud crítica de algunas combinaciones de matriz-fibra de vidrio y de carbono es del orden de 1mm, equivalente a unas 20 a 150 veces el diámetro de la fibra.

Cuando se aplica un esfuerzo σ_f a una fibra que tiene una longitud igual al de la crítica, los resultados del perfil del esfuerzo posición se muestra enseguida:

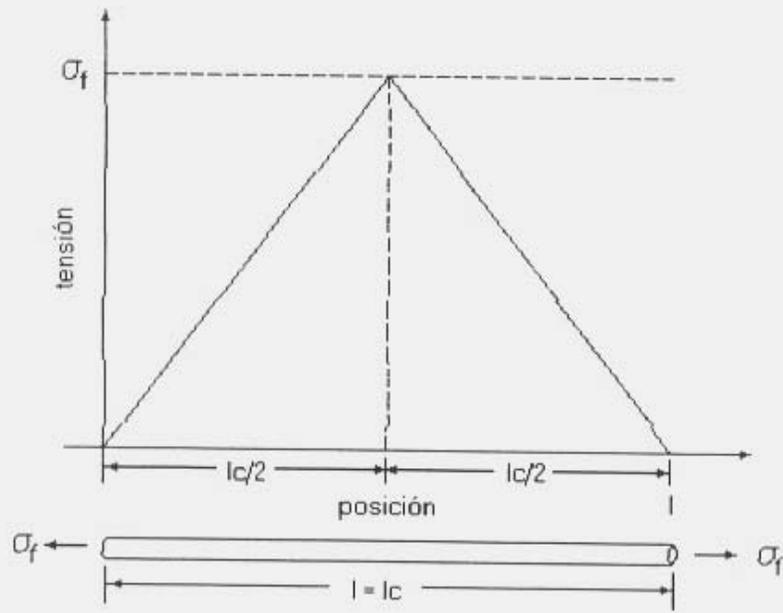


Fig. 20. Gráfica tensión/posición cuando $l = lc$

Si la longitud l de la fibra se incrementa, el reforzamiento de la fibra se hace más efectivo, como sigue:

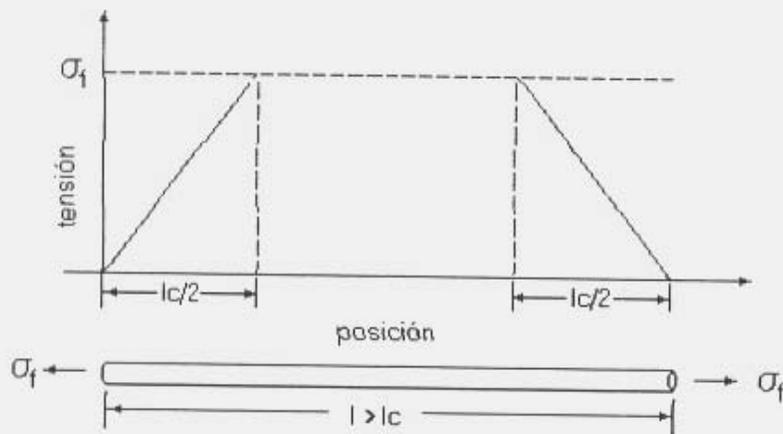


Fig. 21. Gráfica tensión/posición cuando $l > lc$

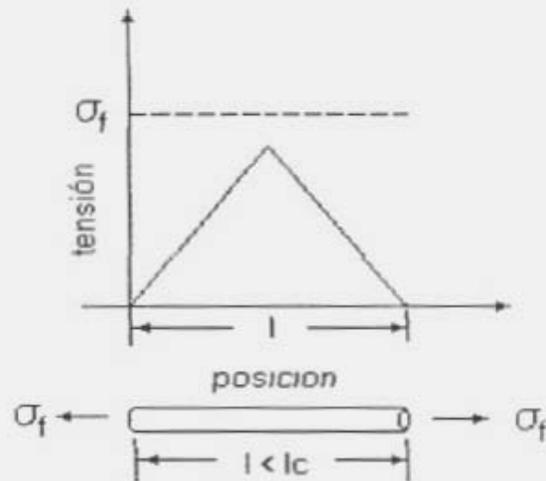


Figura 22. Gráfica tensión/posición cuando $l < l_c$

Las fibras con $l \gg l_c$ (normalmente $l > 15l_c$) se denominan continuas; y las fibras de menor longitud se denominan discontinuas o fibras cortas. En las fibras discontinuas de longitud significativamente menor que l_c , la matriz se deforma alrededor de la fibra de modo que apenas existe transferencia del esfuerzo y el efecto del reforzamiento de la fibra es insignificante. Esencialmente, estos materiales compuestos son similares a los reforzados con partículas.

4.1.2. Carga longitudinal

Las propiedades de un compuesto con fibras alineadas tienen carácter altamente anisotrópico, esto es, depende de la dirección en que se miden.

Los compuestos con fibras alineadas son anisotrópicos y la máxima resistencia (reforzamiento) se consigue a lo largo de la dirección de alineación (longitudinal). En la dirección transversal, el reforzamiento mediante fibras prácticamente no existe: la rotura suele ocurrir a esfuerzos de tracción relativamente bajos. Los esfuerzos aplicados en otras direcciones encuentran resistencias comprendidas entre estos dos extremos.

Orientación de la fibra	Dirección del esfuerzo	Eficiencia del refuerzo
Todas las fibras paralelas	Paralelas a las fibras	1
	Perpendicular a las fibras	0
Fibras orientadas al azar y uniformemente distribuidas en un plano específico.	Cualquier dirección en el plano de las fibras	3 / 8
Fibras orientadas al azar y uniformemente distribuidas en el espacio de tres dimensiones.	Cualquier dirección.	1 / 5

Tabla 3. Eficiencia de refuerzo de materiales compuestos.

Si una lámina debe estar sometida a esfuerzos multidireccionales, normalmente se utilizan varias capas de yuxtapuestas con fibras alineadas en diferentes direcciones. Son los denominados materiales compuestos laminares.

En las aplicaciones en los que las fibras están sometidas a esfuerzos totalmente multidireccionales normalmente se utilizan fibras discontinuas orientadas al azar en la matriz. La eficiencia de refuerzo de estos compuestos sólo es la quinta parte de la eficacia correspondiente a los compuestos cuyas fibras están alineadas en la dirección longitudinal; sin embargo, las propiedades mecánicas son isotrópicas.

Las consideraciones sobre la orientación y la longitud de las fibras de un compuesto particular dependen del nivel y de la naturaleza del esfuerzo aplicado y del coste de fabricación.

4.1.3. Fase matriz.

Une las fibras y actúa como un medio que distribuye y transmite a las fibras los esfuerzos externos aplicados; sólo una pequeña fracción del esfuerzo es resistida por la matriz. El módulo elástico de la fibra debe ser mucho mayor que el de la matriz. La matriz protege las fibras del deterioro superficial que puede resultar de la abrasión mecánica o de reacciones químicas con el medio ambiente. La matriz separa las fibras y, en virtud de su relativa blandura y plasticidad, impide la propagación de grietas de una fibra a otra, que originaría fallos catastróficos; la matriz actúa como barrera que evita la propagación de grietas.

Aunque algunas fibras individualmente se rompan, la rotura total del material compuesto no ocurrirá hasta que se hayan roto gran número de fibras adyacentes, que forman un agregado de tamaño crítico.

