

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

*Trabajo de titulación previo
A la obtención del título de
Ingeniera Mecatrónica e
Ingeniero Mecatrónico*

PROYECTO TÉCNICO:

**“DISEÑO DE UNA ESCARMENADORA AUTOMÁTICA PARA EL
PROCESO DE ELABORACIÓN DE LANA DE ALPACA EN LA
COMUNIDAD CEBADA LOMA, PARROQUIA JERUSALÉN”**

AUTORES:

CARIDAD JOSEFINA LEÓN OCHOA

RODOLFO FELIPE BOJORQUE MACANCELA

TUTOR:

ING. DIEGO PAÚL CHACÓN TROYA, MDHD.

CO-TUTOR:

ING. JULIO CÉSAR LOJA QUEZADA

CUENCA - ECUADOR

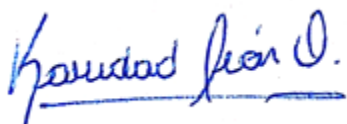
2021

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Caridad Josefina León Ochoa con documento de identificación N° 0107406548 y Rodolfo Felipe Bojorque Macancela con documento de identificación N° 0105070551 manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: **“DISEÑO DE UNA ESCARMENADORA AUTOMÁTICA PARA EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE LANA DE ALPACA EN LA COMUNIDAD CEBADA LOMA, PARROQUIA JERUSALÉN”** mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniera Mecatrónica e Ingeniero Mecatrónico*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, diciembre del 2021.



Caridad Josefina León Ochoa

C.I. 0107406548



Rodolfo Felipe Bojorque Macancela

C.I. 0105070551

CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **“DISEÑO DE UNA ESCARMENADORA AUTOMÁTICA PARA EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE LANA DE ALPACA EN LA COMUNIDAD CEBADA LOMA, PARROQUIA JERUSALÉN”**, realizado por Caridad Josefina León Ochoa y Rodolfo Felipe Bojorque Macancela, obteniendo el *Proyecto Técnico* que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, diciembre del 2021.

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Diego Chacón T.', written in a cursive style.

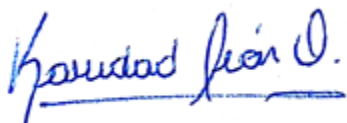
Ing. Diego Chacón T., Mdhd.

C.I. 1909268168

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

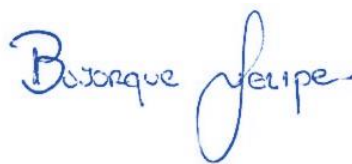
Nosotros, Caridad Josefina León Ochoa con documento de identificación N° 0107406548 y Rodolfo Felipe Bojorque Macancela con documento de identificación N° 0105070551, autores del trabajo de titulación: **“DISEÑO DE UNA ESCARMENADORA AUTOMÁTICA PARA EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE LANA DE ALPACA EN LA COMUNIDAD CEBADA LOMA, PARROQUIA JERUSALÉN”**, certificamos que el total contenido del *Proyecto Técnico*, es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, diciembre del 2021.



Caridad Josefina León Ochoa

C.I. 0107406548



Rodolfo Felipe Bojorque Macancela

C.I. 0105070551

Dedicatoria

A Dios y a mis padres, quienes han sido los que me han forjado como la persona que soy en la actualidad, me han enseñado que con dedicación, constancia y fe no tengo límites y soy capaz de lograr todo lo que me proponga.

Caridad

A mis padres Felipe y Nube quienes con su cariño, amor, paciencia y esfuerzo me han ayudado a llegar y cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía.

A toda mi familia porque con sus consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

Felipe

Agradecimientos

A Dios, no podría explicar con palabras el cuan bendecida he sido por él.

A mi familia, mis hermanos y principalmente a mis papás Edmundo León e Irene Ochoa, sin duda no habría llegado tan lejos sin su apoyo y confianza.

Al mejor amigo que me pudo dejar la universidad, Xavier Panamá por ser mi compañero de experiencias y malas noches.

A mis tutores y profesores en general que me han acompañado a lo largo de todo este camino universitario, por sus enseñanzas tanto académicas como personales.

Caridad

Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición llena siempre mi vida y a toda mi familia por estar siempre presentes.

Mi profundo agradecimiento a todas las autoridades y personal que hacen la Universidad Politécnica Salesiana, por confiar en mí, abrirme las puertas y permitirme realizar todo el proceso investigativo dentro de su establecimiento educativo.

Finalmente quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento a Ing. Julio Loja y Ing. Diego Chacón, principales colaboradores durante todo este proceso, quienes con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitieron el desarrollo de este trabajo.

Felipe

Resumen

El presente trabajo de titulación busca contribuir con la mejora del proceso de elaboración de hilo y prendas de vestir a partir de la lana de alpaca, específicamente para la etapa de escarmenado, actividad que es realizada por artesanos de la comunidad Cebada Loma que se encuentra ubicada en la parroquia de Jerusalén en el cantón Biblián.

Para esto en el primer capítulo se ha realizado una socialización y recolección de datos sobre las necesidades y requerimientos de los artesanos, además de una investigación bibliográfica sobre esta actividad, posteriormente en el segundo capítulo se ha desarrollado un prototipo con el fin de determinar algunos parámetros necesarios para la elaboración del diseño de una máquina capaz de realizar el escarmenado de lana de alpaca en específico.

Dentro de la elaboración del diseño de dicha máquina se ha realizado un análisis matemático sobre las condiciones que se involucran en el mecanismo empleado para realizar la ejecución del peinado de la fibra de alpaca, para ello se ha empleado el software de cálculo numérico denominado Matlab R2017b, de igual forma se ha elaborado un análisis matemático para la selección de los rodamientos lineales y potencia requerida del motor a emplear. En el tercer capítulo se ha determinado dimensiones, realizado una selección de los componentes involucrados en el diseño de la máquina y necesarios para su funcionamiento, consecutivamente se ha validado el diseño a través de un software de análisis y modelación denominado SolidWorks 2020 para ejecutar una comparación de los resultados obtenidos de forma matemática y desarrollar un análisis de esfuerzos para determinar el material sugerido a emplear para la construcción del mecanismo, consecuentemente se ha finalizado en el cuarto capítulo con una estimación aproximada del costo directo de construcción de la máquina escarmenadora de lana de alpaca considerando mano de obra ecuatoriana.

Abstract

This degree work seeks to contribute to the improvement of the process of making yarn and garments from alpaca wool, specifically for the scaring stage, an activity that is carried out by artisans from the Cebada Loma community that is located in the parish of Jerusalem in the canton Biblián.

For this, in the first chapter, a socialization and data collection on the needs and requirements of artisans has been carried out, in addition to a bibliographic research on this activity, later in the second chapter a prototype has been developed in order to determine some parameters Necessary for the elaboration of the design of a machine capable of making specific alpaca wool scaring.

Within the elaboration of the design of said machine, a mathematical analysis has been carried out on the conditions that are involved in the mechanism used to carry out the hairstyle of the alpaca fiber, for this the numerical calculation software called Matlab R2017b has been used. Likewise, a mathematical analysis has been developed for the selection of linear bearings and required power of the motor to be used. The third chapter has determined dimensions, made a selection of the components involved in the design of the machine and necessary for its operation, consecutively the design has been validated through analysis and modeling software called SolidWorks 2020 to run a comparison. of the results obtained in a mathematical way and develop an analysis of efforts to determine the suggested material to be used for the construction of the mechanism, consequently the fourth chapter has been finalized with an approximate estimate of the direct cost of construction of the wool scaring machine of alpaca considering Ecuadorian labor.

Contenido

Capítulo 1: Introducción.....	1
1.1 Definición del problema.....	1
1.2 Justificación del problema.....	1
1.3 Objetivos	2
1.3.1 General.....	2
1.3.2 Específicos	2
1.4 Marco Teórico	2
1.5 Recolección de información bibliográfica	3
1.5.1 Alpacas	3
1.5.1.1 Alpaca Huacaya	3
1.5.1.2 Alpaca Suri.....	3
1.5.2 Fibra de Alpaca.....	3
1.5.2.1 Diámetro	3
1.5.2.2 Longitud.....	4
1.5.2.3 Resistencia.....	4
1.5.2.4 Lustre o brillo	4
1.5.2.5 Suavidad	5
1.5.3 Proceso de producción de lana de alpaca.....	5
1.5.3.1 Esquila	5
1.5.3.2 Vellón	5
1.5.3.3 Lavado	5
1.5.3.4 Escarmenado	5
1.5.3.5 Cardado	7
1.5.3.6 Hilado	7
1.6 Recolección de información mediante entrevista	7
Capítulo 2: Diseño de la máquina escarmenadora	9
2.1 Introducción	9
2.2 Descripción de la función de la máquina	9
2.3 Prototipo	9
2.3.1 Selección de mecanismo de transmisión	9
2.3.2 Selección de Púas	10
2.3.2.1 Tamaño.....	10

2.3.2.2 Separación.....	11
2.3.2.3 Ángulo de posición	12
2.3.3 Pruebas.....	13
2.3.4 Resultados	14
2.4 Diseño del mecanismo de transmisión	15
2.4.1 Selección del mecanismo de transmisión	15
2.4.1.1 Mecanismo Biela-Manivela	16
2.4.2 Análisis del sistema biela-manivela.....	17
2.4.2.1 Dimensión de los eslabones	17
2.4.2.2 Análisis de movimiento	18
2.4.2.3 Análisis de velocidad	19
2.4.2.4 Análisis de aceleración	20
2.4.3 Análisis de Fuerzas	21
2.4.3.1 Selección del factor de seguridad	21
2.4.3.2 Fuerza de escarmenado	23
2.4.3.3 Fuerzas que intervienen en el mecanismo biela-manivela	25
2.4 Selección del Rodamiento	31
2.5 Selección del Motor	34
2.5.1 Tensión	34
2.5.2 Velocidad de rotación	35
2.5.2.1 Calculo de RPM	35
2.5.3 Potencia.....	35
2.5.3.1 Cálculo de Potencia	35
2.6 Diseño de la estructura y armazón	38
2.7 Diseño del sistema de control de seguridad	39
2.7.1 Dispositivo final de Carrera	39
2.8 Diseño del sistema eléctrico.....	39
2.8.1 Componentes eléctricos de la máquina escarmenadora.....	39
2.8.1.1 Pulsador NO/NC	39
2.8.1.2 Señalización	40
2.8.1.3 Paro de Emergencia	40
2.8.1.4 Interruptor magnetotérmico.....	40
2.8.1.5 Contactor.....	40

2.8.1.6 Bobina	41
2.8.2 Diagrama eléctrico de Escarmenadora de alpaca	42
2.8.2.1 Diagrama de potencia	42
2.8.2.2 Diagrama de mando	43
Capítulo 3: Validación del diseño por medio de simulación	44
3.1 Introducción	44
3.2 Análisis del sistema biela-manivela	44
3.2.1 Análisis de movimiento	44
3.2.2 Análisis de velocidad	45
3.2.3 Análisis de aceleración	45
3.3 Selección del motor	46
2.3.1 Fuerza de escarmenado	46
2.3.1 Potencia del motor	46
3.4 Análisis de esfuerzos	47
3.4.1 Material empleado	47
3.4.2 Análisis de tensión	48
3.4.2.1 Biela espesor 5mm	48
3.4.2.2 Biela espesor 10mm	49
3.4.2.3 Manivela 10mm	50
3.4.2.4 Manivela 15mm	51
3.4.3 Análisis de deformación	53
3.4.3.1 Biela 5mm	53
3.4.3.2 Biela 10mm	54
3.4.3.3 Manivela 10mm	55
3.4.3.4 Manivela 15mm	57
3.4.4 Resultados	58
Capítulo 4: Análisis de costos	59
4.1 Introducción	59
4.2 Componentes recomendados	59
4.2.1 Motor	59
4.2.2 Final carrera	60
4.2.3 Interruptor magnetotérmico	60
4.2.4 Contactor – Bobina	61

4.2.5 Pulsadores	61
4.2.6 Paro de emergencia	62
4.2.7 Rodamiento lineal	62
4.2.8 Chumacera	63
4.3 Costo directo de fabricación	63
4.3.1 Materiales Directos	63
4.3.2 Materia Prima.....	64
4.3.3 Mano de Obra Directa.....	64
Conclusiones	65
Recomendaciones	66
Referencias.....	67
ANEXOS	70
ANEXO 1: Datos obtenidos del software de diseño y simulación	70
ANEXO2: Máquina escarmenadora de lana de alpaca.....	71
ANEXO 3: Planos mecánicos de la máquina escarmenadora de lana de alpaca.....	72

Capítulo 1: Introducción

1.1 Definición del problema

La comunidad Cebada Loma, se encuentra ubicada en la parroquia Jerusalén del cantón Biblián, lugar donde su población se dedica a la crianza de alpacas para producir hilo de lana con el fin de fabricar prendas de vestir. Actualmente la actividad de escarmenado se la realiza de manera artesanal y con la ayuda de una máquina escarmenadora manual que se puede considerar peligrosa debido a su mecanismo compuesto por clavos. Esta máquina causa fatiga en sus usuarios, quienes en la actualidad son personas de avanzada edad, ya que requiere de mucho esfuerzo físico que implica posturas poco adecuadas para la salud y la ejecución de movimientos repetitivos en largas jornadas de trabajo. Además, al momento de peinar la lana se generan partículas de lana, que constituyen un riesgo para la salud de los artesanos que manipulan la máquina y para todas las personas que se encuentran alrededor.

Desde el enfoque de la salud laboral, es importante analizar los factores biomecánicos como: repetitividad, postura y fuerza, además de los factores organizacionales susceptibles de ser modificados para mejorar las condiciones de trabajo. Se debe considerar que la ejecución de movimientos rápidos de forma repetida aun cuando no impliquen un gran esfuerzo físico, el mantenimiento de una postura que considere la contracción muscular constante de una parte del cuerpo o la realización de esfuerzos más o menos bruscos y la manipulación de cargas, pueden crear alteraciones por sobrecarga en las distintas estructuras del sistema músculo-esquelético a nivel de la nuca, los hombros o los miembros superiores. (Instituto de Biomecánica de Valencia, 1996)

Las lesiones producidas por estas actividades se presentan de forma lenta y paulatina, y en un principio parecen inofensivas. En primer lugar aparece dolor y cansancio durante las horas de trabajo, pero estos síntomas desaparecen fuera del mismo, luego según se van agravando el dolor y el cansancio no desaparecen ni en las horas de descanso. (Prevalia, S.L.U, 2013) Para finalmente, aparecer una incapacidad crónica que reduce las capacidades físicas normales y que afecta seriamente la calidad de vida, lo cual suele ser provocar consecuentemente alteraciones psíquicas sobreañadidas como la depresión. (Instituto de Biomecánica de Valencia, 1996)

Se requiere mejorar el proceso de escarmenado con el fin de facilitar el trabajo de los artesanos de esta comunidad, contribuyendo en su ambiente laboral al reducir esfuerzos de operación y evitar la contaminación ambiental de partículas de lana que actualmente se genera al momento de peinarla.

1.2 Justificación del problema

La preparación de lana para fabricar prendas de vestir que realiza la comunidad de Cebada Loma, al ser una actividad artesanal que requiere de la intervención humana debe considerar que el ambiente de trabajo no signifique un riesgo para la salud, por lo que se planteará una automatización del proceso de escarmenado que facilite la ejecución de esta actividad.

La automatización del proceso de escarmenado se la realizará con el fin de solucionar las problemáticas que actualmente abarca el desarrollo de esta actividad. Con el diseño de una máquina automática se pretende reducir la contaminación ambiental de partículas de lana y evitar

la fatiga y las lesiones causadas por malas posturas en largas jornadas de trabajo que actualmente se generan al momento de realizar esta actividad, mejorando así la eficiencia en dicha tarea.

El principal beneficiario de esta automatización será la comunidad Cebada Loma, de la parroquia Jerusalén del cantón Biblián, ya que su sustento se basa en la elaboración de prendas de vestir realizadas con hilo de lana de alpaca. Al incorporar una máquina escarmenadora automática en su proceso de fabricación de hilo aumentarán su nivel de producción, los artesanos que intervienen en esta actividad mejorarán su entorno de trabajo y al facilitar la ejecución de esta actividad, se conseguirá como consecuencia que más personas que anteriormente no contaban con la habilidad antes requerida para su ejecución, podrán realizar esta tarea de escarmenado.

1.3 Objetivos

1.3.1 General

- Diseñar una escarmenadora automática para el proceso de elaboración de lana de alpaca en la comunidad Cebada Loma

1.3.2 Específicos

- Determinar los parámetros requeridos para el diseño de la máquina escarmenadora automática.
- Diseñar el sistema mecánico de la escarmenadora automática.
- Diseñar el sistema eléctrico y electrónico de la escarmenadora automática.
- Diseñar el sistema de control de seguridad de la escarmenadora automática.
- Evaluar el diseño de la máquina mediante una simulación en software.

1.4 Marco Teórico

Los camélidos sudamericanos provienen de especies prehistóricas originadas en Norteamérica, estos migraron a Sudamérica y desaparecieron de su región hace más de 11 millones de años. Actualmente los encontramos en especies domésticas como la llama (*Lama glama*) y la alpaca (*Vicugna pacos*), y en especies silvestres como el guanaco (*Lama guanicoe*) y la vicuña (*Vicugna vicugna*). (Quispe, Rodríguez, Iñiguez, & Muelle, 2009)

Los productos de estos animales domésticos componen un medio de sustento para muchos artesanos y productores de los países andinos sudamericanos en los cuales se encuentran: Ecuador, Bolivia, Perú, Argentina y Chile. De esta especie se puede obtener carne y fibras de alta calidad, pieles y cueros que tienen múltiples usos industriales y artesanales. (Quispe, Rodríguez, Iñiguez, & Muelle, 2009)

El Ecuador es conocido mundialmente como un país comerciante de productos nativos confeccionados con fibras de animales, vegetales y minerales. Las provincias con mayor producción textil son: Pichincha, Guayas, Azuay, Tungurahua e Imbabura, mientras que Chimborazo, Cotopaxi, El Oro y Manabí producen estos artículos, pero a menor escala. (Copara, 2017)

Las fibras de origen natural provienen de los folículos pilosos o las glándulas de los animales domésticos que son extraídos del medio natural, para posteriormente ser procesados según sea conveniente para ser aplicados en el ámbito textil. Las fibras naturales tienen sus orígenes desde

tiempos remotos, estas se han venido estudiando a lo largo del tiempo, en el caso de la alpaca su estudio ha dependido de su cuidado y raza. El género textil elaborado con esta fibra es considerado como artículos de lujo, finos y de alta calidad gracias a sus propiedades. (Copara, 2017)

El Ecuador no es un productor mayoritario de alpacas, sin embargo, los pocos productores que existen hacen lo posible para mantener la crianza de estos animales en los páramos ya que, a diferencia de otros, la alpaca no es tan dañina para los suelos ya que poseen almidón en las patas que evitan su maltrato, no obstante, la crianza de la alpaca requiere de más cuidados. (Copara, 2017)

1.5 Recolección de información bibliográfica

1.5.1 Alpacas

La alpaca es considerada como la forma domestica de la vicuña, pero con genes de guanaco por su hibridación con la llama. Es un animal fino, de cuerpo esbelto y recubierto de fibra que en su conjunto se denomina vellón. Estos animales tienen un promedio de vida entre 20 y 25 años y alcanzan una altura entre los 80 y 100cm, su masa corporal, siendo un animal adulto se encuentra entre los 60 y 75kg, y su producción de lana anual es de 3 y 6kg aproximadamente. (Sánchez Sevilla, 2015)

Existen dos razas de alpacas:

1.5.1.1 Alpaca Huacaya

Estas tienen abundante fibra que recubre su cuerpo, piernas y cuello. Las patas y cara están conformadas de fibra corta mientras que el resto del cuerpo contiene fibra más larga y rizada que dotan al animal de una apariencia redondeada, esponjosa y voluminosa. El desarrollo por año de su fibra se encuentra entre los 9 y 12 cm de longitud, esta crece de forma perpendicular al cuerpo del animal, y posee densidad, suavidad, lustre y rizos. (Sánchez Sevilla, 2015)

1.5.1.2 Alpaca Suri

Estas alpacas Suri poseen una apariencia angulosa, su fibra crece en forma paralela al cuerpo en dirección al piso formando rulos independientes a través de todo el cuerpo. El desarrollo por año de su fibra se encuentra entre los 10,4 y 20 cm de longitud. Su fibra posee densidad, sedosidad, suavidad y lustre en mayor cantidad a comparación de la alpaca Huacaya, otorgándole un aspecto más sedoso y brillante. (Sánchez Sevilla, 2015)