Es esencial que la adherencia de la unión entre fibra y matriz sea elevada para minimizar el arrancado de fibras. En efecto, la resistencia de la unión tiene gran importancia en el

momento de seleccionar la combinación matriz-fibra. La resistencia a la tracción final del compuesto depende, en gran medida, de la magnitud de esta unión; una unión adecuada es esencial para optimizar la transmisión de esfuerzos desde la plástica matriz a las fuertes fibras.

4.1.4. Características de la fibra de vidrio del tipo S.

Los vidrios S tienen una relación resistencia-peso más alta que los demás tipos de vidrios, por lo mismo son los vidrios más caros. Los vidrios S comúnmente se utilizan en la industria militar y aeroespacial. A continuación se muestra su composición, resistencia a la tracción y su módulo de elasticidad:

Resistencia a la tracción = 4.48 GPa.

Módulo de elasticidad = 85.4 GPa.

Vidrio S:

- 65 % SiO₂
- 25 % Al₂O₃
- 10 % MgO

4.1.5. Características de las resinas de poliéster.

Las resinas de poliéster son de menor coste pero no son habitualmente tan fuertes como las resinas epoxy. Los poliésteres insaturados son utilizados ampliamente. Las resinas epoxy son de mayor coste pero presentan ventajas como buenas propiedades de resistencia y menor contracción después del curado que las resinas de poliéster. La resina epoxy es utilizada comúnmente con las fibras de carbono y aramida.

La resistencia de los plásticos reforzados con fibra está principalmente relacionada con el contenido de vidrio del material y la disposición de las fibras de vidrio. En general, cuanto mayor es el porcentaje en peso de vidrio del material compuesto, mayor es la resistencia de plástico reforzado. Cuando la disposición es paralela el contenido de fibra puede ser hasta de un 80 %, lo que da lugar a muy altas resistencias para el material compuesto.

Resistencia a la tracción (MPa)	40 – 90
Módulo de tracción (MPa)	2 – 4.4
Resistencia a la flexión (MPa)	60 – 160
Resistencia al impacto (ensayo de Izod) de muesca (J / m)	10.6 – 21.2
Densidad (g / cm ³)	1.10 – 1.46

Tabla 4. Propiedades de la resina poliéster.

4.2. Diseño del resorte.

Se elige la posición de referencia X_0 del bloque en el sistema bloque resorte en la cual, la posición del resorte [14] está en su estado de relajamiento ($X_0 = 0$), y se declara que la energía potencial es cero cuando el bloque esté en esta posición ($U(X_0) = 0$).

La energía potencial del sistema bloque-resorte puede hallarse sustituyendo estos valores en la ecuación: $U(X) - U(X_0) = -\int_{X_0}^X F(X)dX = -W = \Delta U$, obteniéndose:

$$U(X) = \frac{1}{2}kX^2$$

Siempre que el bloque sea desplazado una distancia X_m de su posición de referencia, la energía potencial del sistema es: $U(X) = \frac{1}{2}kX^2$. Si se suelta el resorte desde el reposo en esta configuración, la energía mecánica E es igual a: $U(X) = \frac{1}{2}kX_m^2$, puesto que no existe una energía cinética en el instante de soltarlo, la ecuación puede escribirse como:

$$\frac{1}{2}kV^2 + \frac{1}{2}kX^2 = E = \frac{1}{2}kX_m^2$$

Esta expresión permite hallar la velocidad para cualquier valor particular de desplazamiento:

$$V = \sqrt{\frac{k}{m}(X_m^2 - X^2)}$$

Cuando $X = +X_m$ o $X = -X_m$, la ecuación predice que la velocidad es cero. Cuando el bloque pasa a través del punto de referencia ($X = X_0 = 0$), la velocidad V_0 es:

$$V_0 = X_m \sqrt{\frac{k}{m}}$$

La energía mecánica puede ser expresada en términos ya sea de la velocidad V_0 en la posición de referencia ($E = \frac{1}{2}mV_0^2$) o del desplazamiento máximo X_m en la posición de referencia ($E = \frac{1}{2}kX_m^2$).

Para el diseño del resorte que llevará el fuste de la silla de montar ergonómica, idealizando, se tomará al bloque como la masa del jinete, en este punto, se tienen dos sistemas conservativos de energía, uno de ellos dado por la energía potencial gravitacional y el otro

dato por la energía potencial que se almacena en el resorte. A continuación se mostrará un análisis de este caso.

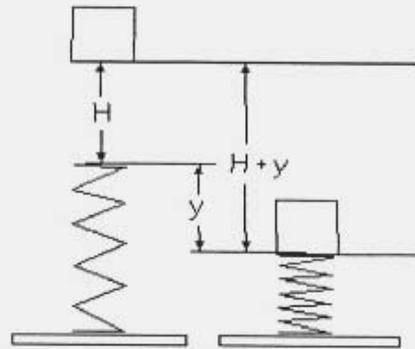


Fig. 23. Sistema masa / resorte donde actúa la energía potencial gravitatoria y del resorte.

Este es un caso, como ya se mencionó, donde puede aplicarse el principio de conservación de la energía mecánica. En el momento de la caída del bloque sobre el resorte la energía cinética en el resorte es cero. En el momento en que sucede la compresión máxima tampoco hay energía cinética. Por tanto, la pérdida de energía potencial gravitacional del bloque es igual a la ganancia de energía potencial elástica del resorte.

Se tiene que:

$$mg(h + y) = \frac{1}{2}ky^2$$

$$y^2 - \frac{2mg}{k}y - \frac{2mgh}{k} = 0$$

$$y = \frac{1}{2} \left[\frac{2mg}{k} \pm \sqrt{\left(\frac{2mg}{k}\right)^2 + \frac{8mgh}{k}} \right]$$

La raíz positiva es el resultado buscado; la negativa corresponde a la altura a la cual rebotarían el bloque y el resorte si permanecieran unidos después del contacto.

Para calcular la tensión que el resorte tendrá cuando esté posicionado en el fuste de la silla, de manera estática habrá que hacer unos cálculos de suma de momentos en el asiento de la silla, tal y como se muestra en la siguiente figura.

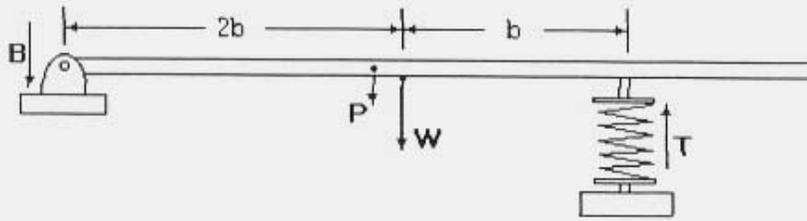


Fig. 24. Sistema representativo del asiento del fuste.

Tomando los momentos a partir de la junta de revoluta, la ecuación toma la siguiente forma:

$$\begin{aligned}\sum M &= 0 \\ -W(2b) - P(3b - c) + T(3b) &= 0 \\ T &= \frac{2Wb + 3Pc - Pc}{3b}\end{aligned}$$

De donde M son los momentos; W el peso del jinete; b la tercera parte de la distancia desde la junta hasta el amortiguador; P el peso del asiento; T la tensión en el resorte; c la distancia desde el amortiguador hasta el centro de masa del asiento.

La tensión en la junta de revoluta puede calcularse tomando ahora a los momentos a partir del amortiguador, esto nos queda como:

$$\begin{aligned}\sum M &= 0 \\ -Pc - Wb + 3Bb &= 0 \\ B &= \frac{Pc + Wb}{3b}\end{aligned}$$

En donde B es la tensión que soporta la junta de revoluta cuando el sistema está en equilibrio.