1.5.2 Fibra de Alpaca

Entre las principales propiedades de la fibra de alpaca destacan la higroscopicidad que le permite absorber hasta un 30% de la humedad del ambiente sin mojarse, la estructura superficial escamosa que ayuda al entrelazamiento de las fibras, la alta resistencia térmica y su poder aislante que permite su uso en diferentes condiciones climáticas gracias a las bolsas de aire microscópicas de su estructura. (Sánchez Sevilla, 2015)

Características:

1.5.2.1 Diámetro

Se conoce como el grosor, calibre o finura de la fibra que determina su aplicación textil en la industria. Las fibras finas consideradas entre 12 y 24 micras, serán aptas para hilados y tejidos finos mientras que, las fibras gruesas se emplearán para tejidos de menor calidad. (Zárate Zavaleta, 2012)

El diámetro determina su finura y varía de acuerdo a la ubicación de la fibra en el cuerpo del animal, este varía entre 14 y 43 micras. (Sánchez Sevilla, 2015) Como se puede observar en la figura 1, las fibras de mayores diámetros se encuentran en el pecho y los miembros, disminuyen en dirección antero superior y aumentan su grosor en la región del costillar. (Copara, 2017) Se determinó que el diámetro de la fibra tiene una relación directa con la edad del animal ya que, a medida de que avanza su edad muestran un aumento progresivo en el diámetro, esto puede corresponder a factores fisiológicos de la piel y la esquila a la que son sometidos periódicamente. (Chaparro Aguilar, 2013)

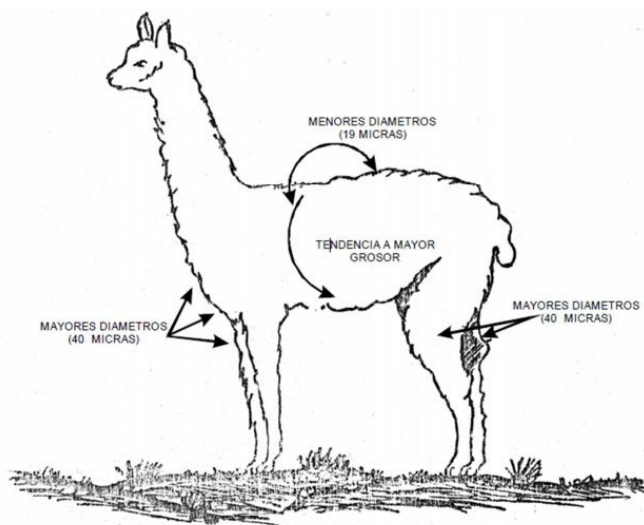


Fig. 1 Diámetro de la fibra de alpaca de acuerdo a las regiones de su cuerpo. (Sánchez Sevilla, 2015)

1.5.2.2 Longitud

Depende del crecimiento de la fibra en un periodo de tiempo determinado. Varía de acuerdo a ciertos factores como la edad, sexo y la raza. La longitud de la mecha debe alcanzar aproximadamente de 12,46 a 14,26 cm/crecimiento por 1 año para la raza Huacaya y de 12,53 a 15,16 cm/crecimiento para la raza Suri. A medida que el animal cambia de edad y dependiendo del número de esquilas, su mecha será más corta. (Sánchez Sevilla, 2015) Además existe una relación de dependencia entre longitud y diámetro ya que a mayor longitud mayor diámetro. (Copara, 2017)

1.5.2.3 Resistencia

Es la fuerza que presenta la fibra al momento de ser estirada sin que ésta se rompa. Se presume que en promedio la fibra debe tolerar sin mayor riesgo de ruptura una extensión del 15% durante todos los procesos de manufactura a los que se somete como cardado, escarmenado e hilado. Existen factores tanto internos como externos que afectan la resistencia de la fibra como es el caso de la edad, enfermedades cutáneas, gestación, alimentación y agentes climáticos. (Zárate Zavaleta, 2012)

1.5.2.4 Lustre o brillo

La tonalidad de la fibra depende de factores raciales y ambientales. Estas deben exhibir brillo o lustro como signo de un crecimiento normal, correcta alimentación y poco daño provocado por los agentes climáticos. (Zárate Zavaleta, 2012)

1.5.2.5 Suavidad

Gracias a la plasticidad y la elasticidad obtenidas por un correcto cuidado y una buena alimentación del animal, las fibras serán suaves al tacto otorgando una importante característica que influye en la calidad del producto. (Zárate Zavaleta, 2012)

1.5.3 Proceso de producción de lana de alpaca

1.5.3.1 Esquila

Se denomina como esquila al proceso de cortar y separar la fibra o vellón de un animal, para esta actividad se utilizan instrumentos cortantes como tijeras o maquinas especiales. (Ccana & Apaza, 2009)

1.5.3.2 Vellón

Es el conjunto total de fibra que cubre un animal que se esquila. Existen dos tipos; el manto encontrado en el lomo y las bragas en la región pectoral, extremidades y cabeza. (Ccana & Apaza, 2009)

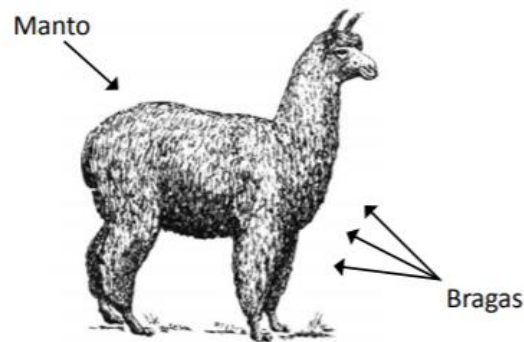


Fig. 2 Partes del vellón. (Ccana & Apaza, 2009)

1.5.3.3 Lavado

El lavado de la fibra tiene como finalidad eliminar impurezas naturales como la grasa, así como también el polvo y la suciedad. (Saldaña, 2017)

1.5.3.4 Escarmenado

Es el proceso de separar la fibra de lana desapelmazando, es decir hacerla más esponjosa y ligera. (Chanjé, Peche, & Aucahuasi, 2017) En la actividad de escarmenado se abren los mechones, se retiran las impurezas y ordenan las fibras en una misma dirección. Esta operación se la puede realizar a mano o con ayuda de algunos implementos como por ejemplo las cardas manuales o escarmenadoras de madera. (Pucha & Vallejo, 2017)

1.5.3.4.1 Escarmenado manual

Esta forma de escarmenado consiste en pasar varias veces un manojo de fibra sobre un conjunto de picos que forman una especie de peine, hasta obtener fibras separadas de manera uniforme. (López, 2017)



Fig. 3 Operación de escarmenado. (López, 2017)

1.5.3.4.2 Cardas Manuales

Las cardas manuales están compuestas por 2 paletas cortadas de una madera contrachapada curva, que poseen una de sus superficies cubierta de púas o puntas de metal, comúnmente entre 70 y 100 por pulgada cuadrada. (Pucha & Vallejo, 2017)

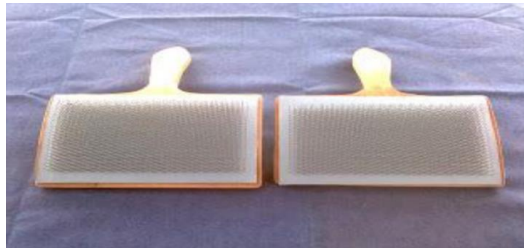


Fig. 4 Cardas Manuales. (Pucha & Vallejo, 2017)

1.5.3.4.3 Escarmenadora de madera tipo péndulo

Esta escarmenadora tiene un brazo superior móvil que se balancea en forma de tipo péndulo, en su parte inferior cuenta con clavos o púas, las cuales también se encuentran en la parte superior de la escarmenadora. Las púas no se tocan y empujan la fibra abierta. (Chanjé, Peche, & Aucahuasi, 2017)



Fig. 5 Escarmenadora de madera tipo péndulo. (Chanjé, Peche, & Aucahuasi, 2017)

1.5.3.4.4 Escarmenadora de madera tipo cajón

Esta escarmenadora está compuesta por parte móvil y una fija cubierta por clavos que a diferencia de la escarmenadora tipo péndulo el movimiento realizado es lineal generado por el usuario a través de una empuñadura.



Fig. 6 Escarmenadora de madera tipo cajón. (Natalia N, s.f.)

1.5.3.5 Cardado

Es el conjunto de operaciones mecánicas y sucesivas que tienen el fin de abrir, individualizar, paralelizar y limpiar las fibras para formar una mecha o cinta. (Flores, 2011)

1.5.3.6 Hilado

El hilado consiste en reunir las fibras individuales para formar un hilo. Su propósito es obtener un hilo continuo, resistente y de un grosor deseado. (Arciniega, 2013)

1.6 Recolección de información mediante entrevista

Mediante la entrevista realizada a los principales participantes en el proceso de producción de lana de alpaca, se obtuvo la siguiente información:

En la comunidad Cebada Loma, parroquia Jerusalén del cantón Biblián, los habitantes se dedican a la crianza de alpacas para producir lana con el fin de fabricar prendas de vestir. Entre su principal producción se puede encontrar chompas, ponchos, guantes y pompones.

Actualmente esta comunidad cuenta con 100 ejemplares de alpacas.

Las alpacas pasan por el proceso de esquila una vez al año, cada diciembre. La fibra obtenida no se tiñe, es decir que las piezas quedan del color original de la alpaca. La lana pasa por un proceso de clasificación y selección manual de acuerdo a su color.

La lana de alpaca tiene características diferentes en comparación con otros animales empleados para actividades similares. La lana de oveja es de menor calidad, y la de la vicuña suele ser más fina debido a la altura en la que es criada.

Cuando se preguntó acerca de la actividad de escarmenado y los problemas presentados al momento de utilizar su maquinaria actual se obtuvo como respuesta: “Me he lastimado varias veces”, “Prefiero hacer a mano”, “Los jóvenes ya no quieren aprender a utilizar la escarmenadora”, “En esa escarmenadora es muy cansado”.



Fig. 7 Entrevista con las artesanas.

Las artesanas comentaron que previamente ya habían adquirido maquinaria como la escarmenadora que había sido “mejorada” por estudiantes de una universidad, sin embargo, estos no consideraron la diferencia de las características de las lanas provenientes de diferentes animales, ya que en su presentación la maquinaria presentada realizaba la actividad con facilidad, pero al momento de ellas emplearla rompía su fibra, pues estas maquinarias habían sido probadas con lana de oveja.

Actualmente para el desarrollo del escarmenado de lana no se emplea ningún tipo de máquina, esta actividad se la realiza de forma manual, ya que las máquinas que poseen en la comunidad son inservibles para su aplicación debido al maltrato que estas generan en la fibra de lana de alpaca.

Capítulo 2: Diseño de la máquina escarmenadora

2.1 Introducción

El desarrollo del diseño de la máquina escarmenadora de lana de alpaca se cimentará en lo estudiado en el primer capítulo, donde se conoció las características específicas de la fibra que varía dependiendo del animal del que proviene, el proceso de producción de la lana dentro del cual se encuentra la actividad de escarmenado y sus diferentes formas de realizarla, igualmente también se familiarizo con los requerimientos y necesidades de los usuarios a satisfacer que deben ser considerados.

2.2 Descripción de la función de la máquina

La máquina deberá ser capaz de peinar la lana de alpaca proveniente del proceso de esquila, la cual contendrá impurezas que deberán ser expulsadas al momento de realizar el peinado, separando la fibra y haciéndola más esponjosa y ligera. Esta máquina realizara la actividad de escarmenado de manera autónoma para evitar la fatiga y las lesiones causadas por largas horas de trabajo que actualmente provocan las practicas manuales del desarrollo de esta actividad.

2.3 Prototipo

Debido a la escasa información y justificación técnica sobre el diseño y fabricación de las máquinas escarmenadoras, y al no existir una que realice esta actividad para fibra de alpaca en específico, se ha tomado como referencia ciertos parámetros de la escarmenadora ubicada en la parroquia de Jerusalén y la realizada por Igor Almanza (2020), optando por diseñar y construir un prototipo con el fin de realizar pruebas de funcionamiento para definir algunos parámetros necesarios para su implementación en el diseño.

2.3.1 Selección de mecanismo de transmisión

En base a la recolección de información realizada en el anterior capítulo se conoce que las escarmenadoras más utilizadas actualmente para peinar lana son las de madera tipo péndulo y tipo cajón, las cuales poseen una parte móvil y una fija que se desplazan entre sí de forma paralela, generalmente la parte superior es la móvil, al igual que la inferior es la fija, estas contienen púas ubicadas a diferentes grados de inclinación y con cierta separación que realizan el peinado de la fibra y, permiten el ingreso y salida de lana.

En vista de que las escarmenadoras más empleadas utilizan diferentes mecanismos y tipos de movimiento es conveniente generar una matriz de decisión para seleccionar el más adecuado para el diseño y desarrollo del escarmenado. Se debe tomar en cuenta que el diseño final de la máquina será automatizado, por lo que esta empleara un motor para la generación del movimiento, por lo que es necesario considerar factores de diseño para el mecanismo de transmisión.

La siguiente matriz tendrá una calificación de 1 a 4 puntos por factor de diseño, siendo 4 la mayor valoración.

Tabla 1. Matriz de decisión

Tipos de movimiento Factores de diseño	Oscilante (Péndulo)	Lineal (Cajón)
Control de movilidad	2	4
Tamaño	3	2
Facilidad de construcción	3	4
Facilidad de mantenimiento	3	4
Total /16	11	14

- Control de movilidad: El movimiento oscilante requiere de un control más elaborado que el del movimiento lineal.
- Tamaño: Debido al recorrido requerido la máquina de tipo cajón incrementará su tamaño en largo a diferencia del tipo oscilante que aumentará su tamaño en alto.
- Facilidad de construcción: Debido a el péndulo oscilante la construcción de esta máquina requerirá de más trabajo en su construcción que la máquina lineal.
- Facilidad de mantenimiento: La máquina de péndulo oscilante debido a su mecanismo y ubicación de las púas para realizar el escarmenado tendrá mayor dificultad en su acceso para generar mantenimiento.

El resultado del análisis de la matriz de decisión da como resultado el empleo de un movimiento lineal para el diseño de la máquina, con referencia a la escarmenadora de madera tipo cajón.

2.3.2 Selección de Púas

2.3.2.1 Tamaño

Para la selección del tamaño de las púas a emplear se ha tomado como referencia la máquina escarmenadora que se encuentra en la parroquia de Jerusalén, sin embargo, se debe tomar en cuenta que el proceso actualmente se lo realiza a mano, ya que la máquina que poseen destroza la fibra, esto debido a que esta está diseñada para lana ovina, y la lana de alpaca es más fina y delicada, por lo cual se han seleccionado medidas variantes para realizar diferentes pruebas.

Donde:

- Máquina de Jerusalén: \varnothing 3.00mm
- Prueba de prototipo 1: \varnothing 2.80mm
- Prueba de prototipo 2: \varnothing 3.45mm



Fig. 8 Púas utilizadas en pruebas de escarmenado.

Tabla 2. Tamaños normalizados de clavos (adelca)

TIPO	DIÁMETRO	LONGITUD	CABEZA	NO. APROX.
Liso con cabeza	mm	mm	mm	Clavos/kg
20 x 1,50	1,50	20,00	3,38	3600
25 x 1,70	1,70	25,00	3,83	2243
30 x 1,70	1,70	30,00	3,83	1867
40 x 1,70	1,70	40,00	3,83	1401
40 x 2,15	2,15	40,00	4,84	876
50 x 2,80	2,80	50,00	6,30	413
65 x 3,45	3,45	65,00	7,76	209
65 x 3,10	3,10	65,00	6,98	259
75 x 3,10	3,80	75,00	8,55	149
90 x 4,20	4,20	90,00	8,40	102

2.3.2.2 Separación

Para definir la separación entre púas se ha tomado como referencia la máquina realizada por Igor Almanza (2020) sin embargo, también se definirán otras medidas experimentales para realizar diferentes pruebas y observar su impacto.

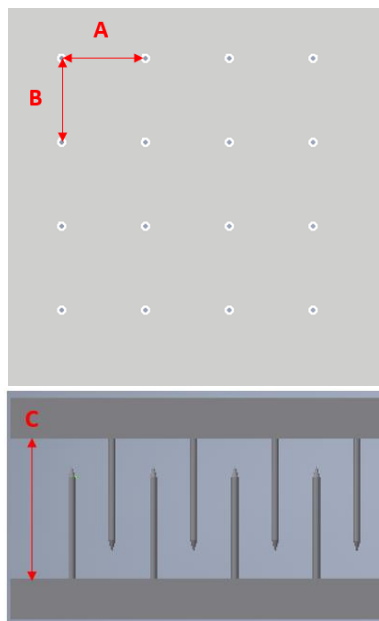


Fig. 9 Referencia para medidas de separación entre púas.

Donde:

A: Representa el espacio entre las columnas en una plancha con púas.

B: Representa el espacio entre las filas en una plancha con púas.

C: Representa el espacio entre las planchas.

De esta manera las medidas empleadas para las pruebas son:

A:

- 30 mm
- 40 mm
- 44 mm (Medida de Igor Almanza (2020))

Con respecto a la posición de las púas en la parte superior e inferior de la máquina, estas tienen un pequeño desplazamiento entre sí, con el fin de que las púas no se choquen.

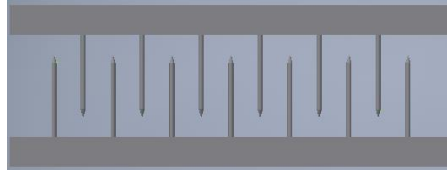


Fig. 10 Vista frontal de la parte superior e inferior de las planchas simulada.

B:

- Estos espacios variaran en función a la posición y/o inclinación de las púas, ya que en algunos casos estas podrían colisionar.

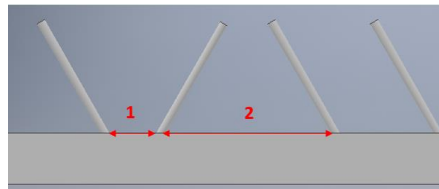


Fig. 11 Vista lateral simulada.

C:

- 79 mm
- 69 mm

2.3.2.3 Ángulo de posición

Para poder definir el ángulo de posición para las púas se ha tomado como referencia a la máquina escarmenadora ubicada en Jerusalén, sin embargo, también se han definido otras medidas experimentales para realizar las diferentes pruebas y observar su impacto.

De esta manera las medidas empleadas para las pruebas son:

- 45°
- 90°
- 60° (Medida de la máquina ubicada en Jerusalén)
- 135°
- 120° (Medida de la máquina ubicada en Jerusalén)

2.3.3 Pruebas

El prototipo final tiene una estructura realizada en madera compuesta por una placa superior e inferior recubiertas con púas, estas son desmontables con el fin de poder intercambiarlas y de esta forma realizar pruebas de diferentes configuraciones con respecto a la posición, inclinación y tamaño de las púas. El escarmenado realizado con el prototipo es manual, ya que lo significativo de realizar este prototipo es comprobar el funcionamiento de un movimiento lineal con un recorrido de 0,6m para peinar la lana, además de la posición de las púas, como se mencionó anteriormente.



Fig. 12 Prototipo.

Placas de prueba:

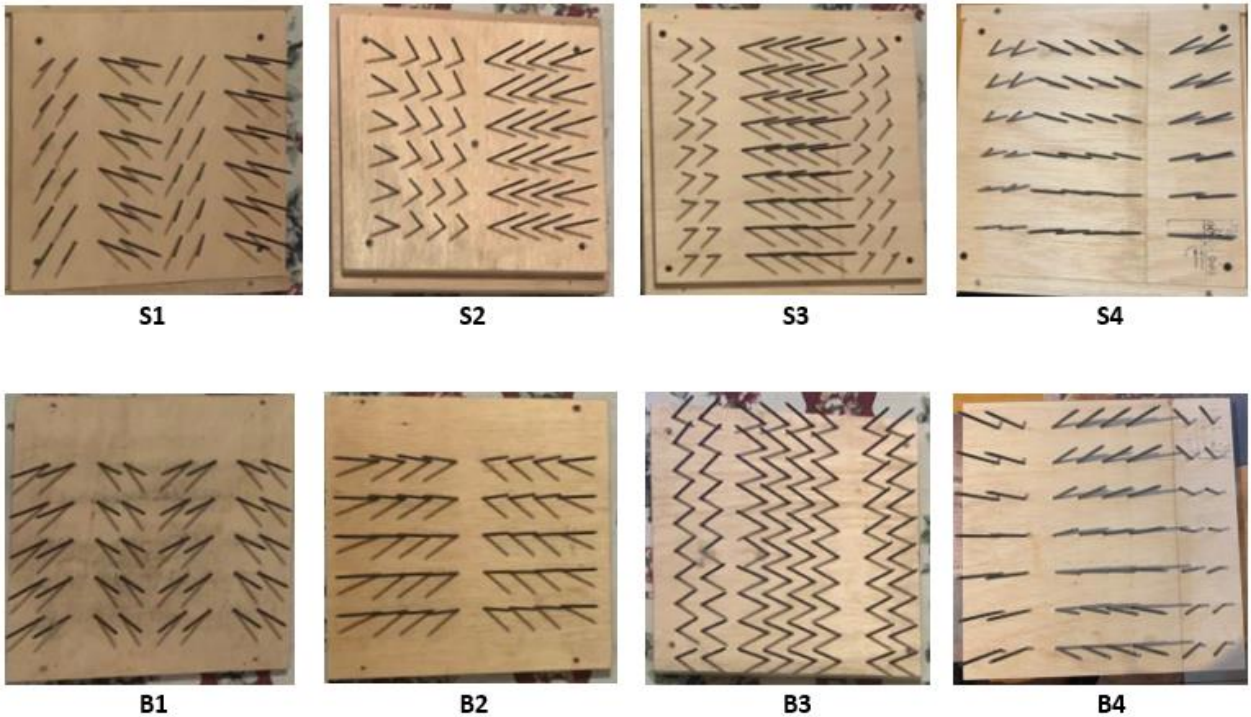


Fig. 13 Configuraciones de placas para prueba de escarmenado.

Tabla 3. Configuraciones de prueba

Placa superior	Placa inferior	Observaciones
S1	B1	Al tener las púas laterales apuntando hacia afuera impedía el ingreso de lana al encontrarse opuestas al movimiento. Al colocar lana sobre las púas directamente se lograba realizar el escarmenado.
S1	B2	Al tener las púas laterales apuntando hacia afuera impedía el ingreso de lana al encontrarse opuestas al movimiento. Al colocar lana sobre las púas directamente no se lograba realizar el escarmenado.
S1	B4	Al tener las púas laterales apuntando hacia afuera en la placa superior el traslado de lana era limitado.
S2	B1	Al tener las púas laterales apuntando hacia afuera en la placa inferior impedía el ingreso de lana al encontrarse opuestas al movimiento. Debido a la configuración de la placa superior el traslado de lana era reducido.
S2	B2	Esta configuración no realiza el escarmenado.
S2	B4	Debido a la configuración de la placa superior el traslado de lana era reducido.
S3	B3	Se lograba realizar el escarmenado, sin embargo, al estar las púas más juntas estas maltratan más la fibra.
S3	B3	Esta configuración realiza el escarmenado, sin embargo, al estar más entrelazadas las púas con respecto a su altura, mayor es el maltrato para la fibra al punto de romperse.
Variación con respecto a la separación entre planchas		
S4	B1	Al tener las púas laterales apuntando hacia afuera en la placa inferior impedía el ingreso de lana al encontrarse opuestas al movimiento.
S4	B2	Esta configuración no realiza el escarmenado.
S4	B4	Esta configuración realiza el escarmenado.
S4	B4	Esta configuración realiza el escarmenado, sin embargo, al estar más entrelazadas las púas con respecto a su altura, mayor es el maltrato para la fibra.
Variación con respecto a la separación entre planchas		

2.3.4 Resultados

Durante el desarrollo de las pruebas de escarmenado se pudo observar que algunas configuraciones cumplían la función de peinado o limpieza requerida, sin embargo, no todas dieron como resultado un producto final satisfactorio, esto debido a que:

- El tamaño de las púas no influye directamente con el resultado del escarmenado, las pruebas no tuvieron una diferencia significativa con respecto al diámetro empleado.
- La distancia A entre las púas afectó de forma directa con el escarmenado, ya que entre menor era la separación, la fibra recibía mayor impacto y por consecuencia un mayor maltrato, al punto de romperse, sin embargo, entre mayor era la separación, el nivel de escarmenado no era muy significativo.

- La distancia B entre las púas no afecta de forma significativa, esta solo varía en función al ángulo de las púas.
- La distancia C con respecto al espacio entre las planchas compuestas de púas tuvo una notable diferencia, ya que entre más juntas estas estaban, mayor maltrato recibe la fibra de alpaca y mayor es el esfuerzo necesario para generar movimiento.
- La inclinación de las púas afecta directamente al traslado de la fibra, ya que dependiendo de su posición esta impide o permite el paso de la lana.
- El ángulo debe ser diferente a 90° para una mayor acción de escarmenado.



Fig. 14 Lana esquilada vs lana escarmenada con el prototipo.

La aplicación de diferentes configuraciones de prueba permitió observar y analizar los resultados obtenidos y el efecto de cada variante en el resultado final. La configuración S4 y B4 dieron como resultado el mejor escarmenado ya que cumple todos los puntos analizados anteriormente. Estas observaciones estarán presentes en el diseño final de la máquina escarmenadora de lana de alpaca.

2.4 Diseño del mecanismo de transmisión

2.4.1 Selección del mecanismo de transmisión

Como se había planteado anteriormente el escarmenado de la lana será realizado a través de un movimiento lineal, el cual será generado por medio de un sistema mecánico impulsado por un motor, el cual nos proporcionará un movimiento mecánico rotatorio, que deberá ser transformado en uno lineal.

Existen varios mecanismos capaces de transformar un movimiento rotario a uno lineal o viceversa, como es el caso del piñón-cremallera, biela-manivela, tornillo-tuerca, yugo escoces, etc. Debido a esto es conveniente realizar una matriz de decisión para elegir el más adecuado para el diseño de la máquina escarmenadora.

La siguiente matriz tendrá una calificación de 1 a 4 puntos por factor de diseño, siendo 4 la mayor valoración.

Tabla 4. Matriz de decisión

Características \ Mecanismos	Desgaste	Construcción	Costo	Total/12
Piñón-cremallera	2	2	2	6
Biela-manivela	4	4	4	12
Tornillo-tuerca	2	3	2	7
Yugo escoces	2	4	4	10

- Desgaste: En los casos de piñón-cremallera, tornillo-tuerca y yugo escoces estos mecanismos contienen elementos que se encuentran en constante contacto por lo cual se generará un mayor desgaste.
- Construcción: El mecanismo de piñón cremallera será el más difícil de mecanizar seguido por tornillo tuerca debido a su configuración.
- Costo: Al tener una configuración específica y diseño elaborado la construcción de los mecanismos piñón-cremallera y tornillo-tuerca tendrán un mayor costo de fabricación.

El resultado del análisis de la matriz de decisión nos da como resultado el empleo de un mecanismo biela-manivela.

2.4.1.1 Mecanismo Biela-Manivela

Este mecanismo es capaz de transformar un movimiento circular en uno lineal alternativo y viceversa. Dicho mecanismo está conformado por un elemento giratorio llamado manivela que se conecta mediante articulaciones a una barra rígida conocida como biela.

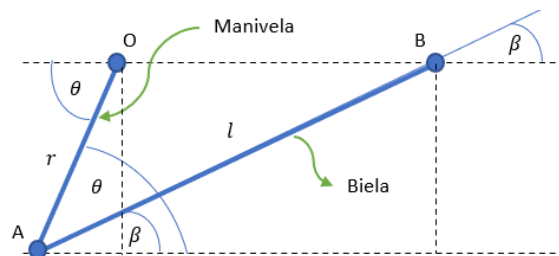


Fig. 15 Mecanismo Biela-Manivela.

Donde:

- Soporte (O): elemento fijo al motor que trasmite su movimiento giratorio a la manivela.
- Manivela (\overline{OA}): elemento de longitud r , con un movimiento circular constante.
- Biela (\overline{AB}): elemento de longitud l , con un movimiento relativamente complejo, ya que está compuesto por: punto A que describe un movimiento circular, mientras que el punto B un movimiento rectilíneo.
- Pistón (B): elemento de trayectoria rectilínea.
- r : es la longitud de la manivela.
- l : es la longitud de la biela.
- β : es el ángulo del eje de la biela con respecto a la plancha móvil que se ubicara en el punto B.
- θ : es el ángulo de entrada, en este caso la posición del eje del motor.

2.4.2 Análisis del sistema biela-manivela

Para poder desarrollar un diseño eficiente del mecanismo biela-manivela es de gran importancia realizar un análisis cinemático y dinámico de este, ya que el primero permite diseñar y observar su comportamiento, con respecto al movimiento, posición, velocidad y aceleración que genera cada una de las partes, mientras que el segundo permite observar las tensiones y deformaciones que pueden sufrir los elementos, en efecto también es pertinente realizar un análisis de las fuerzas involucradas en dicho mecanismo.

Para el análisis cinemático del mecanismo se tomará como referencia el estudio realizado por José Olmedo y Jaime Echeverría (2018) y para el análisis de fuerzas el realizado por Antonio Viciano (2020).

2.4.2.1 Dimensión de los eslabones

Es importante definir las dimensiones de los eslabones biela-manivela para proceder al diseño y al análisis del mecanismo de la máquina escarmenadora de lana de alpaca, para ello se considera que la longitud de la manivela determina el desplazamiento o el recorrido de la biela.

$$\text{Recorrido} = 2r \text{ de manivela} \quad (1)$$

El recorrido requerido de escarmenado es de 0,6m, se procede a reemplazar este valor en la ecuación (1)

$$r = \frac{0,6 [m]}{2} \quad (2)$$

$$r = 0,3 [m] \quad (3)$$

Obteniendo una longitud de 0,3m para la manivela. Por restricción de diseño la longitud de la biela será de:

$$l = 0,53 [m] \quad (4)$$

Para la relación radio de la manivela a longitud de biela (r/l) se recomienda para un correcto funcionamiento un valor superior a 0,3. (Olmedo & Echeverría, 2018)

$$\frac{r}{l} = \frac{0,3}{0,53} \quad (5)$$

$$\frac{r}{l} = 0,566 \quad (6)$$

Por lo que el sistema biela-manivela cumple con esta condición.

2.4.2.2 Análisis de movimiento

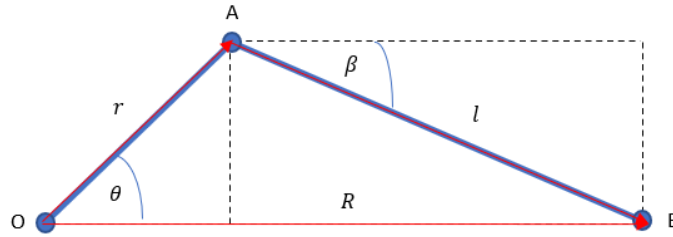


Fig. 16 Sistema biela-manivela.

Se define el circuito vectorial del mecanismo expuesto en la Fig.16:

$$\vec{r} + \vec{l} = \vec{R} \quad (7)$$

El cual equivale a:

$$r \cdot e^{i\theta} + l \cdot e^{i\beta} = R \quad (8)$$

Se emplea la identidad de Euler para resolver el circuito vectorial:

$$e^{i\theta} = \cos(\theta) + i \cdot \text{sen}(\theta) \quad (9)$$

$$R \cdot (\cos(0) + i \cdot \text{sen}(0)) = r \cdot (\cos(\theta) + i \cdot \text{sen}(\theta)) + l \cdot (\cos(\beta) + i \cdot \text{sen}(\beta))$$

Se igualan los términos reales e imaginarios para despejar y obtener:

$$R = r \cdot \cos(\theta) + l \cdot \cos(\beta) \quad (10)$$

$$0 = r \cdot \text{sen}(\theta) + l \cdot \text{sen}(\beta) \quad (11)$$

- Rotación de la biela.

$$\beta = \text{sen}^{-1} \left(-\frac{r}{l} \cdot \text{sen}(\theta) \right) \quad (12)$$

- Desplazamiento del punto B donde se encuentra la plancha móvil de escarmenado.

$$R = r \cdot \cos(\theta) + \sqrt{l^2 - r^2 \cdot \text{sen}^2(\theta)} \quad (13)$$

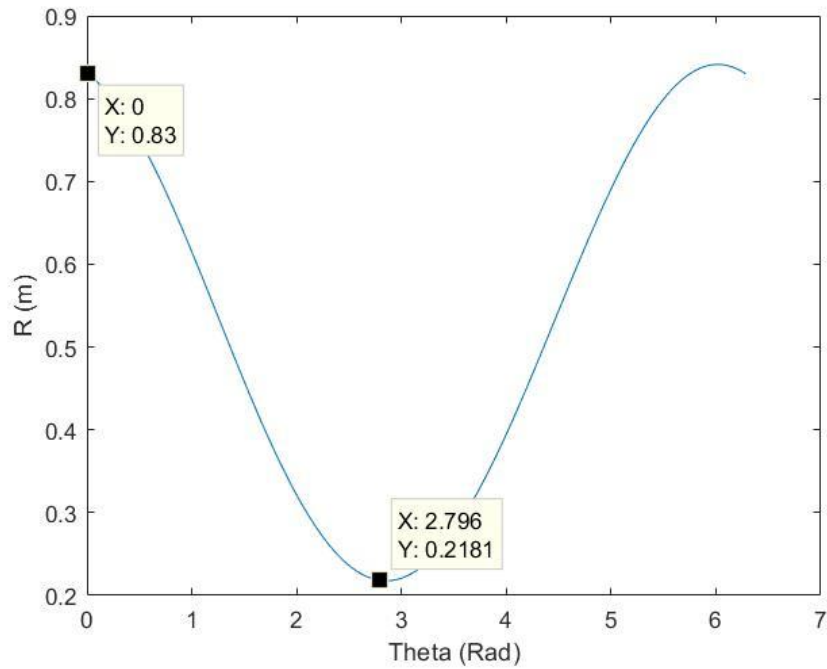


Fig. 17 Desplazamiento del punto B.

De la gráfica se puede determinar el valor del recorrido que realiza el sistema diseñado, restando los puntos de referencia señalados.

$$R = 0,83[m] - 0,22[m] \quad (14)$$

$$R = 0,61[m] \quad (15)$$

El recorrido que realiza el mecanismo es de 0,61m, este valor será comparado y validado posteriormente a través del software de diseño y simulación.

2.4.2.3 Análisis de velocidad

Se deriva el circuito vectorial encontrado previamente para determinar la velocidad.

$$\dot{R} \cdot e^{i\gamma} = \dot{r} \cdot e^{i\theta} + r \cdot i \cdot \omega_2 \cdot e^{i\theta} + \dot{l} \cdot e^{i\beta} + l \cdot i \cdot \omega_3 \cdot e^{i\beta} \quad (16)$$

Se emplea la identidad de Euler (ecuación 9), para resolver la ecuación 16.

$$\begin{aligned} \dot{R} \cdot \cos(0) + i \cdot \dot{R} \cdot \text{sen}(0) \\ = r \cdot i \cdot \omega_2 \cdot (\cos(\theta) + i \cdot \text{sen}(\theta)) + l \cdot i \cdot \omega_3 \cdot (\cos(\beta) + i \cdot \text{sen}(\beta)) \end{aligned} \quad (17)$$

Se igualan los términos reales e imaginarios para despejar y obtener:

$$\dot{R} = -r \cdot \omega_2 \cdot \text{sen}(\theta) - l \cdot \omega_3 \cdot \text{sen}(\beta) \quad (18)$$

$$0 = r \cdot \omega_2 \cdot \cos(\theta) + l \cdot \omega_3 \cdot \cos(\beta) \quad (19)$$

- Velocidad angular ω_3 en la biela.

$$\omega_3 = \omega_2 \cdot -\frac{r}{l} \cdot \frac{\cos(\theta)}{\cos(\beta)} \quad (20)$$

- Velocidad en B.

$$\begin{aligned} \dot{R} &= v(\theta) \\ v &= r \cdot \omega_2 \cdot \frac{\text{sen}(\beta - \theta)}{\cos(\beta)} \end{aligned} \quad (21)$$

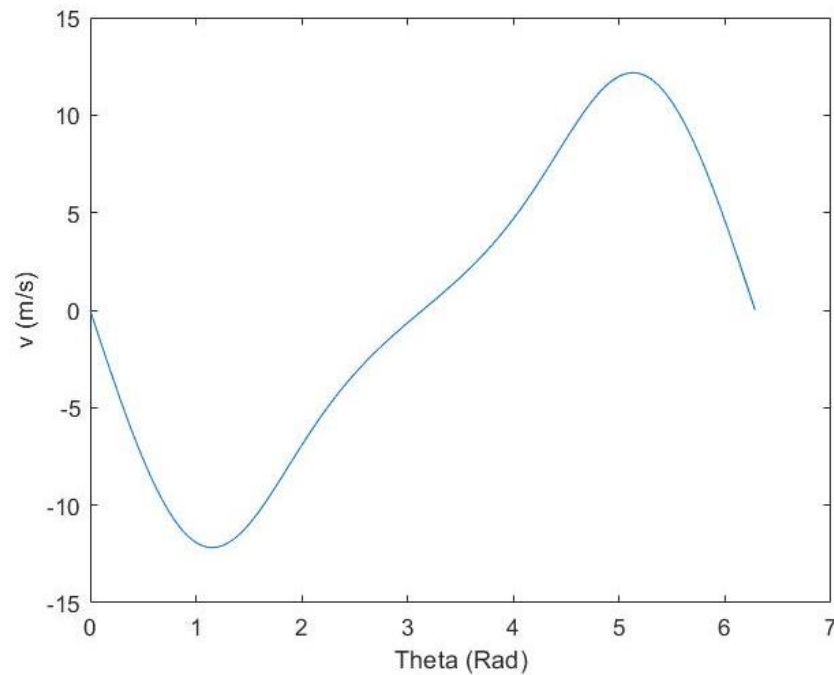


Fig. 18 Velocidad del punto B.

De la gráfica se puede concluir que la velocidad es cero en 0 y 180 grados debido al cambio de dirección, por lo tanto la velocidad en B no es uniforme.

2.4.2.4 Análisis de aceleración

Se deriva el circuito vectorial de la velocidad encontrado previamente para determinar la aceleración.

$$\ddot{R} \cdot e^{i\gamma} = r \cdot i \cdot (\alpha_2 \cdot e^{i\theta} + \omega_2^2 \cdot i \cdot e^{i\theta}) + l \cdot i \cdot (\alpha_3 \cdot e^{i\beta} + \omega_3^2 \cdot i \cdot e^{i\beta}) \quad (22)$$

Se emplea la identidad de Euler (ecuación 9), para resolver la ecuación 23.

$$\begin{aligned} \ddot{R} \cdot \cos(0) + i \cdot \text{sen}(0) \\ = r \cdot i \cdot (\alpha_2 + \omega_2^2 \cdot i) \cdot (\cos(\theta) + i \cdot \text{sen}(\theta)) + l \cdot i \cdot (\alpha_3 + \omega_3^2 \cdot i) \\ \cdot (\cos(\beta) + i \cdot \text{sen}(\beta)) \end{aligned} \quad (23)$$

Se resuelve el sistema de ecuaciones para encontrar:

- Aceleración angular α_3 en la biela.

$$\alpha_3 = \frac{r \cdot \omega_2^2 \cdot \text{sen}(\theta) + l \cdot \omega_3^2 \cdot \text{sen}(\beta)}{l \cdot \text{cos}(\beta)} \quad (24)$$

- Aceleración del punto B.

$$a = -r \cdot \omega_2^2 \cdot \text{cos}(\vartheta) - l \cdot \alpha_3 \cdot \text{sen}(\beta) - l \cdot \omega_3^2 \cdot \text{cos}(\beta) \quad (25)$$

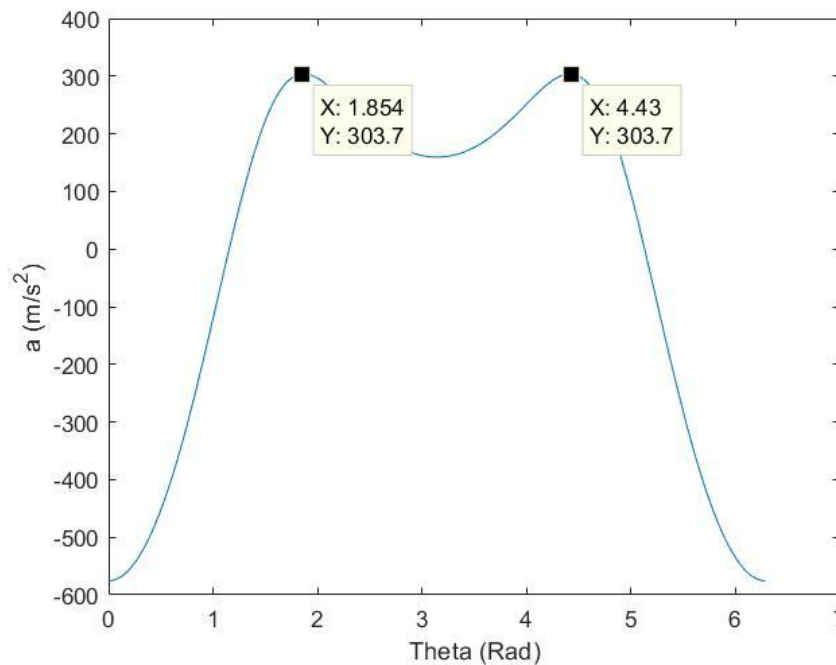


Fig. 19 Aceleración del punto B.