El resorte se diseñará en tal manera que para una compresión $X_{m\acute{a}x}$ el asiento casi toque el piso del fuste de la silla, y en equilibrio estático, el asiento permanezca horizontal cuando el jinete esté sobre éste.

Ahora, se tomarán las dimensiones del resorte en función del tamaño del diseño del fuste de la silla de montar, así como su compresión máxima $X_{m\acute{a}x}$ y compresión estática (con el jinete encima del asiento) X_e .

Longitud del resorte sin jinete = 7.7 cm
 Longitud del resorte con jinete = 5.14 cm
 Longitud del resorte con carga máxima = 2.57 cm

La longitud ideal del resorte sería de 7.7 cm, con una compresión máxima de 5.1 cm, pero se debe tomar en cuenta las bases en los extremos que tendrá el resorte, que son 4 mm, ante esto, el resorte tendrá las siguientes especificaciones:

$$\begin{aligned}L &= 7.3 \text{ cm} \\X_e &= 2.16 \text{ cm} \\X_{\max} &= 4.73 \text{ cm} \\H &= 20 \text{ cm}\end{aligned}$$

De donde H es la máxima elevación que el jinete tendría sobre el asiento de la silla en un momento crítico dado.

Usando la ecuación de momentos para la tensión del resorte, con una masa del jinete de 75 Kg y una masa del asiento de 2 Kg, queda una tensión en el resorte de: $T = 0.692W$, donde W es el peso del jinete, por lo tanto:

$$T = 509.11 \text{ N}$$

Luego, usando la otra ecuación de momentos, para conocer la tensión estática en la revoluta, resulta que:

$$B = 246.2 \text{ N}$$

Con los anteriores datos y para una "caída libre" del jinete sobre el asiento de una altura de 20 cm sobre el asiento, se puede calcular la constante del resorte que se requiere, entonces, despejando a la constante del resorte k, queda:

$$\begin{aligned}k &= \frac{1}{X_{\max}^2} 2T(H + X_{\max}) \\k &= 112533.914 \left[\frac{N}{m} \right] \\k &= 642.1 \left[\frac{lb}{pu\lg} \right]\end{aligned}$$

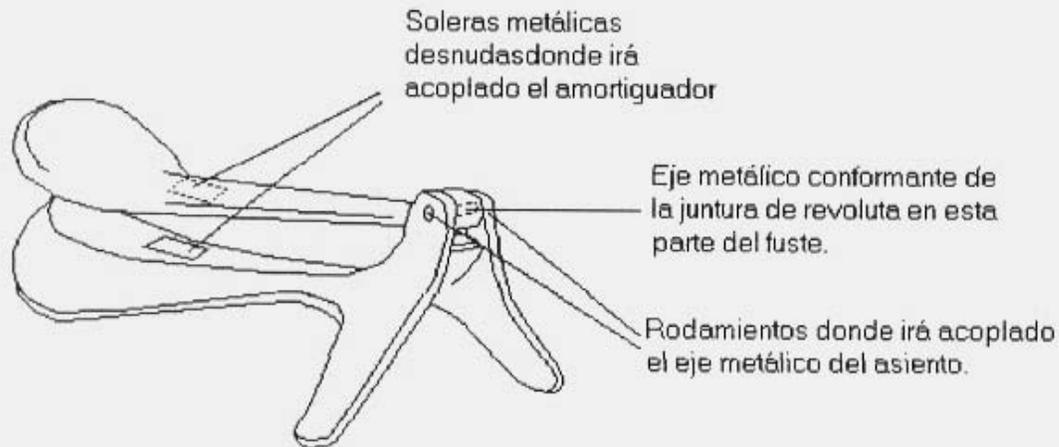
Para conocer la fuerza máxima en el resorte dado por una compresión máxima, se realiza el siguiente cálculo:

$$\begin{aligned}F &= kX_{\max} = k(0.0473m) \\F &= 5322.85N \\F &= 542.6Kgf\end{aligned}$$

4.3. Estructura Interna de la Silla de Montar Ergonómica

Las fibras en el fuste deberán ir orientadas de manera tal que otorguen la máxima eficiencia en el material en cuanto a resistencia y tenacidad. Esta orientación de las fibras estará en función de las tensiones y compresiones a las que estará sometida la estructura interna de la silla de montar en el momento de servir de enlace entre el caballo y el jinete.

Otra condicionante importante acerca de la orientación de las fibras será la geometría de las piezas metálicas que estarán “encapsuladas” dentro del material. Estas piezas estarán situadas en el fuste en donde se requiera un ensamble con otro material metálico y den al fuste la funcionalidad requerida en los objetivos del proyecto. A continuación se muestra un esquema de la estructura interna de la silla de montar especificándose dónde llevará las piezas metálicas “ahogadas” en la matriz y las superficies que servirán como ensamble para los dispositivos metálicos externos que llevará.



Esquema general del fuste.

Fig. 25. Dibujo que muestra a la base y el asiento acoplados.

Cómo se leyó en la teoría de la fibra-matriz, la máxima resistencia posible sucede cuando las fibras están orientadas paralelamente y el esfuerzo aplicado sucede en los extremos del material con la línea de acción paralela igualmente a las fibras. Partiendo de este punto, es posible diseñar la orientación de las fibras.

Como se vio en la figura, el fuste se dividirá en dos partes, la pieza principal que directamente estará sobre el caballo se llamará para un mejor entendimiento elemento A, y la otra, que es propiamente el asiento donde estará apoyado el jinete, se nombrará elemento B. Observando al elemento A, se infiere inmediatamente que hay dos puntos en la pieza que soportarán las máximas tensiones cuando el elemento A y el B operen juntos. El primer punto estará situado en la parte anterosuperior de A, justamente donde irá situada la

juntura de revoluta que ensamblará a B en A. El otro punto está situado donde el amortiguador se sujete en su parte inferior, estando su parte superior atornillada a B. Sobre estos puntos el análisis redundará, pues las demás partes aunque sean importantes no estarán sometidas a esfuerzos tan relativamente grandes.

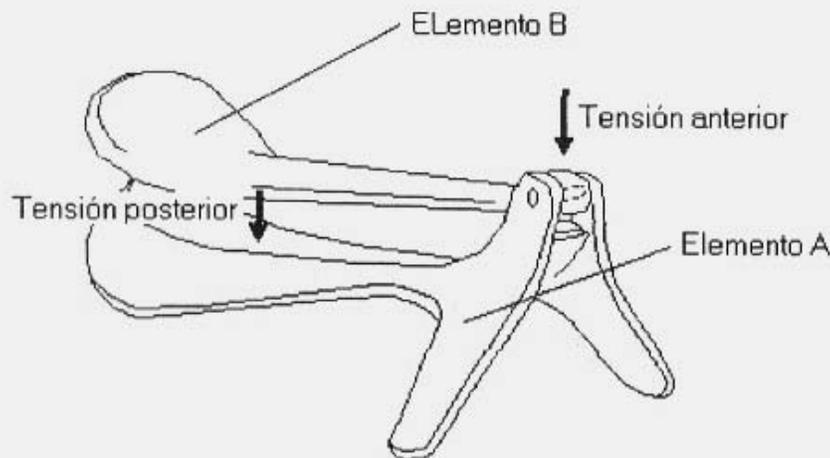


Fig. 26. Tensiones generales que se ejercen en el fuste.

Antes de seguir, se muestran a continuación las piezas metálicas que se encapsularán en el fuste. Son dos piezas, una se ahogará en A y la otra en B. La idea de estas piezas es que cumplan dos importantes objetivos, el primero se refiere a la máxima distribución de esfuerzos en el material, es decir, se quiere evitar que los esfuerzos se concentren en un área relativamente pequeña, puesto que de ser así, el conjunto matriz-fibra se fracturaría, dañando irreparablemente al fuste. El otro objetivo se enfoca a aminorar las tensiones y posibles fricciones en la amalgama matriz-metal, a mayor área de contacto entre poliéster y metal, menor será la fricción entre ambos materiales, tendiendo a que sean “aceptables” los efectos producidos en la amalgama.

El resorte amortiguador estará rodeado por una armadura metálica que irá atornillada a las partes metálicas desnudas del elemento A y del B

Ahora si, con mayor claridad se puede seguir en el análisis de la orientación de las fibras. Se centrará la atención en la zona antero superior del elemento A. Más atrás en el texto del avance, se calcularon la fuerza en el resorte y la tensión en la juntura de revoluta, mediante la sumatoria de momentos en el equilibrio estático, se observó que la juntura de revoluta soporta una fuerza de casi un tercio del peso total del jinete, y que el resorte carga los otros dos tercios. Por lo tanto, esta zona soporta una buena parte del peso del jinete ya sea estática o dinámicamente. Por las figuras, se observa que hay dos puntos en la zona que mediante rodamientos cargan al eje metálico que también mediante rodamientos se ensambla al elemento B. Entonces, cada uno de estos dos puntos soportará aproximadamente un sexto del peso total del jinete. Pero como actúan en conjunto, como tal se analizará. A continuación la figura muestra los esfuerzos a los que se somete esta zona y sus líneas de acción a través de los paneles.

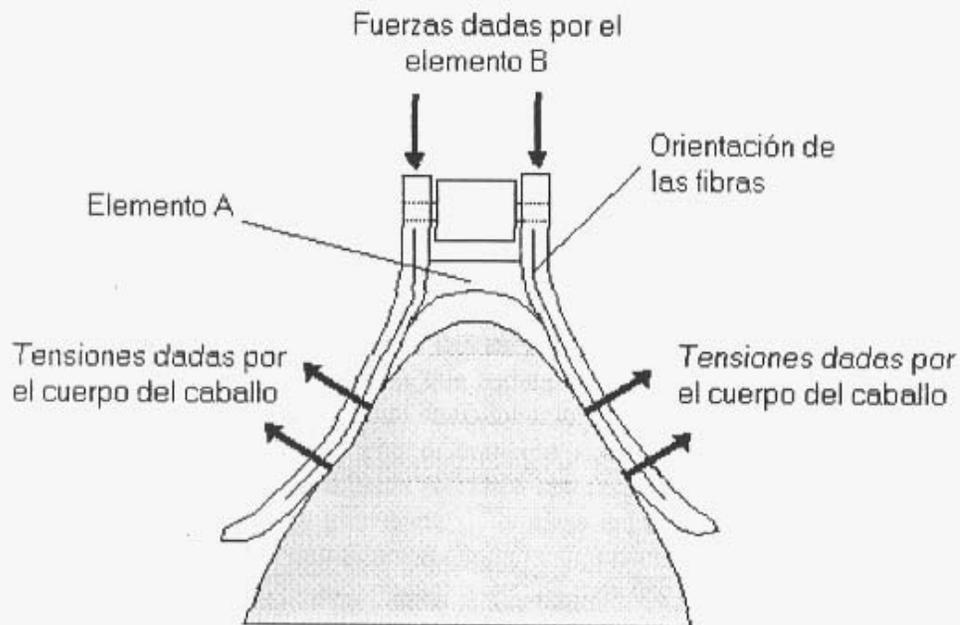


Fig.27. Tensiones generales ejercidas sobre la zona anterior del fuste.

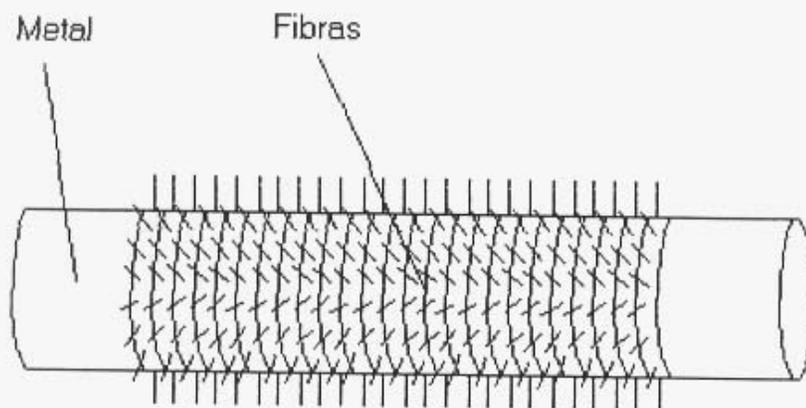
Ante lo ya descrito, es necesario que fibras envuelvan la camisa que cargará al rodamiento, y que estas mismas junto a muchas más, formen una “base” donde descansa la camisa y bajen siguiendo paralelamente la línea de acción de la tensión en ambas paletas. Esta colocación de las fibras otorgará eficiencia en la resistencia del material ante el esfuerzo ya descrito. Ahora bien, deben existir fibras que enlacen la parte anterior de la posterior, por lo que conjuntos de fibras de la zona posterior de las paletas que tengan una dirección paralela a la línea de acción, “doblarán” hacia atrás para conformar el resto del fuste. Al igual, fibras provenientes de la zona superoposterior también cambiarán de dirección hacia atrás. Además de esto, se colocarán fibras en la zona interna superior de las paletas con una orientación de forma horizontal que también servirán de enlace uniéndose a muchos otros conjuntos más que estarán insertados horizontalmente también en la parte que une ambas paletas. Todas estas fibras, conformarán parte del cuerpo posterior del elemento A.

Es importante mencionar, que también habrá fibras que “conecten” a las paletas y a los soportes del elemento B, ya que si se prescindiera de esto, y se dejara esta parte como se mencionó en el anterior párrafo, se correría el riesgo de una fractura grave en esta zona, partiendo casi simétricamente a la mitad la zona anterior de A.

Las fibras provenientes de la zona anterior, servirán para dar cuerpo a la parte posterior, tendiendo siempre a conformar el perímetro posterior de A, y luego “avanzar” hacia el centro. De este conjunto de fibras, su orientación casi seguirá al eje longitudinal del fuste, se añadirán otras fibras de forma longitudinal que refuercen a este conjunto. Pero es importante colocar fibras de manera transversal que impidan que este conjunto de fibras

longitudinal se “abra” ante un esfuerzo grande, pues ya se vio que un esfuerzo ante un acomodo de fibras así es totalmente ineficiente. Ante esto, se tendrá en cuenta la proporción de fibras longitudinales y transversales que cubra perfectamente el requerimiento de la zona posterior del elemento A.

Se verá ahora que sucede en el otro punto crítico, donde el amortiguador estará sujeto en su parte interna. En esta zona, existirá un área de metal desnudo, que servirá para atornillar el amortiguador, su posición se ha descrito ya, transversalmente estará en el centro y longitudinalmente a unas dos quintas partes de la longitud del asiento tomándose de origen al eje metálico de la parte anterior. El metal transmitirá las tensiones y esfuerzos a la matriz circundante, por ahora, solo basta saber que habrá fibras longitudinales y verticales que soportarán de manera eficiente estas variables mecánicas, pero debe tomarse en cuenta que fibras rodearán primero la periferia del metal, y como se observó en la figura de las piezas metálicas, también habrán fibras que rodeen a los “nervios” metálicos unidos a esta también zona metálica. La manera que se rodee a la pieza metálica del elemento A será de una forma tal que fibras tengan una orientación normal a la superficie metálica, esto originará un mejor “anclaje” de la pieza metálica con respecto a la matriz, y por la tanto una distribución casi homogénea en gran parte de la masa del cuerpo del fuste. En la siguiente imagen se muestra la manera que estará rodeada la superficie metálica por las fibras.