En la gráfica se puede observar que la aceleración máxima se da en 106 grados (1,85rad) y 254 grados (4,43rad).

2.4.3 Análisis de Fuerzas

Es de importancia realizar un análisis de las fuerzas que intervienen en el mecanismo biela-manivela para poder determinar la resistencia de sus componentes frente a los esfuerzos a los que se encuentran sometidos y la potencia requerida del motor a emplear.

Las fuerzas a analizar que intervienen en este mecanismo son: la de escarmenado y las de reacción de los componentes del sistema.

2.4.3.1 Selección del factor de seguridad

Se procede a definir un coeficiente de factor de seguridad, el cual será incluido en las fuerzas que intervienen en el mecanismo biela-manivela, con el fin de realizar un diseño seguro, que garantice un correcto funcionamiento frente a requerimientos o cargas imprevistas. Se emplea el criterio de Pugsley para este análisis.

Factor de seguridad considerando el criterio de Pugsley:

$$N = N_x \cdot N_y \quad (26)$$

Donde:

N: Factor de seguridad

N_x : Coeficiente de seguridad que involucra las características A, B y C.

- A: Calidad de los materiales, destreza, mantenimiento e inspección.
- B: Control sobre la carga aplicada a la parte.
- C: Exactitud del análisis del esfuerzo, información experimental o experiencia con dispositivos similares.

Tabla 5. Valores de N_x .

Característica			B				
			mb	b	r	p	
A	mb	C	mb	1,1	1,3	1,5	1,7
			b	1,2	1,45	1,7	1,95
			r	1,3	1,6	1,9	2,2
			p	1,4	1,75	2,1	2,45
	b		mb	1,4	1,55	1,8	2,05
			b	1,45	1,75	2,05	2,35
			r	1,6	1,95	2,3	2,65
			p	1,75	2,15	2,55	2,95
	r		mb	1,5	1,8	2,1	2,4
			b	1,7	2,05	2,4	2,75
			r	1,9	2,3	2,7	3,1
			p	2,1	2,55	3,0	3,45
	p		mb	1,7	2,05	2,4	2,75
			b	1,95	2,35	2,75	3,15
			r	2,2	2,65	3,1	3,55
			p	2,45	2,95	3,45	3,95

mb: muy bien, b: bien, r: regular, p: pobre (Rios & Roncancio, 2007)

N_y : Coeficiente de seguridad que involucra las características D y E.

- D: Peligro para el personal.
- E: Impacto económico sobre las consecuencias del diseño.

Tabla 6. Valores de N_y .

Característica		D		
		ns	s	ms
E	ns	1,0	1,2	1,4
	s	1,0	1,3	1,5
	ms	1,2	1,4	1,6

ms: muy serio, m: serio, ns: no serio (Rios & Roncancio, 2007)

Considerando los parámetros señalados en las tablas 8 y 9, se obtiene:

$$N = (1,3)(1,0) \quad (27)$$

$$N = 1,3 \quad (28)$$

El factor de seguridad con el que se trabajará será de 1,3.

2.4.3.2 Fuerza de escarmenado

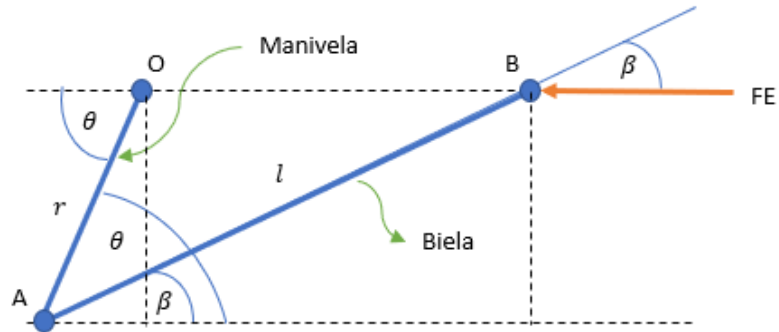


Fig. 20 Fuerza de escarmenado aplicada en el sistema biela-manivela.

Donde:

F_E = Fuerza necesaria para escarmenar.

La fuerza externa que afecta directamente al mecanismo biela-manivela como se puede observar en la fig. 20 es la de escarmenado (F_E), para poder determinar su valor se ha realizado un análisis estadístico de manera experimental, en este estudio se han encontrado otros parámetros como la velocidad y el tiempo de escarmenado que serán empleados posteriormente.

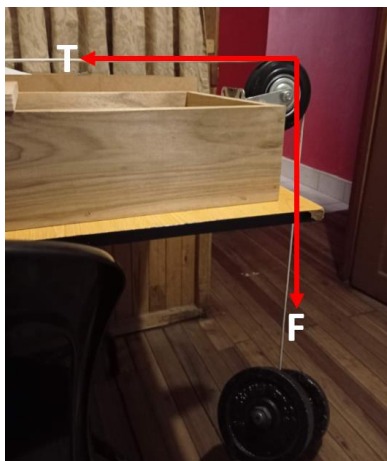


Fig. 21 Prueba de fuerza.

Tabla 7. Muestras de prueba

MUESTRA	PESO LANA (gr)	PESO (Kg)	TIEMPO (s)
1	26,2	49	1,98
2	28,1	53	1,86
3	25,9	45	1,54
4	25,6	48	1,77
5	29,5	50	2,13
6	26,4	51	1,38
7	36,2	50	1,79
8	34,8	49	1,32
9	39	54	1,11
10	29,8	46	2,09
11	31,3	53	2,18
12	31,4	44	1,97
13	35,7	48	2,1
14	32,7	55	1,32
15	37,1	53	1,2

Tabla 8. Análisis del tiempo

ANÁLISIS DEL TIEMPO (s)	
Media	1,716
Mediana	1,79
Moda	1,32
Mínimo	1,11
Máximo	2,18
Cuenta	15

Tabla 9. Análisis de peso

ANÁLISIS DEL PESO (Kg)	
Media	49,867
Mediana	50
Moda	53
Mínimo	44
Máximo	55
Cuenta	15

De la tabla 7 del análisis del peso se toma el valor máximo encontrado de 55kg para 32,07g de lana de alpaca como se puede observar en la tabla 5, para determinar la fuerza de escarmenado. Obteniendo así:

$$F_E = 55 [kg] \cdot 9,81[m/s^2] \quad (29)$$

$$F_E = 539,55[N] \quad (30)$$

Aplicando a la fuerza el coeficiente de 1,3 de factor de seguridad anteriormente encontrado tenemos:

$$F_E = 539,55[N] \cdot 1.3 \quad (31)$$

$$F_E = 701,415[N] \quad (32)$$

2.4.3.3 Fuerzas que intervienen en el mecanismo biela-manivela

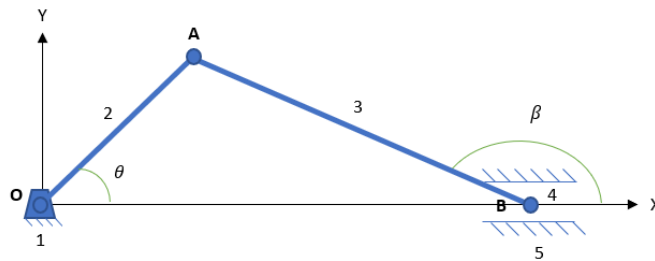


Fig. 22 Mecanismo biela-manivela.

Donde sus componentes son:

- 1: Eje motor.
- 2: Manivela.
- 3: Biela.
- 4: Plancha móvil.
- 5: Estructura.

Para poder determinar las fuerzas a las que se encuentran sometidas los componentes como consecuencia de la fuerza de escarmenado es necesario analizar cada uno elemento del sistema. Por lo que se procede a realizar un diagrama de cuerpo libre de cada componente.

Las fuerzas de reacción que ejercen cada uno de los componentes del sistema entre sí son desconocidas, por lo cual serán graficadas con una magnitud y dirección aleatoria con el fin de establecer un modelo general del sistema.

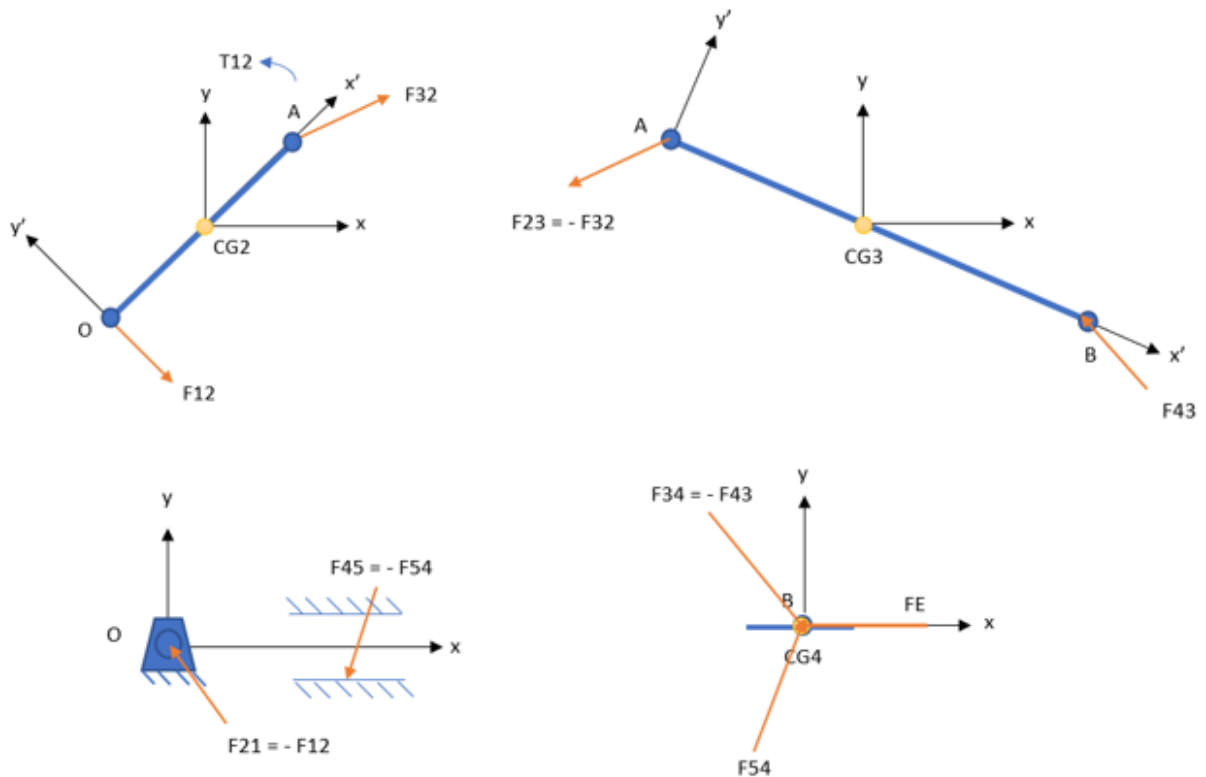


Fig. 23 Diagrama de cuerpo libre de los componentes del sistema.

Como se puede observar en la figura 23 cada uno de los componentes del sistema posee un eje coordenado principal (x,y) ubicado en su centro de gravedad para facilidad de cálculo. Las fuerzas de reacción que ejercen los componentes entre si serán descritas a continuación, utilizando notación inversa en los subíndices de las fuerzas en aquellas de igual magnitud y sentido contrario como consecuencia del principio de acción-reacción.

Las fuerzas de reacción que ejercen los componentes entre sí en la figura 23 son representados de la forma F_{ij} . Teniendo así:

F_{12} : Fuerza de reacción entre el eje del motor y la manivela.

F_{32} : Fuerza de reacción entre la manivela y la biela.

F_{43} : Fuerza de reacción entre la biela y la plancha móvil.

F_{54} : Fuerza de reacción entre la plancha móvil y la estructura.

T_{12} es la fuerza de torque generado por el eje del motor y la manivela.

Para el desarrollo del sistema de ecuaciones que se obtendrá con respecto al análisis de los diagramas de cuerpo libre, se debe tomar en cuenta que R_{ij} , representan las distancias encontradas entre las juntas de los componentes del mecanismo y los centros de gravedad. Teniendo así:

R_{12} : Distancia desde el punto O hasta CG2.

R_{32} : Distancia desde el CG2 hasta el punto A.

R_{23} : Distancia desde el punto A hasta CG3.

R_{43} : Distancia desde el CG3 hasta el punto B.

Análisis DCL

Según los principios de:

$$\sum F = m \cdot a \quad (33)$$

$$\sum \tau = I \cdot \alpha \quad (34)$$

Del DCL de la manivela se obtiene:

$$F_{12x} + F_{32x} = m_2 \cdot a_{G2x} \quad (35)$$

$$F_{12y} + F_{32y} = m_2 \cdot a_{G2y} \quad (36)$$

$$T_{12} + (R_{12x} \cdot F_{12y} - R_{12y} \cdot F_{12x}) + (R_{32x} \cdot F_{32y} - R_{32y} \cdot F_{32x}) = I_{G2} \cdot \alpha_2 \quad (37)$$

Del DCL de la biela se obtiene:

$$F_{43x} - F_{32x} = m_3 \cdot a_{G3x} \quad (38)$$

$$F_{43y} - F_{32y} = m_3 \cdot a_{G3y} \quad (39)$$

$$(R_{43x} \cdot F_{43y} - R_{43y} \cdot F_{43x}) + (R_{32x} \cdot F_{32y} - R_{32y} \cdot F_{32x}) = I_{G3} \cdot \alpha_3 \quad (40)$$

Del DCL del punto B en el que se encuentra la plancha móvil del escarmenado se obtiene:

$$F_{54x} - F_{43x} + F_{Ex} = m_4 \cdot a_{G4x} \quad (41)$$

$$F_{54y} - F_{43y} + F_{Ey} = m_4 \cdot a_{G4y} \quad (42)$$

$$(R_{54x} \cdot F_{54y} - R_{54y} \cdot F_{54x}) - (R_{34x} \cdot F_{43y} - R_{34y} \cdot F_{43x}) + (R_{Ex} \cdot F_{Ey} - R_{Ey} \cdot F_{Ex}) = I_{G4} \cdot \alpha_4 \quad (43)$$

Debido a que la plancha móvil se traslada solo en dirección al plano del eje x, las componentes angulares de aceleración y velocidad son nulas. De forma análoga para la ecuación de torsión, ya que la fuerza F_E actúa sobre el centro de gravedad, el vector de posición es nulo y la aceleración no posee componente en el plano del eje y.

$$\alpha_4 = 0 \quad (44)$$

$$a_{G4y} = 0 \quad (45)$$

Entonces, lo único que existe entre la plancha móvil y la estructura en el eje horizontal es la fricción. Obteniendo así:

$$F_{54x} = \pm\mu F_{54y} \quad (46)$$

$$\pm\mu F_{54y} - F_{43x} + F_{Ex} = m_4 \cdot a_{G4x} \quad (47)$$

$$F_{54y} - F_{43y} + F_{Ey} = 0 \quad (48)$$

Se encuentran las siguientes incógnitas: F_{12x} , F_{12y} , F_{32x} , F_{32y} , F_{43x} , F_{43y} , F_{54y} y T_{12} .

Resolviendo el sistema de ecuaciones se puede formar matrices solución:

$$A * B = C \quad (49)$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -R_{12y} & R_{12x} & -R_{32y} & R_{32x} & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & R_{23y} & -R_{23x} & -R_{43y} & R_{43x} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & \pm\mu & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} F_{12x} \\ F_{12y} \\ F_{32x} \\ F_{32y} \\ F_{43x} \\ F_{43y} \\ F_{54y} \\ T_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_2 \cdot a_{G2x} \\ m_2 \cdot a_{G2y} \\ I_{G2} \cdot \alpha_2 \\ m_3 \cdot a_{G3x} \\ m_3 \cdot a_{G3y} \\ I_{G3} \cdot \alpha_3 \\ m_4 \cdot a_{G4x} - F_{Ex} \\ -F_{Ey} \end{bmatrix}$$

Donde:

A: La matriz de posición que define las longitudes de las barras.

B: El sistema matricial de fuerzas.

C: La matriz que recoge el producto de las masas por las aceleraciones.

Para obtener la matriz de fuerzas:

$$B = A^{-1} \cdot C \quad (50)$$

Para encontrar las aceleraciones en los centros de masa de cada barra es necesario saber su posición angular y descomponer la aceleración lineal de la junta en sus componentes en la forma (a_{Gj}):

$$a_{Gx} = aA \cdot \cos(\text{ángulo}) \quad (51)$$

$$a_{Gy} = aA \cdot \sin(\text{ángulo}) \quad (52)$$

Obteniendo así:

$$a_{G2x} = aA \cdot \cos(\theta) \quad (53)$$

$$a_{G3y} = aA \cdot \text{sen}(\theta) \quad (54)$$

$$a_{G3x} = aA \cdot \cos(\beta) \quad (55)$$

$$a_{G3y} = aA \cdot \text{sen}(\beta) \quad (56)$$

Debido a que la plancha móvil experimenta únicamente aceleración en el plano horizontal la aceleración de su centro de gravedad coincide con la aceleración lineal de la junta B, entonces:

$$a_{G4x} = aB \quad (57)$$

Ya que R_j representa a las longitudes absolutas de las barras del mecanismo, estas corresponden al doble de la distancia de la junta al centro de gravedad:

$$R_{ij} = \left(\frac{R_j}{2}\right) \quad (58)$$

Para encontrar las longitudes de las barras (R_{ij}):

$$R_x = \left(\frac{R_j}{2}\right) \cdot \cos(\text{angulo}) \quad (59)$$

$$R_y = \left(\frac{R_j}{2}\right) \cdot \text{sen}(\text{angulo}) \quad (60)$$

Entonces:

$$R_{12x} = -\frac{r}{2} \cdot \cos(\theta) \quad (61)$$

$$R_{12y} = -\frac{r}{2} \cdot \text{sen}(\theta) \quad (62)$$

$$R_{32x} = -\frac{r}{2} \cdot \cos(\theta) \quad (63)$$

$$R_{32y} = -\frac{r}{2} \cdot \text{sen}(\theta) \quad (64)$$

$$R_{23x} = \frac{l}{2} \cdot \cos(\beta) \quad (65)$$

$$R_{23y} = \frac{l}{2} \cdot \text{sen}(\beta) \quad (66)$$

$$R_{43x} = \frac{l}{2} \cdot \cos(\beta) \quad (67)$$

$$R_{43y} = \frac{l}{2} \cdot \text{sen}(\beta) \quad (68)$$

La resolución de la matriz de fuerzas del sistema encontrado se la realiza mediante el software de análisis numérico Matlab R2017b con los siguientes datos:

$$F_E = 539,55 [N]$$

$$r = 300 [mm]$$

$$l = 530 [mm]$$

Los datos de las inercias y masa de los componentes del sistema se han obtenido mediante el software de diseño y simulación:

Del software de diseño y simulación se obtienen los siguientes datos:

Tabla 10. Datos obtenidos del software de diseño y simulación (ANEXO 1)

Componente	Inercia con respecto al centro de gravedad	Masa
Biela	34019816,44 g.mm ²	1312,34 g
Manivela	9781933,16 g.mm ²	1126,90 g
Plancha móvil	-	2797,30 g

Mediante la resolución de la matriz fuerza realizada a través del software se pudo obtener la gráfica de las componentes de las fuerzas de reacción del sistema biela-manivela en función a la posición angular de la manivela (θ).