Enrollamiento del material metálico con fibras para un eficiente contacto metal/matriz

Fig. 28.

Ahora se analizará al elemento B o asiento del fuste. A diferencia del elemento A, esta pieza tendrá tres puntos críticos, despreciando el punto del centro de masa de B pues no será relevante el peso del asiento en la orientación de las fibras. Estos puntos críticos están dados en la parte anterior de B, en la junta de revoluta, en el centro de gravedad del jinete que se transmite en la superficie del asiento y en donde irá la pieza metálica desnuda, lugar en el cual se atornillará la parte superior del amortiguador.

Los conjuntos de fibras principales deberán tener orientaciones longitudinales y verticales, pues los esfuerzos en B responden mayormente a estas direcciones, no sería bueno colocar fibras con orientación aleatoria, pues la eficiencia en su resistencia disminuye drásticamente. Las fibras se colocarán rodeando a la camisa de los rodamientos en la parte anterior, y se dirigirán hacia atrás dando cuerpo a B, en forma de abanico. Otros conjuntos de fibras reforzarán a estos, contando a los otros conjuntos que se colocarán transversalmente, de este modo se conformará al elemento B. Con respecto a la pieza metálica, se rodeará de fibras de manera similar al elemento metálico de A, intentando distribuir como sea posible los esfuerzos y tensiones por todo el cuerpo de B.

En los puntos críticos irán refuerzos extras de conjuntos de fibras. Esto dará mayor seguridad en cuanto a la estabilidad estructural y dimensional del elemento B. A continuación se muestra una figura de B y la orientación general de las fibras.

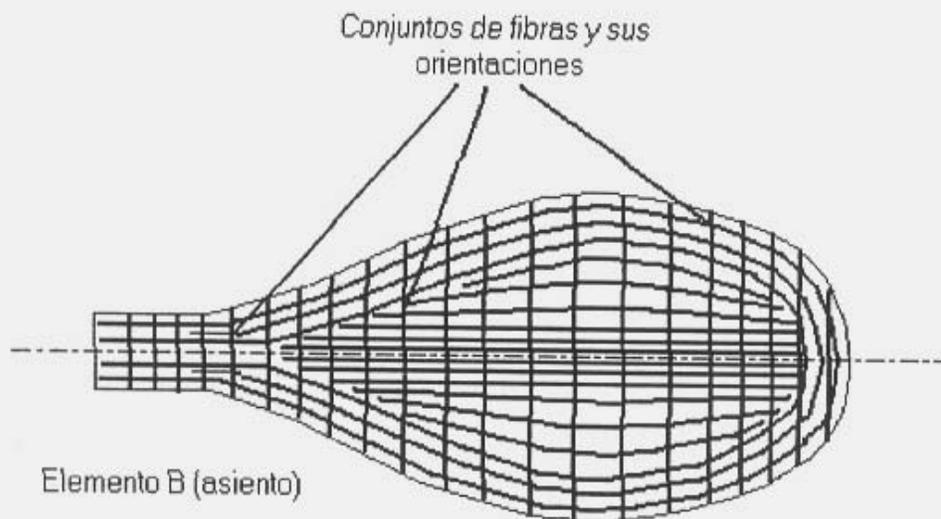


Fig. 29. Orientaciones de conjuntos de fibras en el asiento del fuste.

Descripción de los elementos conformantes de la silla de montar ergonómica y la eficiencia del prototipo ya construido.

Esfuerzos en la junta de revoluta

El esfuerzo en un cuerpo con carga es el cociente de la fuerza interna (de tensión, compresión y cortante) y el área considerada en el cuerpo.

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

El esfuerzo permisible σ_{perm} debe ser inferior al límite de elasticidad.

$$\sigma_{perm} = \frac{\sigma_U}{n}$$

De donde σ_U es la resistencia última del material y n es el factor de seguridad siempre mayor que 1. Su magnitud depende del tipo de carga.

El esfuerzo y la deformación adquieren formas diferentes, pero, en lo que respecta a la práctica diaria de la ingeniería, son proporcionales entre sí. La constante de proporcionalidad se llama módulo de elasticidad.

Esfuerzo = módulo X deformación

Para un estiramiento o una compresión simples, el esfuerzo se define como F / A , la fuerza dividida por el área sobre la que actúa y la deformación se define como la cantidad sin dimensiones $\Delta L / L$, la fracción del cambio de longitud de la muestra.

El módulo de esfuerzos de tensión y de compresión se llama módulo de Young, y en la práctica de la ingeniería se representa mediante el símbolo E. Por lo tanto:

$$\frac{F}{A} = E \left(\frac{\Delta L}{L} \right)$$

Aunque el módulo puede ser el mismo tanto para la compresión como para la tensión, la resistencia a la rotura puede ser distinta en ambos casos.

En el caso del esfuerzo cortante, el esfuerzo es también una fuerza por unidad de área pero el vector de fuerza está en el plano del área en lugar de formar un ángulo recto con ella. Una vez más la deformación es una razón sin dimensiones $\Delta L / L$ estando las cantidades definidas. El módulo que se indica muchas veces con el símbolo G en la práctica de la ingeniería, recibe el nombre de módulo del esfuerzo cortante.

Los esfuerzos cortantes juegan un papel esencial en las flechas que giran bajo carga, en las fracturas de huesos provocados por torceduras, y en los resortes.

Enseguida se muestra un dibujo sobre los rodamientos, la flecha y la abrazadera acoplados para que se tenga una idea más clara de los esfuerzos en el eje.

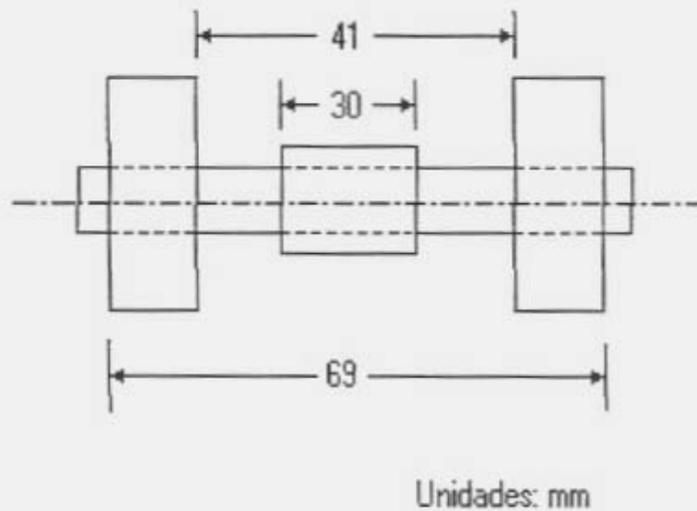


Fig. 30. Acoplamiento de la junta de revoluta.

De la figura se observa que existe una fuerza en la parte de la abrazadera hacia abajo, que es parte del peso del jinete. En los rodamientos que están en contacto directo con la flecha, la fuerza transmitida es hacia abajo. La reacción en estos es de una fuerza hacia arriba ejercida hacia la flecha en su parte baja. Aunque por ser dos los elementos, la fuerza se divide entre dos.

Los esfuerzos en este sistema mecánico serán pulsantes como se muestra en el siguiente diagrama.