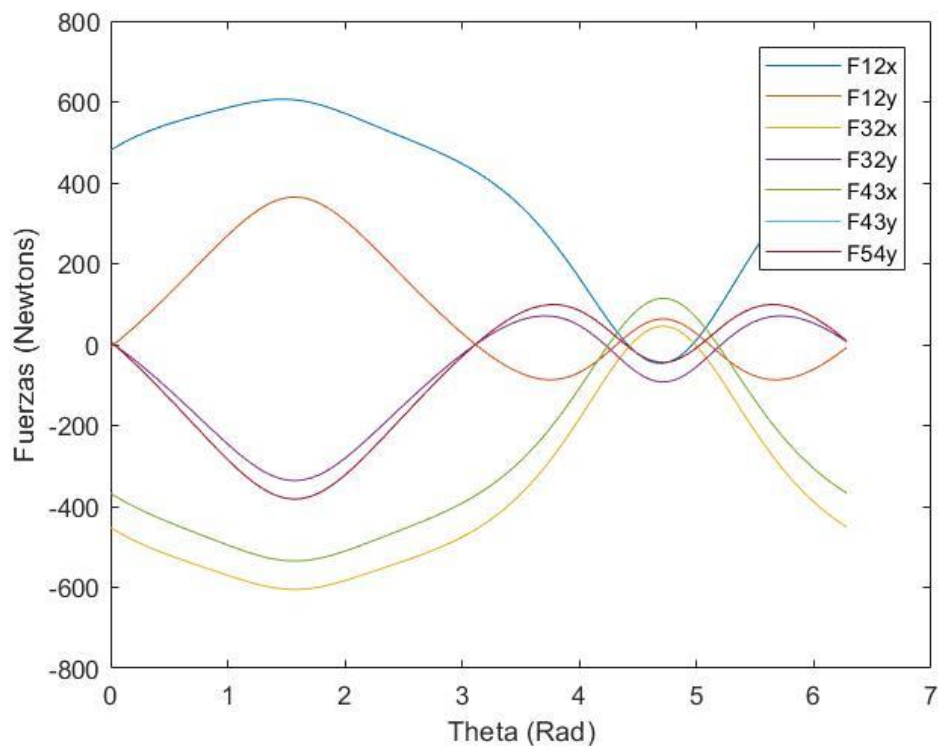


Fig. 24 Fuerzas en función de (ϑ).

De la gráfica obtenida se puede observar que cada una de las componentes de las fuerzas oscilan entre valores positivos y negativos, esto en consecuencia a la naturaleza del movimiento, los valores positivos indican que los componentes de las fuerzas se encuentran en tensión mientras que los valores negativos indican que se encuentran en compresión. La razón por la que las componentes de las fuerzas varían de tensión a compresión se debe a que en una fase del movimiento el sistema desplaza hacia delante la plancha móvil y en otra la desplaza hacia atrás.

Luego, se obtienen las magnitudes de las fuerzas para encontrar sus puntos máximos:

$$|F_i| = \sqrt{F_{ix}^2 + F_{iy}^2} \quad (69)$$

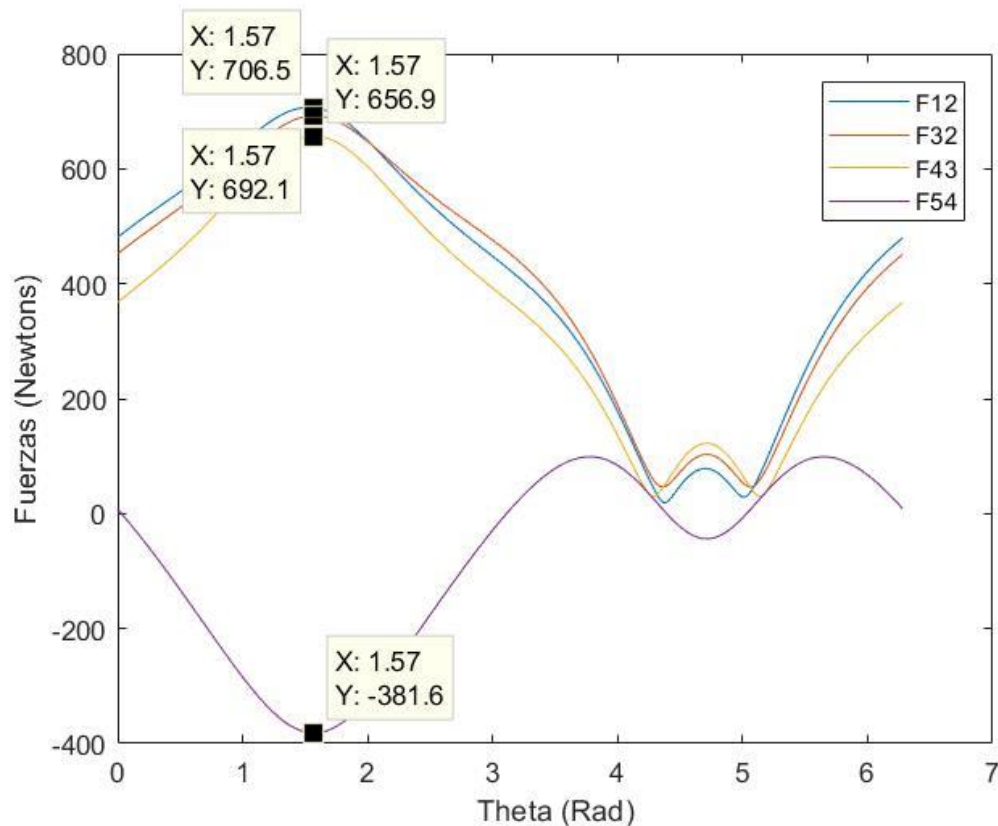


Fig. 25 Fuerzas aplicadas.

De la gráfica se puede concluir que en 90 grados (1.57rad) es donde se generan las mayores fuerzas de reacción del sistema biela-manivela, correspondientes a cada uno de los componentes del sistema.

Las fuerzas encontradas serán empleadas en el cálculo del torque que debe generar el motor para hallar la potencia mínima necesaria del motor a emplear para realizar la actividad de escarmenado.

2.4 Selección del Rodamiento

A la salida del sistema biela-manivela, en el punto B se encuentra la plancha móvil que contiene las púas que realizan el escarmenado de lana, esta está sujeta a través de rodamientos lineales que se desplazan por medio de guías.

Para la selección de los rodamientos se ha empleado como apoyo el catálogo de la marca NTN ya que los productos de esta marca son de fácil adquisición en el país. (NTN-SNR, 2018)

Tenemos:

$$f_s = \frac{C_o}{F_{omax}} \cdot f_H \cdot f_r \cdot f_c \quad (70)$$

Donde:

f_s : Factor de seguridad estático.

C_o : Capacidad de carga estática.

F_{omax} : Carga estática máxima.

f_H : Factor de dureza.

f_r : Factor de temperatura.

f_c : Factor de contacto.

Para definir las variables presentadas en la ecuación 70 serán utilizadas las tablas de datos y las consideraciones proporcionadas por el fabricante en su catálogo. Teniendo así:

Tabla 11. Valores del factor de seguridad estático

Condición de operación	f_s
Condiciones normales de operación	≈ 2
Con poca exposición a golpes y vibraciones	$\approx 2 \dots 4$
Con moderada exposición a golpes y vibraciones	3 ... 5
Con fuerte exposición a golpes y vibraciones	4 ... 8
Con parámetros de carga parcialmente desconocidos	> 8

$f_s = 2$ con condiciones normales de operación

Tabla 12. Factor de contacto

Número de vagones poco espaciados	f_c
1	1.00
2	0.81
3	0.72
4	0.66
5	0.31

$f_c = 0.81$ ya que la carga estará distribuida en un par de rodamientos

$f_H = 1$ debido a que las guías lineales NTN cumplen con las condiciones necesarias

$f_r = 1$ debido a que las guías lineales NTN soportan hasta 80° de temperatura

Para el cálculo de la Fuerza máxima que deberán soportar los rodamientos lineales se debe tomar la cuenta el peso de los clavos y la plancha móvil, considerando que esta carga se encontrara distribuida en cuatro rodamientos. Teniendo así:

$$F_{omax} = \frac{P_c + P_p}{4} \quad (71)$$

Donde:

Pc: Peso de los clavos en la plancha.

Pp: Peso de la plancha.

Peso de los clavos

Datos:

De la Tabla 1. Tamaños normalizados de clavos tenemos que 413 clavos/kg, entonces 48 clavos = 0.116kg

$$P_c = 0,116 [kg] * 9,81 [m/s^2] \quad (72)$$

$$P_c = 1,1379 [kg.m/s^2] \quad (73)$$

Peso de la plancha móvil

Datos:

$$\text{Volumen} = 3,6 \times 10^{-4} [m^3]$$

$$\text{Densidad del material AISI 1020} = 7870 [kg/m^3]$$

Se encuentra la masa de la plancha móvil para poder determinar su peso:

$$m = v \cdot \rho \quad (74)$$

$$m = 3,6 \times 10^{-4} [m^3] \cdot 7870 [kg/m^3] \quad (75)$$

$$m = 2,8332 [kg] \quad (76)$$

$$P_p = 2,8332 [kg] \cdot 9,81 [m/s^2] \quad (77)$$

$$P_p = 27,7937 [kg.m/s^2] \quad (78)$$

Se reemplazan los valores encontrados:

$$F_{omax} = \frac{1,1379 [kg.m/s^2] + 27,7937 [kg.m/s^2]}{4} \quad (79)$$

$$F_{omax} = 7,2329 [N] \quad (80)$$

Una vez hallados todos los valores necesarios para desarrollar la ecuación 70 es posible determinar la capacidad de carga estática. Teniendo así:

$$C_o = \frac{f_s \cdot F_{o\max}}{f_H \cdot f_r \cdot f_c} \quad (81)$$

$$C_o = \frac{2 \cdot 7,2329 [N]}{1 \cdot 1 \cdot 0,81} \quad (82)$$

$$C_o = 17,859 [N] \quad (83)$$

Tabla 13. Parámetros del producto

Capacidad de Carga					Masa		
kN		kNm			kg	Kg/kg/m	
C	Co	MX	MY	MZ	Carro	Riel	
11,67	19,90	0,137	0,120	0,120	0,21	1,28	LGBCH15 FN
14,12	24,05	0,166	0,171	0,171	0,23	1,28	LGBCH15 FL
17,98	30,96	0,289	0,224	0,224	0,40	2,15	LGBCH15 FN
23,30	40,11	0,376	0,366	0,366	0,46	2,15	LGBCH15 FL
27,85	49,61	0,464	0,565	0,565	0,61	2,15	LGBCH15 FE

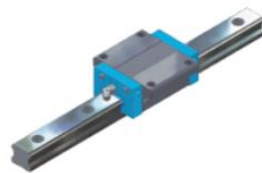


Fig. 26 Rodamiento lineal. (NTN-SNR, 2018)

Como se puede observar en la tabla 13 el rodamiento con menor capacidad de carga estática disponible es igual a 19,9 kN, por lo tanto, este será capaz de soportar la carga requerida por la máquina escarmenadora de alpaca.

2.5 Selección del Motor

El motor es una máquina rotativa alimentada eléctricamente, que transforma la energía eléctrica en mecánica. Existe una gran diversidad de modelos en el mercado, pero para seleccionar un motor eléctrico más acorde a la aplicación deseada se debe considerar criterios como:

2.5.1 Tensión

Es el voltaje de entrada para el cual está diseñado el motor, se expresa en voltios (V).

Existen de dos tipos:

- Monofásica: Generalmente para la red de 127V.
- Trifásica: Las tensiones más empleadas son 220V, 380V a 60Hz.

2.5.2 Velocidad de rotación

Esta se expresa en rpm o revoluciones por minuto, y representa el número de giros que el eje del motor desarrolla en cada minuto.

2.5.2.1 Calculo de RPM

En base a la fórmula de la velocidad angular se definirán los RPM necesarios para realizar el escarmenado.

$$\omega = \frac{\theta}{t} \quad (84)$$

Donde:

ω : Velocidad angular

θ : Ángulo de giro

t : Tiempo

$$\omega = \frac{2\pi}{1,7 [s]} \quad (85)$$

$$\omega = 3,696 [rad] = 35,294 [RPM] \quad (86)$$

Debido a que los motorreductores comerciales se encuentran disponibles a 35 RPM se empleará este valor en el diseño de la escarmenadora de lana de alpaca para un tiempo de 1,71[s], ya que esta variación no influye en el correcto funcionamiento del sistema.

2.5.3 Potencia

Se conoce como la fuerza que el motor genera para mover una carga a una determinada velocidad. La potencia encontrada en la placa de los motores señala la potencia mecánica disponible en la salida o punta del eje del motor y va expresada en Kilowatts (KW) o en su equivalente en Caballos de Vapor (HP / CV). (roydisa, s.f.)

2.5.3.1 Cálculo de Potencia

Formula de potencia:

$$P = \frac{T \cdot RPM}{727,7} \quad (87)$$

Donde:

P: Potencia del motor [HP].

T: Torque del motor [Kg.m].

RPM: Revoluciones por minuto.

727,7: Constante de conversión.

Para encontrar el valor del torque necesario para calcular la potencia requerida se debe tomar en cuenta que este se encuentra compuesto por el torque requerido para realizar el escarmenado y el necesario para vencer la inercia de los componentes: Teniendo así:

$$T = F \cdot d \quad (88)$$

$$T_{total} = T_T + T_C \quad (89)$$

Donde:

T_T : Torque requerido para que el motor realice el escarmenado de 32,07 gr de lana.

T_C : Torque necesario para vencer la inercia de los componentes.

Datos:

Para el calculo T_T se procede a tomar la mayor fuerza de reacción aplicada en el extremo de la manivela la cual corresponde a F_{32} del análisis de fuerzas. La mayor se genera cuando θ es igual a 1,57rad (90 grados), es decir cuando la manivela se encuentra sobre el eje "y" del DCL.

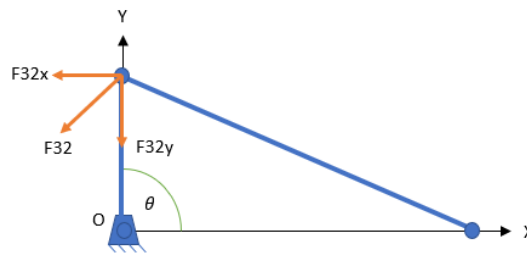


Fig. 27 Fuerza F_{32} en DCL.

En consecuencia, de acuerdo a la definición de torque se tomará la componente en x de la fuerza F_{32} ya que se conoce la distancia perpendicular de la fuerza al centro del eje.

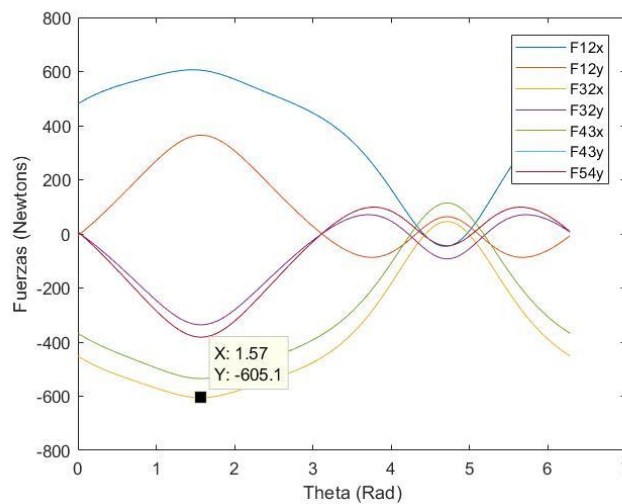


Fig. 28 Componente x de F_{32} .

Se calcula el torque de escarmenado con el valor encontrado en la figura 28:

$$T_T = (F_{32x} \cdot F_s) \cdot d \quad (90)$$

$$T_T = (605,1 \cdot 1,3) [N] \cdot 0,3 [m] \quad (91)$$

$$T_T = 235.989 [N \cdot m] \quad (92)$$

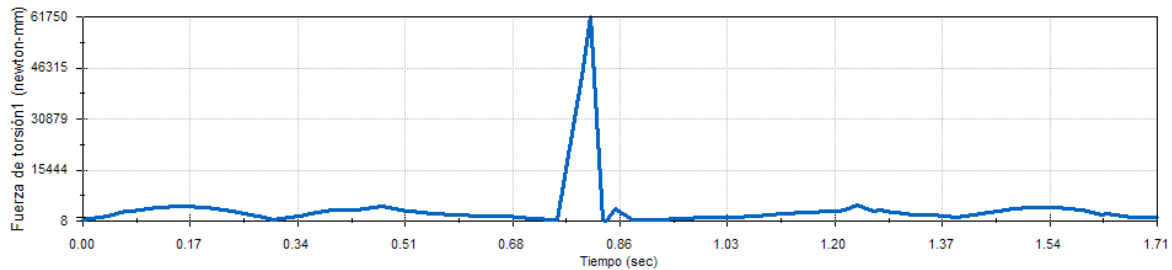


Fig. 29 Fuerza de torsión vs tiempo.

El torque necesario para vencer la inercia de los componentes se obtiene a través del software de diseño y simulación. Teniendo así:

$$T_C = 61750[N \cdot mm] = 61,75 [N \cdot m] \quad (93)$$

Se calcula el torque total:

$$T_{total} = 24,064[kg \cdot m] + 6,296 [kg \cdot m] \quad (94)$$

$$T_{total} = 30,36[Kg \cdot m] \quad (95)$$

Una vez encontrados todos los parámetros necesarios se calcula la potencia requerida del motor:

$$P = \frac{30,36 [Kg \cdot m] \cdot 35 [RPM]}{727,7} \quad (96)$$

$$P = 1,46 [Hp] \quad (97)$$

2.6 Diseño de la estructura y armazón

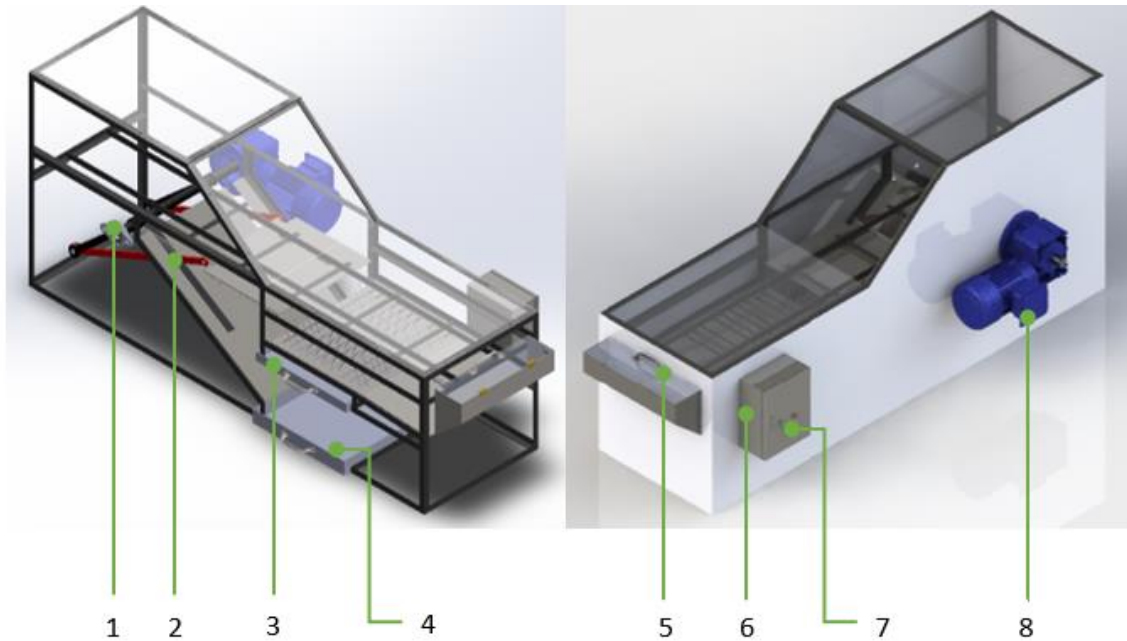


Fig. 30 Estructura y armazón de la máquina escarmenadora.

Donde:

1. Chumacera.
2. Mecanismo de escarmenado.
3. Contenedor de impurezas.
4. Contenedor de lana escarmenada.
5. Tolva de ingreso de lana esquilada.
6. Caja eléctrica.
7. Pulsadores de mando con señalización lumínica.
8. Motor.

La estructura de la máquina está formada por un ángulo de hierro ISO 20x20x3mm y recubierta por un caparazón de tool negro que encerrará al mecanismo que realiza el escarmenado de lana con el fin de reducir la contaminación ambiental producida por las partículas de fibra que se desprenden al momento de realizar la actividad, además de proteger al usuario contra accidentes que se pueden producir al estar expuesto a elementos móviles y a las púas que desarrollan el peinado de la lana.

El diseño contempla el fácil ingreso, salida y retención de impurezas de la fibra a través de la tolva y los contenedores como se puede observar en la Fig. 30, se pueden observar también los elementos

del sistema eléctrico como el motor y la caja eléctrica que contiene a los pulsadores, protecciones, etc.

Las dimensiones finales de la máquina escarmenadora se encontrarán detalladas en los planos ubicados en el ANEXO 3.

2.7 Diseño del sistema de control de seguridad

Las máquinas que realizan una actividad de manera autónoma generalmente significan un riesgo para la integridad física de las personas. Esto hace necesario un sistema de control de los posibles riesgos, este no siempre será completo debido a los descuidos humanos que inevitablemente se pueden producir. Con el fin de poner una barrera para prevenir lesiones entre el peligro y el usuario se emplean diferentes dispositivos de protección.