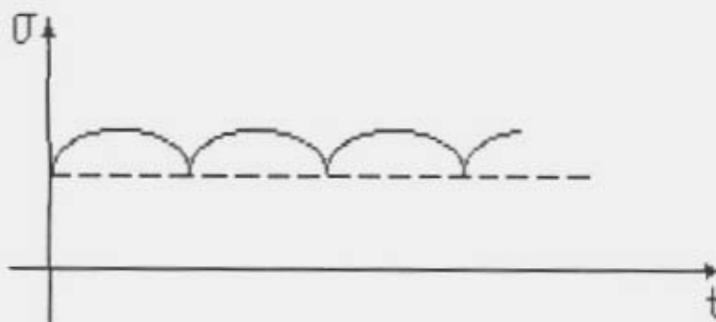


Fig. 31. Diagrama de los esfuerzos en la junta de revoluta.

Los esfuerzos serán pulsantes por el medio galope dado por el caballo en la prueba ecuestre de salto, además se tendrá un esfuerzo constante dado por el peso del jinete en una situación estática.

La flecha puede tomarse como una viga corta por lo que prácticamente solo existirán esfuerzos cortantes ya que los esfuerzos de flexión se desprecian. Por la forma de la sección transversal de la flecha, el esfuerzo cortante τ está dado por:

$$\tau = \frac{4 F}{3 A}$$

Además, se tiene que el esfuerzo cortante permisible se representa por la siguiente relación:

$$\tau_{permisible} = \frac{\sigma_{Fl}}{2.2}$$

De donde σ_{Fl} es el límite de fluencia en tensión.

Se tiene que en cada rodamiento:

$$\tau = \frac{4 \left(\frac{F}{2} \right)}{3 A} = \frac{2 F}{3 A}$$

Y añadiendo que la resistencia de fluencia a la tensión en el acero está dado por el intervalo 200 – 1800 MPa, tenemos que:

$$A = \pi(0.015m)^2 = 7.069 \times 10^{-4} m^2$$

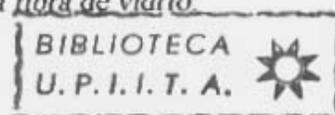
$$\tau = \frac{2 \left(\frac{550Kg}{7.069 \times 10^{-4} m^2} \right) (9.81m/s^2)}{3} = 5.089 MPa$$

Se infiere que el esfuerzo cortante en la flecha es de poca magnitud comparado con el esfuerzo cortante permisible, por lo que no habrá problemas de deformación en la flecha ante un momento crítico en una prueba ecuestre de salto.

Con referencia a los esfuerzos dados en el fuste prototipo, se tiene también un amplio rango de seguridad en cuanto a problemas como fractura del material o deformación irreversible. No es necesario cuantificar los datos ya que se parte del hecho de que la fibra de vidrio es superior en resistencia a la madera, luego entonces, es más seguro utilizar fibra de vidrio, por lo tanto el margen de seguridad es amplio también. Algunas características mecánicas de la fibra de vidrio ha sido visto al principio de este capítulo, pero se verán otras a continuación.

Fibra de vidrio	E = 10 – 45 GPa	Resistencia a la tensión = 100 – 300 MPa	Tenacidad de fractura = 20 – 60 MPa m ^{1/2}
-----------------	-----------------	--	--

Tabla 5. Propiedades mecánicas de la fibra de vidrio.



4.4. Vibración libre del sistema.

El sistema dado por el resorte amortiguador y el jinete, puede idealizarse como un sistema masa/resorte y analizarse como tal para obtener la frecuencia natural del sistema, se tomará como referencia a la figura 23 donde la masa está encima del resorte. Para el movimiento vertical, actúan dos fuerzas sobre la masa: La fuerza del resorte kH y la fuerza gravitacional mg . Igualando la variable H por la variable y , se tiene que la dirección positiva del desplazamiento y se define hacia abajo. La fuerza gravitacional jala la masa hacia abajo. Si el jinete en un momento de impulso hacia arriba cae sobre el asiento y a la vez el resorte se comprime, la fuerza del resorte actúa hacia arriba y tiende a elevar la masa hacia arriba. Así, mediante la aplicación de la segunda ley de Newton [16], se obtiene la ecuación del movimiento

$$my'' = \sum F = -ky + mg$$

o bien

$$my'' + ky = mg$$

La fuerza gravitacional es estáticamente opuesta por la deflexión z de equilibrio del resorte. Si medimos el desplazamiento desde esta posición de equilibrio, entonces el término mg puede descartarse de la ecuación de movimiento. Puesto que $kz = mg$, sustituyendo $y = x + z$ en la ecuación diferencial y considerando a z una constante, se tiene

$$mx'' + kx = 0$$

la cual es un modelo matemático del sistema. A tal sistema se le llama sistema de segundo orden; esto es, está gobernado por una ecuación diferencial de segundo orden. Cuando se escriban las ecuaciones de movimiento para sistemas que incluyan a la fuerza gravitacional, se medirá el desplazamiento de la masa desde la posición de equilibrio con el objeto de eliminar el término mg y simplificar el modelo matemático.

Suponiendo que cuando la masa del jinete comprime al resorte y luego la fuerza del resorte venciendo a la fuerza gravitatoria eleva al jinete se puede decir que las condiciones iniciales arbitrarias son las siguientes $x(0)$ y $x'(0)$. En un caso ideal, la masa oscilará y el movimiento será periódico. El movimiento periódico, observado en el sistema cuando es desplazado de su posición de equilibrio estático, se denomina vibración libre. Es una respuesta libre debida a sus condiciones iniciales.

Para encontrar la solución de la ecuación $mx'' + kx = 0$, un método útil consiste en suponer que $x(t)$ tiene una forma exponencial o sinusoidal. Para obtener una solución del sistema, se supondrá que $x(t)$ está en forma exponencial

$$x(t) = Ke^{-\lambda t}$$

Si se sustituye esta ecuación en la ecuación diferencial, da

$$mK\lambda^2 e^{2t} + kKe^{2t} = 0$$

Dividiendo ambos entre Ke^{2t} resulta

$$m\lambda^2 + k = 0$$

la cual es la ecuación característica del sistema. De esta ecuación característica se obtienen

$$\lambda_1 = j\sqrt{\frac{k}{m}}, \lambda_2 = -j\sqrt{\frac{k}{m}}$$

y estos dos valores de λ satisfacen la solución propuesta. Puesto que la ecuación diferencial de segundo orden debe tener dos constantes arbitrarias en su solución, se puede escribir la solución general $x(t)$ como

$$x(t) = K_1 e^{j(\sqrt{k/m})t} + K_2 e^{-j(\sqrt{k/m})t}$$

Usando la identidad de Euler, queda como

$$\begin{aligned} x(t) &= K_1 (\cos \sqrt{\frac{k}{m}} * t + j \operatorname{sen} \sqrt{\frac{k}{m}} * t) + K_2 (\cos \sqrt{\frac{k}{m}} * t - j \operatorname{sen} \sqrt{\frac{k}{m}} * t) \\ x(t) &= j(K_1 - K_2) \operatorname{sen} \sqrt{\frac{k}{m}} * t + (K_1 + K_2) \cos \sqrt{\frac{k}{m}} * t \\ x(t) &= A \operatorname{sen} \sqrt{\frac{k}{m}} * t + B \cos \sqrt{\frac{k}{m}} * t \end{aligned}$$

A y B son ahora constantes arbitrarias que dependen de las condiciones iniciales $x(0)$ y $x'(0)$. La ecuación $x(t)$ puede escribirse también como

$$x(t) = C \cos(\sqrt{\frac{k}{m}} * t + \phi)$$

donde

$$C = \sqrt{A^2 + B^2}, \phi = -\operatorname{arctg} \frac{A}{B}$$

Para determinar las constantes A y B en términos de las condiciones iniciales $x(0)$ y $x'(0)$ sustituimos $t = 0$ en la ecuación de la solución general, entonces

$$x(0) = B$$

Después de diferenciar ambos lados de la ecuación de la solución general con respecto a t, se tiene

$$x'(t) = A\sqrt{\frac{k}{m}} \cos\sqrt{\frac{k}{m}} * t - B\sqrt{\frac{k}{m}} \text{sen}\sqrt{\frac{k}{m}} * t$$

$$x'(0) = A\sqrt{\frac{k}{m}}$$

Se infiere que

$$A = \sqrt{\frac{m}{k}} x'(0)$$

$$B = x(0)$$

En términos de las condiciones iniciales la ecuación de la solución general se hace

$$x(t) = x'(0)\sqrt{\frac{m}{k}} \text{sen}\sqrt{\frac{k}{m}} * t + x(0)\cos\sqrt{\frac{k}{m}} * t$$

El movimiento periódico descrito por esta última ecuación se denomina movimiento armónico simple.