2.7.1 Dispositivo final de Carrera

Estos dispositivos se utilizan para actuar sobre un circuito de mando, funcionan al igual que los pulsadores. Se pueden emplear para garantizar que un elemento móvil no se pueda activar si no se encuentra en una posición determinada. (Martín castillo & García García, 2016)

Para el diseño de la máquina escarmenadora de lana este dispositivo será colocado en la tolva al ingreso de la fibra para la seguridad del usuario.

2.8 Diseño del sistema eléctrico

Los circuitos preparados para realizar procesos repetitivos y repetitivos son más conocidos como automatismos eléctricos y son aquellos que intervienen en un proceso industrial o el funcionamiento de una máquina.

Existen dos tipos de circuitos de automatismos que son:

Circuito de mando o maniobra: Incluye los equipos que reciben la información de los diferentes elementos de captura, son los encargados de controlar los circuitos de potencia. En los elementos más representativos podemos encontrar: Protecciones térmicas, pulsadores, relés, temporizadores, señalizaciones, etc.

Circuito de potencia: Incluye aquellos elementos que hacen de alguna manera el trabajo duro y ejecutan las ordenes provenientes del circuito de mando. En los elementos más representativos podemos encontrar: Protecciones térmicas, interruptores, contactores, motores, etc.

2.8.1 Componentes eléctricos de la máquina escarmenadora

2.8.1.1 Pulsador NO/NC

Es un componente eléctrico que permite o no el paso de la corriente eléctrica cuando es pulsado o apretado. El paso o cierre de la corriente se consigue mediante contactos eléctricos, estos tienen 2 posiciones:

NO: Normalmente abierto, los contactos están separados y el pulsador impide el paso de la corriente.

NC: Normalmente cerrado, los bornes están juntos y el pulsador permite el paso de la corriente. (Nuevo García, 2020)

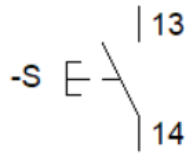


Fig. 31 Símbolo eléctrico de pulsador NO.

2.8.1.2 Señalización

Mediante la señalización podemos indicar que cierta máquina está funcionando o que se encuentra parada, estas pueden ser de tipo luminoso o acústico. (Cerdá Filii, 2014)

Para el caso de la escarmenadora de lana de alpaca se ha implementado en el diseño pulsadores que incluyen señalización de tipo luminosa. El color verde indicara el encendido y puesta en marcha de la máquina mientras que el color rojo mostrara el paro de la máquina.

2.8.1.3 Paro de Emergencia

Es un interruptor o pulsador eléctrico que cuando se acciona queda enclavado y cuya función principal es detener la máquina lo más rápido posible para prevenir situaciones de emergencia que puedan poner en peligro a las personas y causar averías en la maquinaria.

2.8.1.4 Interruptor magnetotérmico

Es un dispositivo de protección de las instalaciones eléctricas, capaz de interrumpir un circuito eléctrico cuando suceden fallas. Se encuentran compuestos por una parte magnética que es la responsable de la protección contra cortocircuitos y otra parte térmica que es la encargada de la protección contra sobrecargas.

Existen diferentes tipos de interruptores magnetotérmicos, estos se deben elegir dependiendo de los receptores que va a proteger. Se pueden seleccionar con respecto a su curva de respuesta, en el caso de los motores se emplea la curva K, ya que tiene un disparo térmico rápido y un magnético lento. (Carrasco Hernández, García Espinosa, & Núñez Abad, 2012)

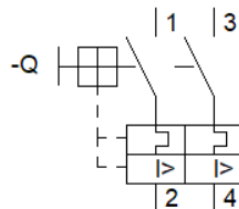


Fig. 32 Símbolo eléctrico de interruptor magnetotérmico.

2.8.1.5 Contactor

Es un dispositivo que puede cerrar o abrir circuitos, su principal función es accionar actuadores de alta potencia. Está compuesto de un sistema de control o maniobra, normalmente una bobina y un circuito de contactos para actuar sobre los receptores. Los contactos que actúan en el circuito de

potencia son conocidos como principales y los que actúan en el circuito de mando son conocidos como auxiliares. (Nuevo García, 2020)



Fig. 33 Simbología eléctrica de tipos de contactores. (Nuevo García, 2020)

2.8.1.6 Bobina

Es un electroimán que opera los contactos cuando le llega corriente, cierra los contactos abiertos y abre los cerrados. Cuando la bobina ya no detecta corriente los contactores regresan a su estado inicial. (Nuevo García, 2020)

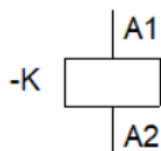


Fig. 34 Simbología eléctrica de bobina.

2.8.2 Diagrama eléctrico de Escarmenadora de alpaca

2.8.2.1 Diagrama de potencia

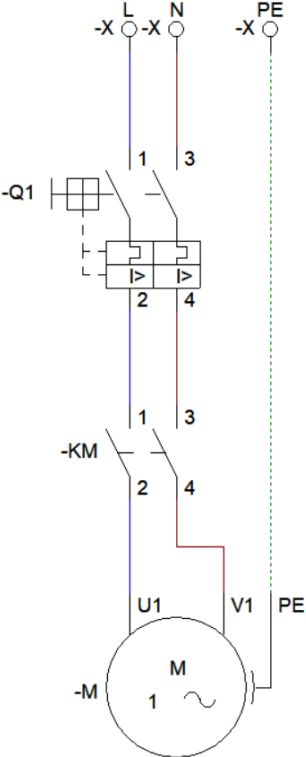


Fig. 35 Diagrama de Potencia.

2.8.2.2 Diagrama de mando

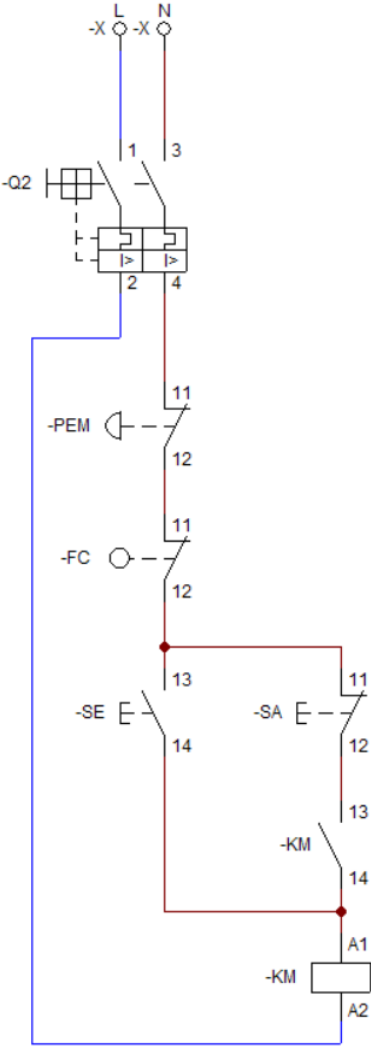


Fig. 36 Diagrama de mando.

Capítulo 3: Validación del diseño por medio de simulación

3.1 Introducción

La simulación se ha transformado en un instrumento indispensable al momento de evaluar y analizar un sistema nuevo o existente, esto debido a que nos permite anticiparnos y observar el proceso a efectuar para poder realizar mejoras de funcionamiento, corregir errores de diseño, selección de materiales, entre otros y de esta forma poder obtener una óptima configuración.

3.2 Análisis del sistema biela-manivela

Para validar el estudio del comportamiento del sistema biela-manivela realizado en el capítulo anterior se ha empleado el software de diseño y simulación SolidWorks 2020.

3.2.1 Análisis de movimiento

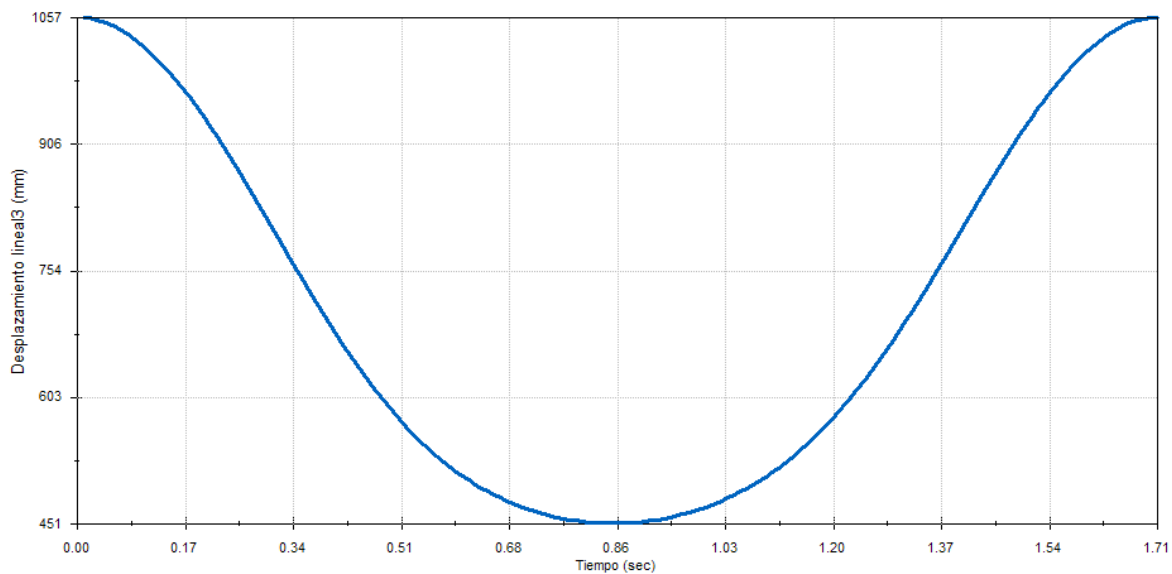


Fig. 37 Desplazamiento del punto B.

De la gráfica se puede determinar el valor del recorrido que realiza nuestro sistema.

$$R = 1057[mm] - 451[mm] \quad (98)$$

$$R = 606[mm] = 0,606[m] \quad (99)$$

El valor del recorrido encontrado de forma analítica es análogo al obtenido mediante la en software por lo que se puede validar los resultados obtenidos.

$$0,61[m] \approx 0,606[m] \quad (100)$$

3.2.2 Análisis de velocidad

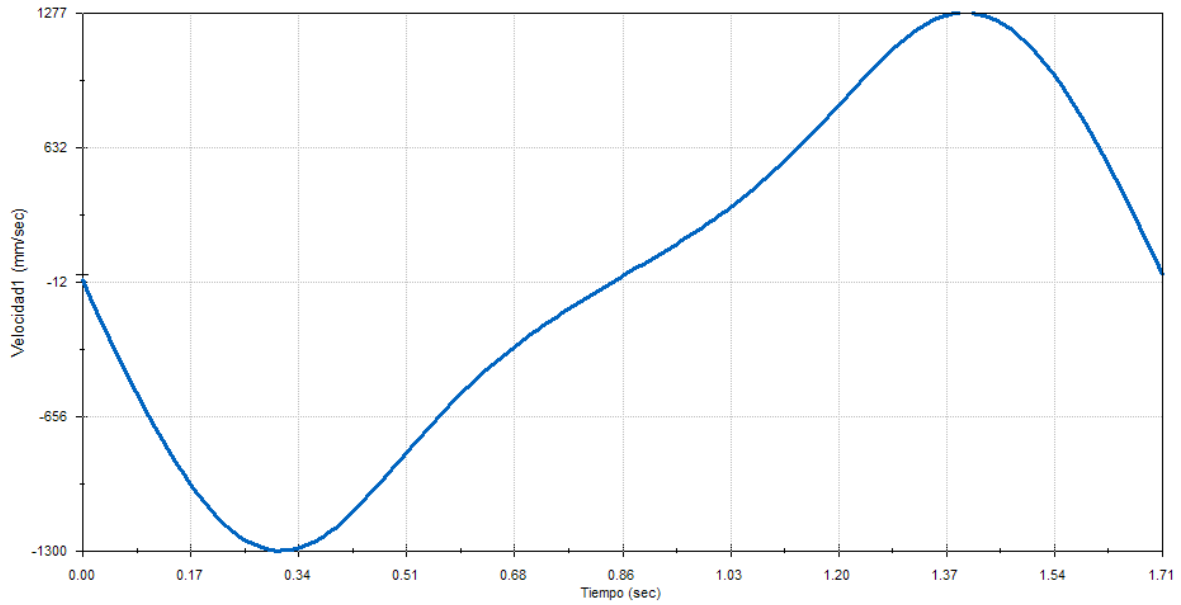


Fig. 38 Velocidad del punto B.

En la gráfica se puede observar que el análisis de velocidad realizado mediante el software tiene el mismo comportamiento que el encontrado de forma analítica, concluyendo que la velocidad es cero en 0 y 180 grados debido al cambio de dirección.

3.2.3 Análisis de aceleración

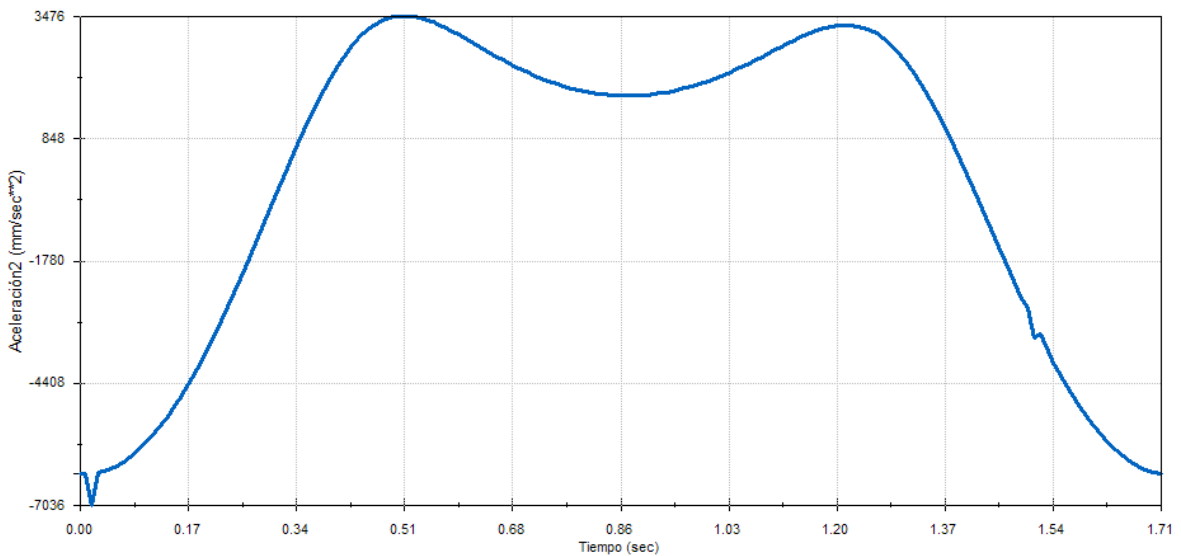


Fig. 39 Aceleración del punto B.

En la gráfica se puede observar que el análisis de aceleración realizado mediante el software tiene el mismo comportamiento que el encontrado de forma analítica, teniendo una aceleración máxima en 106 y 254 grados equivalente a 0,5 y 1,21 segundos.

3.3 Selección del motor

2.3.1 Fuerza de escarmenado

La fuerza de escarmenado al ser externa al sistema biela-manivela debe ser ingresada al software de diseño y simulación.

Parámetros ingresados:

$$F_E = 701,415[N]$$

$$Tiempo = 1.71[s]$$

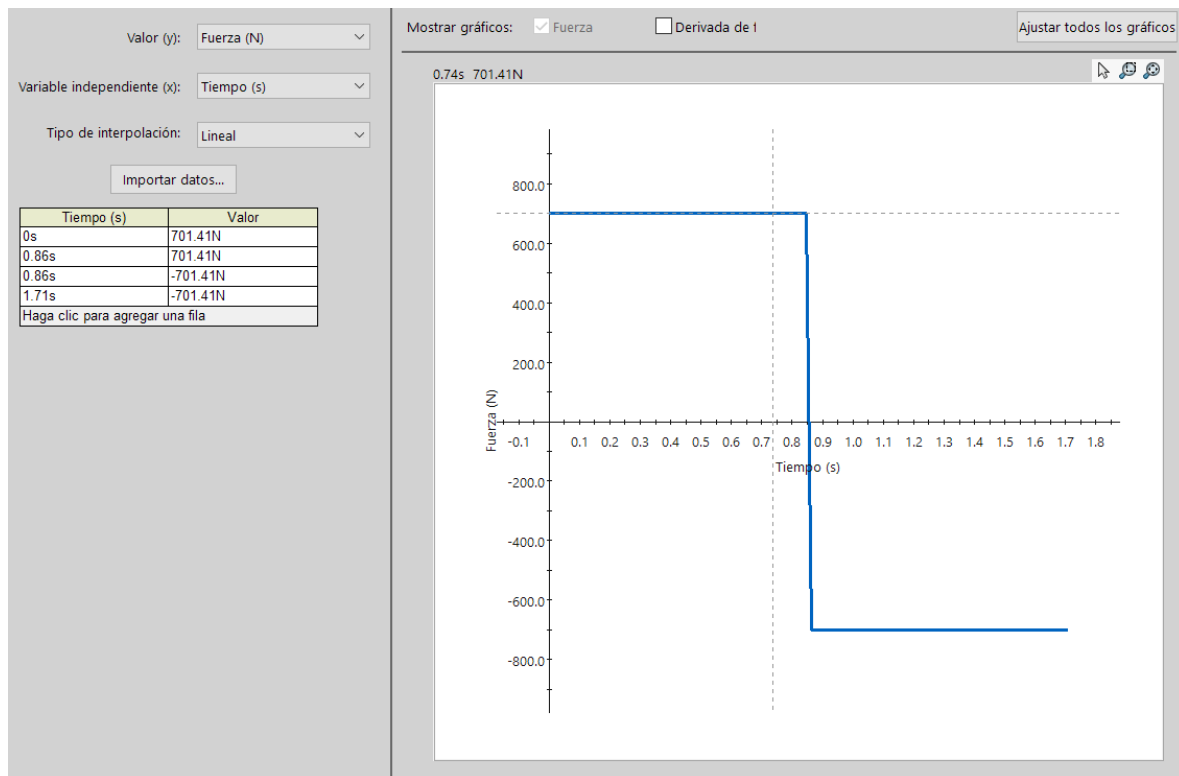


Fig. 40 Fuerza de escarmenado.

2.3.1 Potencia del motor

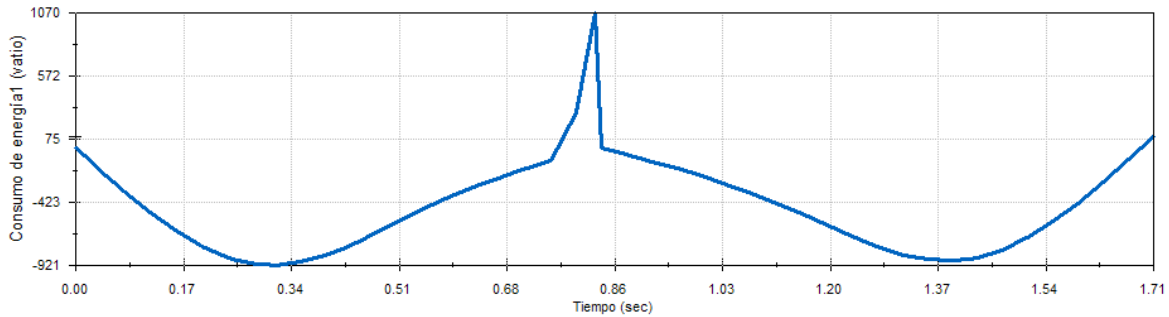


Fig.41 Potencia requerida del motor a través del software de diseño y simulación.

$$Potencia = 1070[W] = 1,43[Hp] \quad (101)$$

Como se puede observar en la figura 41 el valor de la potencia requerida a través del software de diseño y simulación es equivalente a 1,43Hp y la obtenida anteriormente mediante el análisis matemático corresponde a 1,46Hp, estas varían de forma mínima y se encuentran dentro del rango de los parámetros comerciales disponibles por lo que se puede concluir que el motor seleccionado es el correcto.

3.4 Análisis de esfuerzos

Se realizará el análisis de esfuerzos y deformaciones que sufrirá el mecanismo biela-manivela a través del software de diseño y simulación, para ello se harán pruebas con diferentes espesores en los componentes del mecanismo considerando los valores comerciales encontrados en la ciudad de Cuenca, con el fin de determinar el más adecuado para el diseño de la maquina escarmenadora de lana de alpaca.

3.4.1 Material empleado

El material empleado para realizar las pruebas de resistencia y validación del diseño del mecanismo biela-manivela de tensión y deformación será el AISI 1045 debido a su facilidad de adquisición en la ciudad de Cuenca y sus características mecánicas.