Si las condiciones iniciales dadas fueron $x(0) = x_0$ y $x'(0) = 0$, entonces por sustitución de estas condiciones iniciales en esta última ecuación, el desplazamiento $x(t)$ estaría dado por

$$x(t) = x_0 \cos\sqrt{\frac{k}{m}} * t$$

El periodo y la frecuencia de un movimiento armónico simple puede ahora definirse como sigue. El periodo T es el tiempo requerido para que un movimiento periódico vuelva a repetirse. En este caso,

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{k/m}} \text{segundos}$$

La frecuencia f de un movimiento periódico es el número de ciclos por segundo y la unidad estándar de frecuencia es el hertz (Hz); esto es, un hertz es un ciclo por segundo. En el presente movimiento armónico,

$$f = \frac{1}{T} \text{hertz}$$

La frecuencia natural o frecuencia natural no amortiguada es la frecuencia de vibración libre de un sistema sin amortiguamiento. Si la frecuencia natural se mide en hertz o ciclos por segundo, se la representa por f_n . Si se la mide en radianes por segundo (rad / s), se la representa por ω_n . En el presente sistema

$$\omega_n = 2\pi f_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \text{ rad / seg}$$

Es importante tener presente que cuando la ecuación $mx''+kx = 0$ se escribe en tal forma que el coeficiente del término x'' es la unidad,

$$x'' + \frac{k}{m}x = 0$$

la raíz cuadrada del coeficiente del término x es la frecuencia natural ω_n . Esto significa que para el sistema de masa/resorte visto, se puede poner un modelo matemático del sistema en la forma

$$x'' + \omega_n^2 x = 0$$

donde $\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$

Por lo tanto, se puede calcular de esta forma la frecuencia natural del sistema masa/resorte del fuste de la silla de montar ergonómica. La masa será la de casi dos tercios la del jinete por el sistema de momentos antes visto, por lo tanto se manejará una masa de 51.9 Kg.

$$\omega_n = \sqrt{\frac{112533.914 \left[\frac{N}{m} \right]}{51.9 \left[\text{Kg} \right]}} = 46.566 \text{ rad / seg}$$

$$f_n = 7.41 \text{ Hz}$$

La frecuencia aproximada de los impactos del jinete sobre el asiento es de aproximadamente 2 Hz en un trote veloz, por lo que la masa del jinete contribuirá de manera marcada en la dispersión de la energía almacenada en el resorte, impidiendo la destrucción del sistema mecánico. Si la frecuencia natural y la frecuencia del jinete sobre el resorte coincidieran, la energía almacenada sobre el resorte se incrementaría cada vez más hasta ocasionar daños irreparables en la silla de montar ergonómica o inclusive en el jinete que podría caerse del caballo ante tal inestabilidad.

4.5. Funcionamiento esperado del prototipo.

Dimensionalmente el fuste prototipo resultó bien construido, se tuvo que pulir como a cualquier vaciado al quitárseles las partes componentes del molde. La ligereza esperada no se confirmó pues el esqueleto metálico interno incrementó un tanto el peso final del fuste. En cuanto a características mecánicas la resistencia del fuste se percibió superior a la madera. La flexibilidad que se esperaba relativamente amplia no resultó, pues el fuste tiene un grado de rigidez alto, por lo que solo en las pruebas ecuestres se podrá atisbar que tan flexible es y si el calce en los caballos se amplió o resultó igual que un fuste convencional de madera y metal.

En cuanto a la juntura de revoluta su funcionamiento es bueno, pues puede soportar altas cargas con un hombre encima. Ya no se alcanzó a probar directamente con un caballo y jinete a la entrega de este reporte pero se hará para verificar los resultados obtenidos. Lo único que se pudo hacer fue probar el prototipo con una persona saltando encima de este simulando una prueba ecuestre.

El resorte cumplió con las expectativas de la carga de trabajo, la constante de proporcionalidad del resorte resultó ideal para esta función, casi coincidieron las constantes teóricas y prácticas y la sujeción del resorte de la base al asiento resultó sólida y capaz de soportar grandes esfuerzos.

Los resortes de las acciones también tuvieron un comportamiento bueno, pues sí amortiguan los esfuerzos a los que son sometidas las rodillas en la práctica de la equitación, la vida útil de los resortes dependerá del uso que se le dé a la silla de montar ergonómica, pues pararse sobre un solo estribo por largo tiempo podría fatigar al resorte y ocasionarle una deformación permanente. Por lo general, un jinete al montar al caballo se apoya sobre un estribo primero y luego sobre el otro, pero el tiempo es relativamente corto y no alcanza a deformar a uno de los dos resortes permanentemente.

5. CONCLUSIONES

5.1. Resultados esperados

En un inicio, se propuso como objetivo adquirir los datos experimentalmente de las presiones y tensiones en una silla de montar convencional, el propósito de ello, fue que no se encontró información alguna sobre trabajos similares ya hechos y de los cuáles servirían como base para el diseño del prototipo. Ante la carencia de información al respecto se quisieron adquirir estos datos colocando sensores en una silla de montar clásica. Con un microcontrolador y una memoria se leerían y almacenarían los parámetros mecánicos deseados. De esta manera se iban a vaciar los datos a una PC para analizarlos. Tiempo después, al buscar información en la red Internet, se pudo encontrar información confiable de estas mediciones en una silla de montar clásica, suficiente para descartar la propuesta de realizar las mediciones experimentalmente, pues ya no era necesario.

Aunque fue un objetivo particular del proyecto no se realizó esta prueba, pues al elaborar el protocolo no se tenía la certeza de encontrar información referente a las tensiones y fuerzas a las que es sometida una silla de montar albardón en una competencia hipica. Afortunadamente, la información requerida se obtuvo de buena fuente, lográndose de esta forma trabajar sobre algo ya construido y tomando esto como punto de partida para el diseño de una silla de montar ergonómica.

Con referencia al análisis teórico necesario para la sustentación del proyecto, se manejaron bien las fuentes para el diseño de la silla de montar ergonómica tal y como se establecieron en los objetivos. Se demostró las grandes tensiones en las articulaciones sacrolumbar y de rodilla que un jinete debe soportar en una competencia ecuestre de salto y se diseñó el resorte apropiado para amortiguar estos impactos.

La fibra de vidrio cumplió como un material más resistente que la madera y aunque no resultó el fuste más ligero, si fue más pequeño sin perder funcionalidad. El tamaño al final permitió que su peso cayera dentro de los límites existentes en la elaboración de las sillas de montar ergonómicas. Igualmente el molde resultó bueno para el vaciado, siendo capaz con un buen mantenimiento de soportar bastantes más.