A continuación, se describen las propiedades mecánicas del material:

Tabla 14. Propiedades de Acero 1045

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	2,05e+11	N/m ²
Coefficiente de Poisson	0,29	N/D
Módulo cortante	8e+10	N/m ²
Densidad de masa	7850	Kg/m ³
Límite de tracción	625e+6	N/m ²
Límite elástico	530e+6	N/m ²
Coefficiente de expansión térmica	1,15e-05	/K
Conductividad térmica	49,8	W/(m.K)
Calor específico	486	J/(kg.K)

3.4.2 Análisis de tensión

3.4.2.1 Biela espesor 5mm

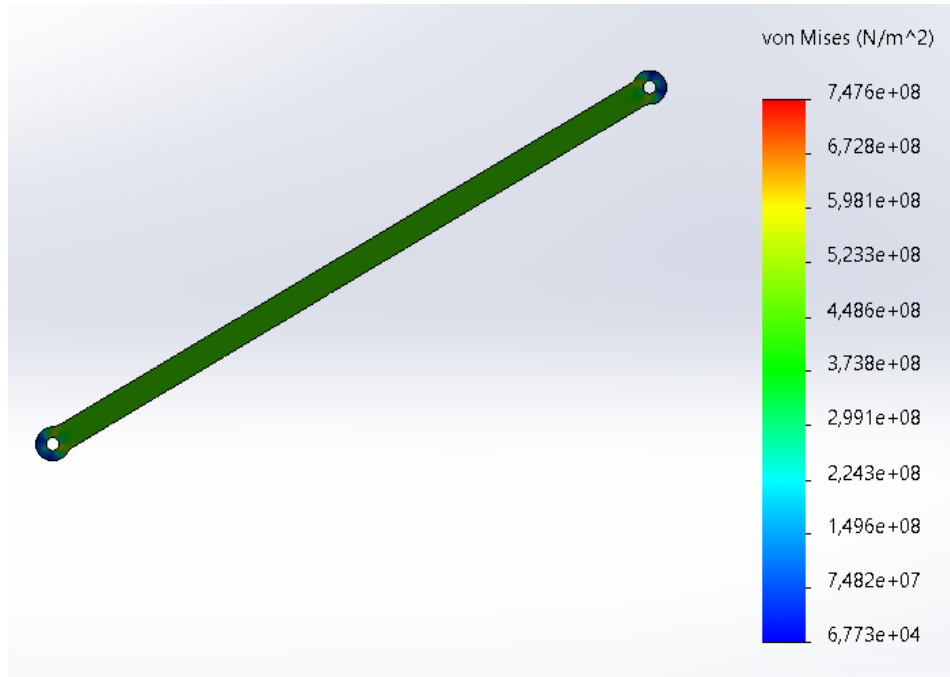


Fig. 42 Análisis de tensión en la biela.

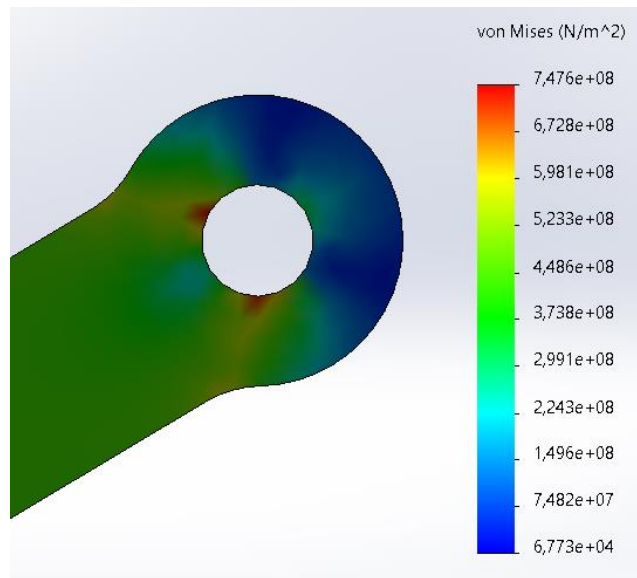


Fig. 43 Puntos máximos de tensión en la biela.

Tabla 15. Valores de tensión

Tensión	
Valor máximo	7,476e+08 (N/m ²)
Valor mínimo	6,773e+04 (N/m ²)

Los resultados que se han obtenido a través del software de diseño y simulación del análisis de esfuerzo a tensión en la biela se muestran en las figuras 42 y 43, donde se puede observar que los esfuerzos máximos y mínimos encontrados se ubican en la cabeza y pie de biela. Los esfuerzos máximos se generan en la parte interna de los agujeros en los cuales se ensamblan los pasadores que unen la biela con la manivela y la plancha móvil, esto debido a que la sección sometida a esfuerzo en estas zonas es menor.

3.4.2.2 Biela espesor 10mm

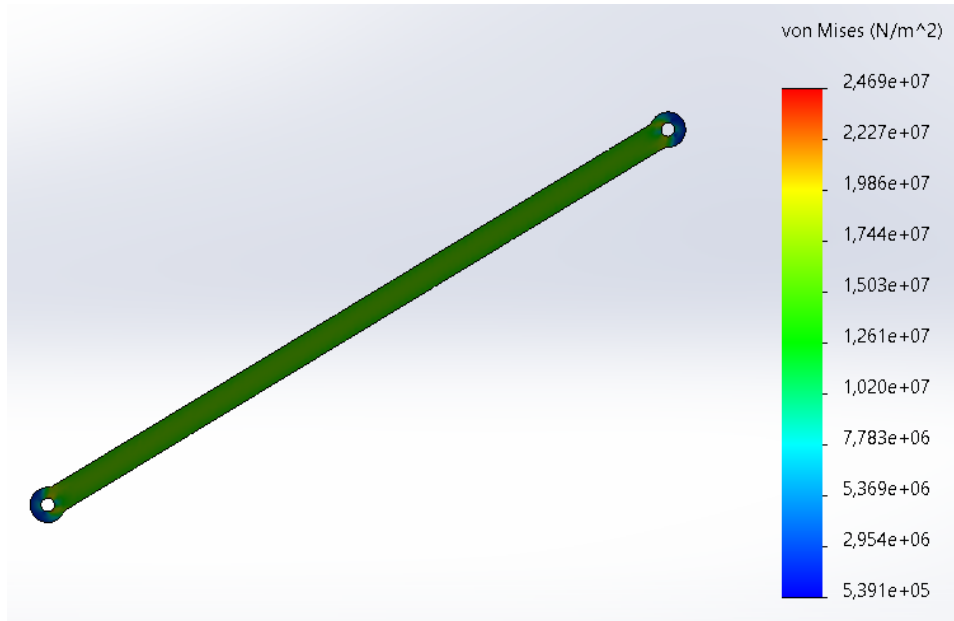


Fig. 44 Análisis de tensión en la biela.

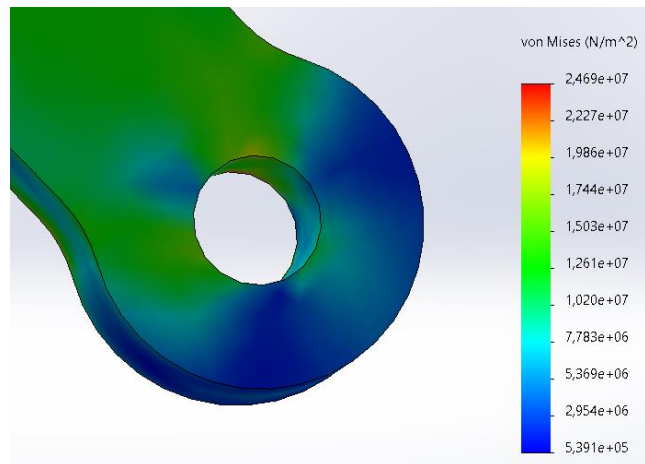


Fig. 45 Puntos máximos de tensión en la biela.

Tabla 16. Valores de tensión

Tensión	
Valor máximo	2,227e+07 (N/m ²)
Valor mínimo	5,391e+05 (N/m ²)

Las figuras 44 y 45 muestran el mismo análisis realizado en las figuras 42 y 43, sin embargo, se debe tomar en cuenta que se ha incrementado el espesor de la biela con el objetivo de estudiar la variación de los esfuerzos en función del espesor. En las figuras mencionadas se puede observar que los puntos máximos y mínimos encontrados conservan su posición, con la diferencia de que el nivel máximo de esfuerzo encontrado ha disminuido.

3.4.2.3 Manivela 10mm

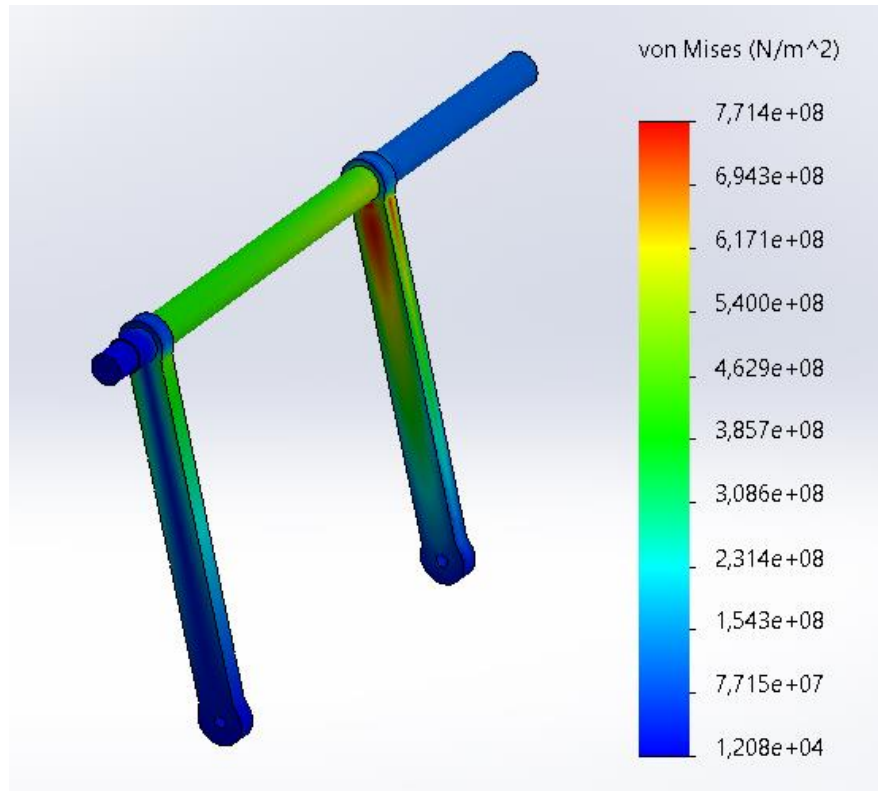


Fig. 46 Análisis de tensión en la manivela.

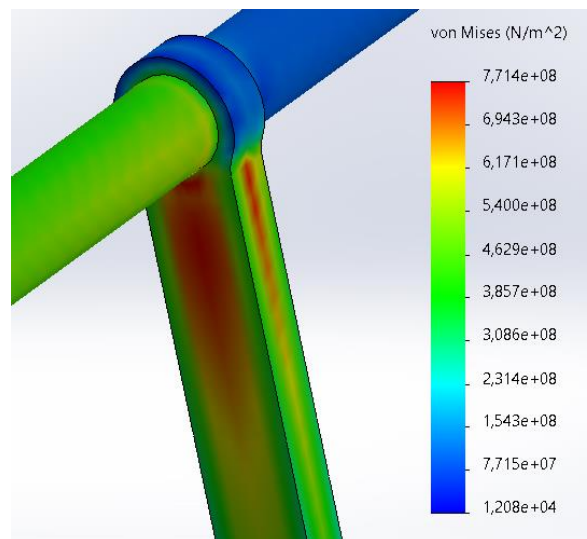


Fig. 47 Puntos máximos de tensión en la manivela.

Tabla 17. Valores de tensión

Tensión	
Valor máximo	7,714e+08 (N/m ²)
Valor mínimo	1,208e+04 (N/m ²)

En el caso de la manivela los resultados que se han obtenido a través del software de diseño y simulación se muestran en las figuras 46 y 47, donde el esfuerzo máximo encontrado se genera en la base del brazo más cercano al eje acoplado al motor, esto se debe a que es él quien soporta de forma directa la transmisión de movimiento generada por el motor, mientras que el menor esfuerzo encontrado se localiza en el extremo del eje que se encuentra fijo en la chumacera ya que esta soporta su carga.

3.4.2.4 Manivela 15mm

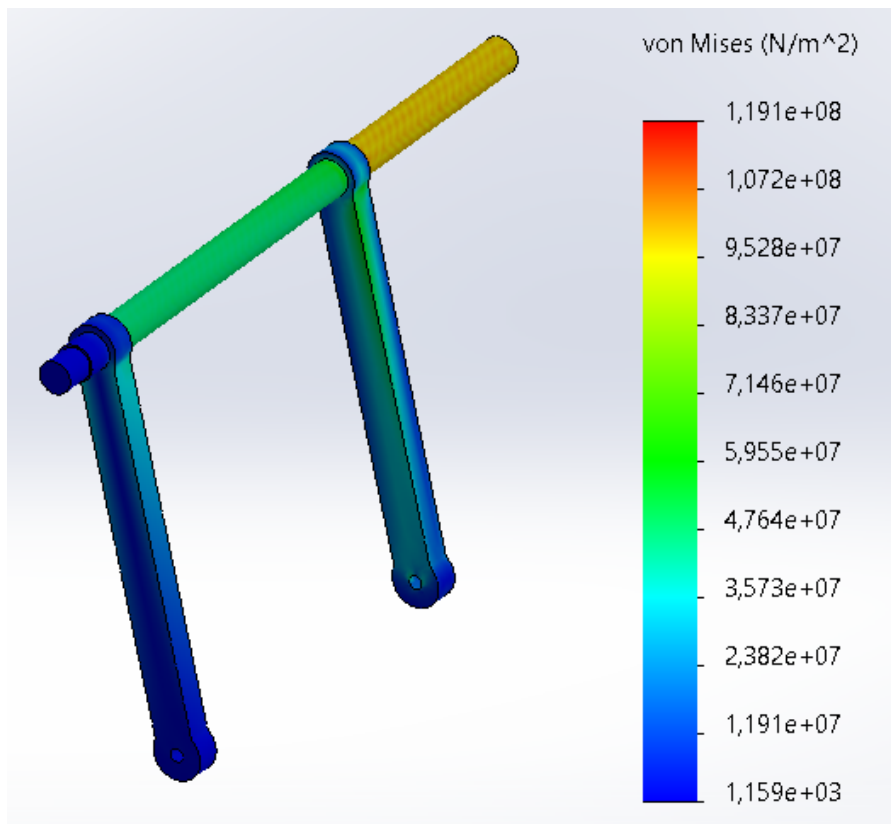


Fig. 48 Análisis de tensión en la manivela.

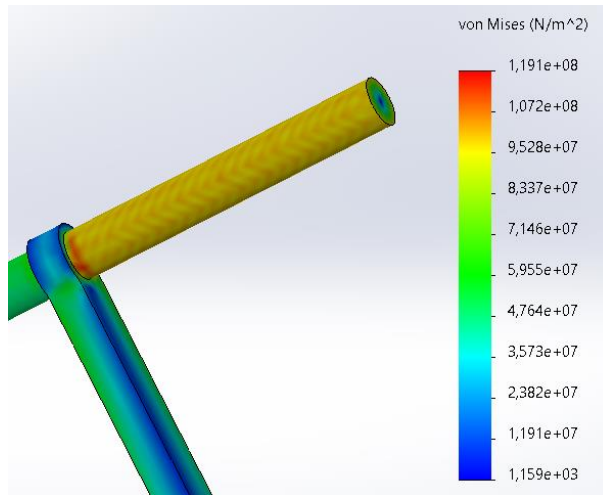


Fig. 49 Puntos máximos de tensión en la manivela.

Tabla 18. Valores de tensión

Tensión	
Valor máximo	1,191e+08 (N/m ²)
Valor mínimo	1,159e+03 (N/m ²)

Las figuras 48 y 49 muestran el mismo análisis realizado en las figuras 46 y 47, sin embargo, se debe tomar en cuenta que se ha incrementado el espesor en los brazos de la manivela con el objetivo de estudiar la variación de los esfuerzos en función del espesor. A diferencia del análisis de la biela, el punto máximo de esfuerzo se encuentra ubicado en un lugar diferente, en este caso se localiza en la parte del eje de transmisión que va acoplado al motorreductor, esto quiere decir que al aumentar el grosor de los brazos de la manivela también aumenta su inercia haciendo que el eje este sometido a esfuerzos mayores los cuales van disminuyendo conforme se alejan del motorreductor en dirección axial.

3.4.3 Análisis de deformación

3.4.3.1 Biela 5mm

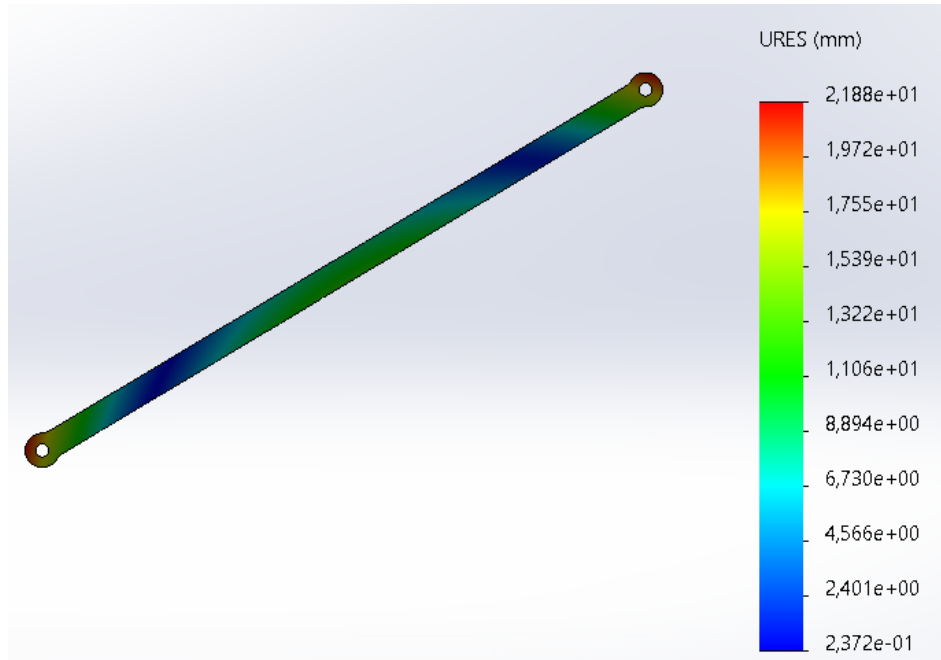


Fig. 50 Análisis de deformación en la biela.

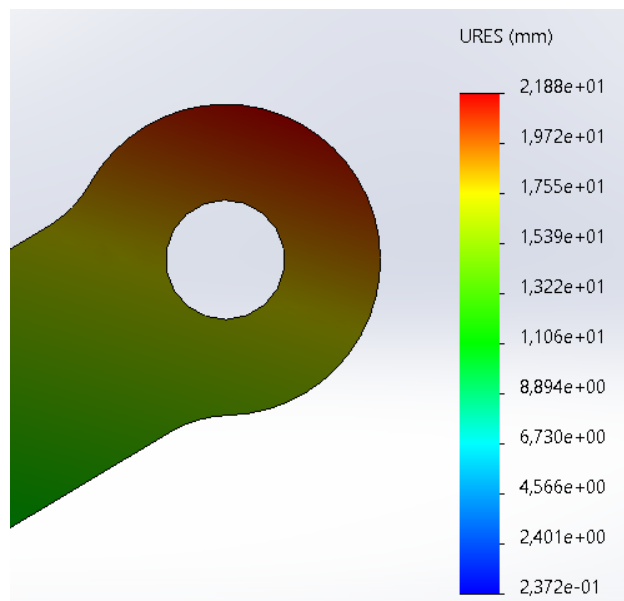


Fig. 51 Puntos máximos de deformación en la biela.

Tabla 19. Valores de deformación

Deformación	
Valor máximo	2,188+01 (mm)
Valor mínimo	2,372e-01 (mm)

Los resultados que se han obtenido a través del software de diseño y simulación del análisis de deformación en la biela se muestran en las figuras 52 y 53, donde se puede observar que los puntos máximos se encuentran ubicados en la cabeza y pie de biela, esto se debe a que estas secciones soportan la carga directa que se genera al momento de desplazar la plancha móvil.