En cuanto a la presentación final de la silla de montar ergonómica, se le colocó la piel que normalmente se utiliza en la elaboración de albardones, igualmente puede decirse lo mismo en los herrajes que lleva la silla para sostener las acciones, para los estribos, remaches, etc. Quizás por las variaciones en su forma que tuvo el fuste prototipo, hubo que adaptársele la piel, resultando de forma diferente a los demás albardones clásicos.

5.2. Ventajas del prototipo.

Las ventajas del prototipo de la silla de montar ergonómica, como se mencionó a lo largo del reporte, inciden en una reducción de los impactos mecánicos dados en las articulaciones sacrolumbar y de rodillas del jinete en la práctica de la equitación. Otra de las ventajas resulta en una mayor resistencia y una mayor flexibilidad del cuerpo del fuste, punto que

beneficia al caballo directamente en cuanto al calce de la silla de montar y a la vida útil del fuste. Por último se tiene que al ser el fuste de fibra de vidrio, puede vaciarse en un molde, y el molde al ser flexible y por lo tanto reutilizable permite sacar un elevado número de "copias". Esta situación evita la manufactura artesanal de los fustes de uno a uno. Las características de esta ventaja devienen en una mayor productividad en la industria manufacturera de albardones y en un rango mínimo de errores por resultar copias de un diseño que se pensó con detalle para disminuir la problemática existente en este rubro.

5.3. Desventajas del prototipo.

Las desventajas del prototipo inciden en darle un mayor mantenimiento preventivo. En comparación a una silla de montar clásica, resulta un mantenimiento mucho más frecuente y minucioso el que debe dársele a la silla de montar ergonómica, pues si a una silla convencional clásica basta con limpiarla, cuidarla del sol, etc., a la silla de montar ergonómica para equitación debe dársele mantenimiento a los elementos metálicos que componen parte de su cuerpo, por ejemplo a los rodamientos que lleva en la junta de revoluta que deben limpiarse y lubricarse con cierta frecuencia, asimismo debe de revisarse el resorte amortiguador y revisar si está bien atornillado en sus extremos.

Otra desventaja que presenta la silla de montar ergonómica para equitación resulta en que se tuvo que dar facilidad a la piel que cubre al fuste de quitarse con facilidad en aquellas partes que necesiten revisión periódica como en las zonas de la junta de revoluta y el resorte. Esto podría ocasionar un cierto deterioro en los herrajes de la piel que la mantienen unida al momento de utilizar la silla. Por ejemplo en los broches que mantienen unida a la piel, pueden gastarse al abrocharse y desabrocharse luego de un periodo largo de utilización y mantenimiento. Esto no ocurre con una silla de montar clásica o albardón, ya que la piel se une al fuste para no quitarse nunca, sino hasta que por una muy larga vida la piel se rompe o las costuras se descosen. Esta desventaja tiene que ver más con la industria talabartera, pero de cualquier forma impacta en el desempeño del prototipo.

5.4. Posibles mejoras al prototipo.

Los objetivos del proyecto en cuanto a ergonomía se refiere se cumplieron ampliamente, el sistema mecánico del prototipo se observó sólido y parecería ser que podrá tener una larga vida, solo que deberá probarse para comprobarlo. También habrá que comprobar ante largas sesiones de uso, la eficiencia de la amalgama metal/matriz.

Un punto específico que podría mejorarse es referente al resorte amortiguador. En el prototipo su función es buena, solo que este tipo de resorte funciona con toda su eficiencia posible en desplazamientos lineales, y lo que sucede en el fuste es un desplazamiento angular del asiento con respecto a la base, en realidad el desplazamiento angular no es marcado, pero podría diseñarse un dispositivo mecánico que convierta un rango de desplazamiento angular en desplazamiento lineal, o de plano podría cambiarse el resorte por un muelle que funcione con desplazamientos angulares u algún otro. Pese a esto la eficiencia general del amortiguador tal como está es buena.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Ación.- Correa que sostiene al estribo en una silla de montar.

Albardón.- Albarda grande, que se pone a las caballerías para montar en ellas.

Amalgama.- Unión de cosas distintas.

Catalizador.- Cuerpo que provoca la catálisis, es decir, la acción que ejercen estos cuerpos en las reacciones químicas de otros sin sufrir ellos mismos modificación.

Caucho.- Sustancia elástica y resistente que se extrae por incisión de varios árboles u obtenido por medios químicos.

Centro de gravedad.- Punto de un cuerpo situado de tal suerte que, si se le suspendiese por él, permanecería en equilibrio en cualquier posición que se le diere.

Cinemática.- Ciencia que estudia el movimiento sin tomar en cuenta las causas que lo producen.

Cinética.- Parte de la mecánica que estudia el movimiento y las causas que lo provocan.

Estribo.- Anillo de metal en que el jinete apoya el pie cuando está montado.

Fibra de vidrio.- Filamento de vidrio empleado como aislante térmico, acústico o eléctrico o para reforzar las materias plásticas.

Flecha.- Cilindro metálico que sirve de eje para la maquinaria en general.

Fuste.- Nombre de las dos piezas de madera que forman la silla de caballo.

Juntura.- Parte en que se juntan dos o más cosas.

Muelle.- Elástico, resorte de metal.

Revoluta.- Juntura mecánica donde una de las piezas puede girar alrededor de la otra mediante un eje.

Rodamiento.- Cojinete formado por dos cilindros entre los que se intercala un juego de bolas o de rodillos que pueden girar libremente.

Solera.- Metal plano.

REFERENCIAS

- [1]. Clayton, H. M.; “**Terminology for the Description of Equine Jumping Kinematics**”; *J. Eq. Vet. Sci.* 9, 341-348; EUA; 1989.
- [2]. E., Leach, D.; “**Standardised Technique for Determining the Centre of Gravity of Body and Limb Segments of Horses**”; *Eq. Vet. J.*; 18, 43-49; 1986.
- [3]. Clayton, H. M.; “**Terminology for the Description of Equine Jumping Kinematics**”; *J. Eq. Vet. Sci.* 9, 341-348.; 1987.
- [4] Tortora Anagnostakos; “**Principios de Anatomía y Fisiología**”, 6ª edición; Harla; 1996.
- [5] Miguel Angel Clavero; “**Caballos**”; 2ª edición; Castell; 1992.
- [6] Gianni Ravazzi; “**Curso básico de equitación**”; De Vecchi; 1983.
- [7] Nordby Lattig; “**Caballos**”; Albatros; 1985.
- [8]http://www.fecuestre.cl/fecuestre_V2.O/html/reglamentos/regl_salto/cont_eqchile_rs.html
- [9]<http://www.geocities.com/CapeCanaveral/6616/peroque.html>
- [10] <http://www.monografias.com/trabajos/ergonomia/ergonomia.shtml>
- [11] Le Veau, Bsrney; “**Biomecánica del Cuerpo Humano**”; 1ª edición; Trillas; 1991.
- [12] Singer, Ferdinand L.; “**Dinámica**”; 3ª edición; Harla; 1982.
- [13] Seely, Ensign; “**Mecánica Analítica para Ingenieros**”; 3ª edición; UTEHA; 1985.
- [14] Resnick, Robert; “**Física volumen 1**”; 4ª edición; Compañía Editorial Continental; 1994.
- [15]<http://www.info@salli.com/Easydoing.htm>
- [16] Ogata, Katsuhiko; “**Dinámica de Sistemas**”; 1ª edición; Prentice Hall; 1987.