3.4.3.2 Biela 10mm

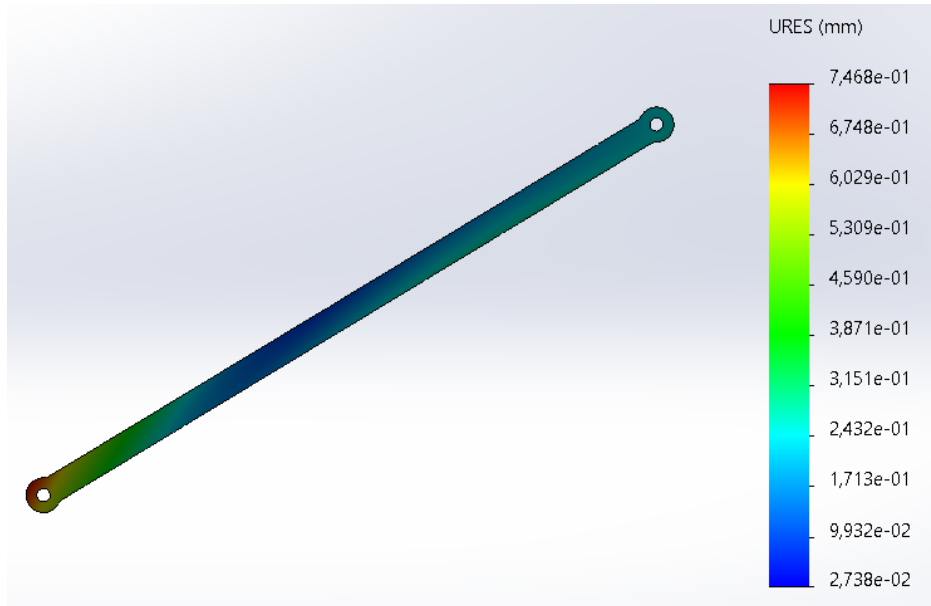


Fig. 52 Análisis de deformación en la biela.

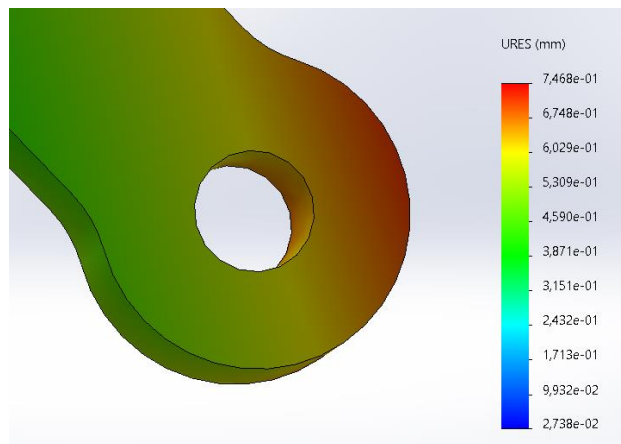


Fig. 53 Puntos máximos de deformación en la biela.

Tabla 20. Valores de deformación

Deformación	
Valor máximo	7,468-01 (mm)
Valor mínimo	2,738e-02 (mm)

Las figuras 52 y 53 muestran el mismo análisis realizado en las figuras 50 y 51, sin embargo, se debe tomar en cuenta que se ha incrementado el espesor de la biela con el objetivo de estudiar la variación de los esfuerzos en función del espesor. La deformación máxima disminuyó y se concentró en la base de la biela, la cual se une a la manivela por medio de un pasador, esto debido a que al aumentar el espesor aumenta la inercia haciendo que el motorreductor proporcione un torque mayor el cual se transmite a través de la manivela, generando una mayor deformación en la base de la biela a la cual esta acoplada.

3.4.3.3 Manivela 10mm

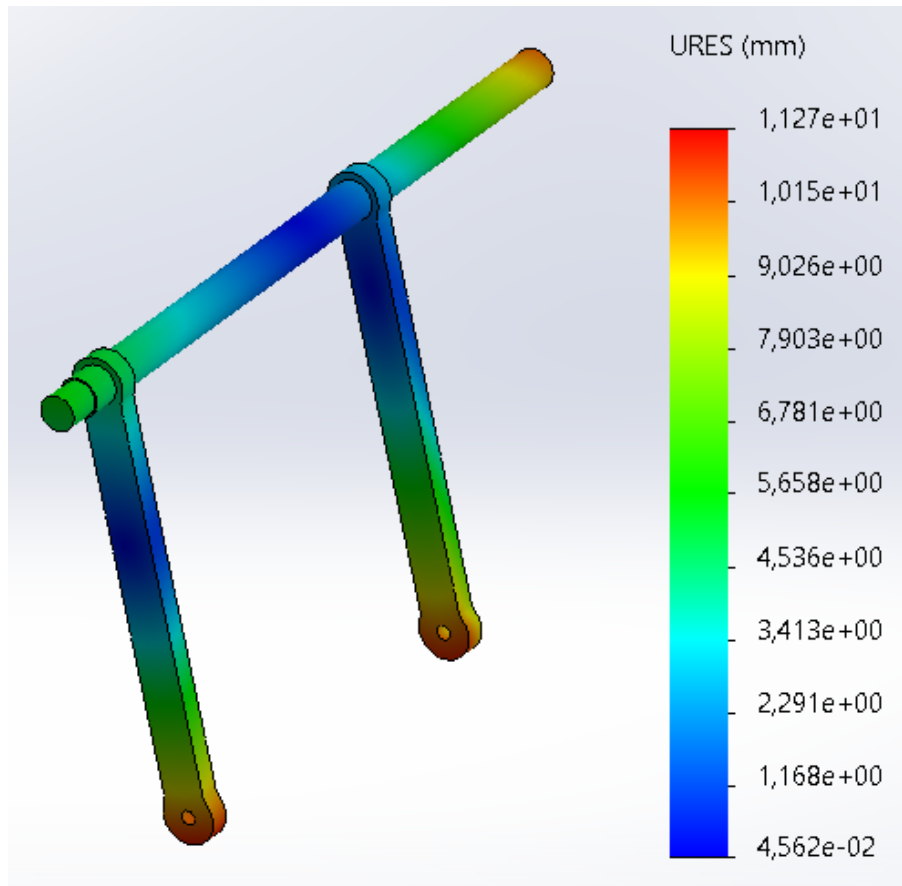


Fig. 54 Análisis de deformación en la manivela.

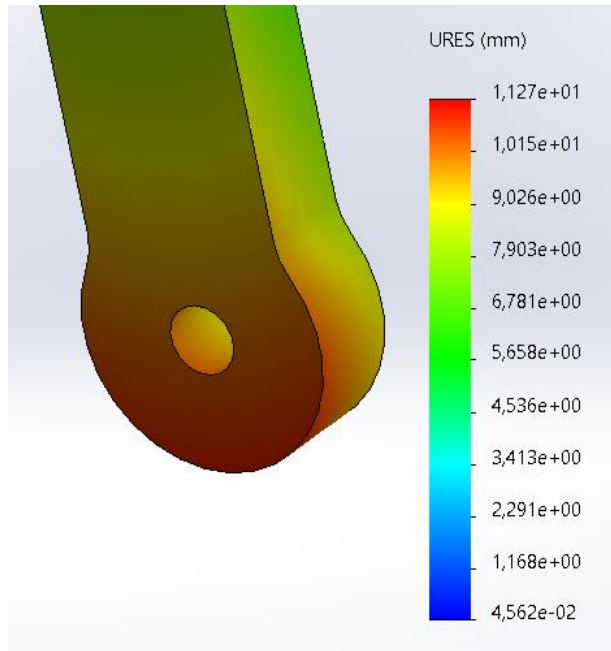


Fig. 55 Punto máximo de deformación en la manivela.

Tabla 21. Valores de deformación

Deformación	
Valor máximo	1,127e+01 (mm)
Valor mínimo	4,562e-02 (mm)

En el caso de la manivela los resultados que se han obtenido a través del software de diseño y simulación se muestran en las figuras 54 y 55, donde sus deformaciones máximas están localizadas en el extremo del eje que se acopla en el motor y los extremos de los brazos de la manivela donde se acoplan respectivamente con la biela por medio de un pasador. Al extremo del eje las deformaciones son consecuencia de la torsión generada para poner en marcha el mecanismo, mientras que en los extremos de los brazos de la manivela son consecuencia de las cargas transmitidas desde el eje para desplazar la plancha móvil por medio de las bielas, las cuales van disminuyendo conforme se alejan de los puntos críticos en donde están aplicadas directamente las cargas.

3.4.3.4 Manivela 15mm

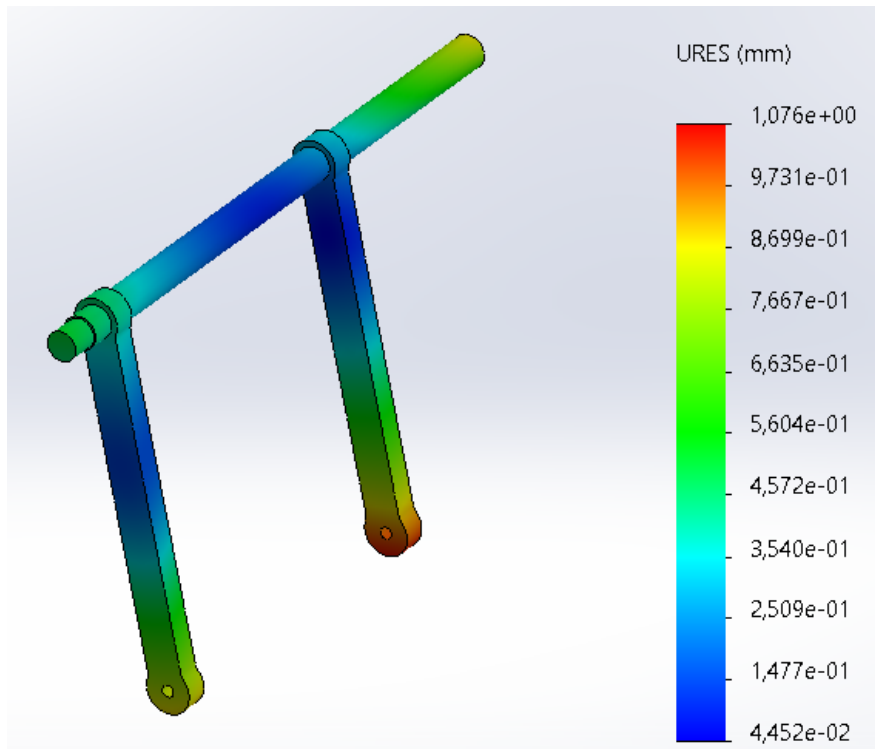


Fig. 56 Análisis de deformación en la manivela.

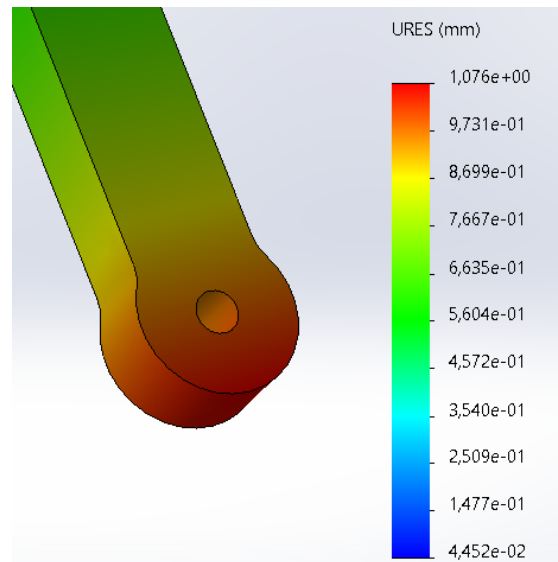


Fig. 57 Punto máximo de deformación en la manivela.

Tabla 22. Valores de deformación

Deformación	
Valor máximo	1,076 (mm)
Valor mínimo	4,452e-02 (mm)

Las figuras 56 y 57 muestran el mismo análisis realizado en las figuras 54 y 55, sin embargo, se debe tomar en cuenta que se ha incrementado el espesor de los brazos de la manivela con el objetivo de estudiar la variación de los esfuerzos en función del espesor. En las figuras mencionadas se puede observar que los puntos máximos y mínimos encontrados conservan su posición, con la diferencia de que el nivel de deformación ha disminuido.

3.4.4 Resultados

Tabla 23. Resultados análisis de esfuerzos

Análisis		Biela		Manivela	
		5mm	10mm	10mm	15mm
Tensión	Máxima (N/m ²)	7,476e+08	2,227e+07	7,714e+08	1,191e+08
	Mínima (N/m ²)	6,773e+04	5,391e+05	1,208e+04	1,159e+03
Deformación	Máxima (mm)	2,188+01	7,468-01	1,127e+01	1,076
	Mínima (mm)	2,372e-01	2,738e-02	4,562e-02	4,452e-02

En la tabla 23 se puede observar los resultados que se han obtenido a través del software de diseño y simulación de los análisis de esfuerzo y simulación previamente descritos, mediante la comparación de estos resultados se puede concluir que en el caso de la biela el diseño realizado con un espesor de 5mm presenta un esfuerzo superior al permisible del material a emplear (625 MN/m²), en consecuencia este no soportara las cargas aplicadas en los puntos críticos mencionados anteriormente invalidando así su empleo, mientras que el diseño realizado con un espesor de 10mm presenta valores inferiores al límite permisible del material validando así su diseño.

Para el caso de la manivela el diseño realizado con un espesor de 15mm en sus brazos presenta un valor superior al permisible del material a emplear (625 MN/m²), invalidando así su empleo, mientras que el diseño realizado con 20mm presenta esfuerzos inferiores al límite permisible del material validando así su diseño.

En relación a la deformación encontrada tanto para la biela como la manivela estas no sufrirán una deformación permanente para los diseños validados ya que la tensión máxima a la que se encuentran sometidas no sobrepasa el límite elástico del material (530MN/ m²), teniendo así una deformación temporal la cual no interfiere con el diseño seleccionado.

Capítulo 4: Análisis de costos

4.1 Introducción

Los costos que se relacionan directamente con el desarrollo de un producto son: materiales empleados y mano de obra. Analizar un costo de producción le permite al fabricante definir un precio de venta que le proporcione una ganancia, en el caso de la máquina escarmenadora de lana de alpaca este análisis permitirá generar una referencia para su construcción tomando en cuenta que no se generara utilidad.

4.2 Componentes recomendados

Para poder determinar el costo de construcción de la máquina escarmenadora de lana de alpaca se han seleccionado los elementos o componentes comerciales que son requeridos, esto conforme a los parámetros y características del diseño.

4.2.1 Motor



Fig. 58 Motorreductor. (VARVEL)

- Marca: VARVEL
- Modelo: RS-RT 70

Tabla 24. Parámetros requeridos vs comerciales del motor

Parámetros	Valor Requerido	Valor Comercial
RPM de salida	35,294	35
Potencia (HP)	1,0816	2
Torque de salida (Nm)	217,932	450
Voltaje (V)	110	110 – 220
Frecuencia (Hz)	60	60
Corriente nominal (A)	-	13,8 – 6,88
Voltaje nominal (V)	-	115 – 230

4.2.2 Final carrera

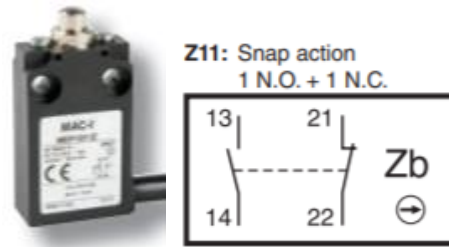


Fig. 59 Final carrera. (Panasonic)

- Marca: Panasonic
- Modelo: MEM1G

Tabla 25. Parámetros contactor

Parámetro	Valor
Voltaje	110 V
Frecuencia (Hz)	60
Tipo de contacto	Z11

4.2.3 Interruptor magnetotérmico



Fig. 60 Interruptor magnetotérmico. (Schneider Electric)

- Marca: Schneider Electric
- Modelo: Easy9 MCB

Tabla 26. Parámetros Interruptor magnetotérmico

Parámetro	Valor
Corriente nominal	16 A
Frecuencia (Hz)	60
Voltaje	110 V

4.2.4 Contactor – Bobina



Fig. 61 Contactor – Bobina. (Electric Schneider)

- Marca: Schneider Electric
- Modelo: TeSys D

Tabla 27. Parámetros contactor

Parámetro	Valor
Corriente nominal	18 A
Frecuencia (Hz)	60
Voltaje	110 V
Composición de los contactos	1 NA + 1 NC

4.2.5 Pulsadores



Fig. 62 Pulsante led. (Schneider Electric)

- Marca: Schneider Electric
- Modelo: Harmony XB5

Tabla 28. Parámetros pulsante de apagado

Parámetro	Valor
Diámetro	22 mm
Voltaje	110 V
Color	Rojo
Tipo de contacto	NC

Tabla 29. Parámetros pulsante de encendido

Parámetro	Valor
Diámetro	22 mm
Voltaje	110 V
Color	Verde
Tipo de contacto	NO

4.2.6 Paro de emergencia



Fig. 63 Paro de emergencia. (Schneider Electric)

- Marca: Schneider Electric
- Modelo: Harmony XB5

Tabla 30. Parámetros paro de emergencia

Parámetro	Valor
Tipo	Push – pull
Diámetro	40 mm
Voltaje	110 V
Tipo de contacto	NC

4.2.7 Rodamiento lineal

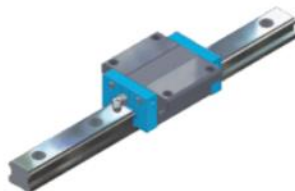


Fig. 64 Rodamiento lineal. (NTN-SNR, 2018)

- Marca: NTN – SNR
- Modelo: LGB_15

Tabla 31. Parámetros rodamiento

Parámetro	Valor
Capacidad de carga estática	19,9 kN
Capacidad de carga dinámica	11,67 kN

4.2.8 Chumacera



Fig. 65 Chumacera. (TIMKEN)

- Marca: TIMKEN
- Modelo: UCP206-18

Tabla 32. Parámetros chumacera

Parámetro	Valor
Agujero cilíndrico	25mm
Material	Hierro fundido

4.3 Costo directo de fabricación

$$CD = MD + MP + MOD \quad (102)$$

Donde:

MD: Materiales directos.

MP: Materia Prima.

MOD: Mano de Obra Directa.

4.3.1 Materiales Directos

Tabla 33. Materiales Directos.

Cantidad	Descripción del producto	Precio Unitario	Total
1	Motor monofásico	760,00	760,00
1	4 Rodamientos lineales + 2 guías 1000mm	170,00	170,00
2	Protección magnetotérmica	7,25	14,50
2	Pulsantes leds	8,25	16,50
1	Botón paro de emergencia	5,00	5,00
1	Contactador – Bobina	52,29	52,29
1	Fin carrera	17,98	17,98
1	Chumacera	8,50	8,50
2	Bisagra	1,65	3,30
3	Manija	2,95	8,85
2	Seguro Seeger 10mm	3,70	7,40
1	Caja eléctrica	35,48	35,48
	Total		1099,80

4.3.2 Materia Prima

Tabla 34. Materia Prima

Cantidad	Descripción del producto	Precio Unitario	Total
1	Plancha acrílica 1.25x2.45mx2mm	48,00	48,00
3	Angulo de hierro ¾"	18,00	54,00
1	Plancha negra 1mm	80,00	80,00
1	Eje 10xmm	16,00	16,00
1	1/3 Plancha negra 3mm	40,00	40,00
1	Plancha acero 10mm	75,00	75,00
1	Plancha acero 20mm	120,00	120,00
1	Eje acero 28mm	28,00	28,00
Total			461,00

4.3.3 Mano de Obra Directa

Tabla 35. Mano de Obra Directa

Cantidad	Descripción del producto	Precio Unitario	Total
1	Corte	220,00	220,00
1	Doblado	55,00	55,00
1	Taladrado	25,00	25,00
1	Soldadura	250,00	250,00
1	Ensamble General	60,00	60,00
Total			610,00

Entonces:

$$CD = 1099,80 + 461,00 + 666,00 \quad (103)$$

$$CD = 2170,8 \quad (104)$$

Conclusiones

El trabajo artesanal realizado en la comunidad Cebado Loma para generar hilo y prendas de vestir a partir de lana de alpaca es un aporte cultural de gran importancia para el país, sin embargo, algunos de los métodos tradicionales para el desarrollo de las etapas de fabricación han provocado malestar en los artesanos, generando como consecuencia el paro de esta actividad. La Universidad Politécnica Salesiana frente a esta problemática y a través de este trabajo de titulación ha querido contribuir a la mejora del proceso de escarmenado de lana de alpaca.

El diseño de la máquina escarmenadora de lana de alpaca se ha elaborado atendiendo las necesidades y problemáticas presentadas por los usuarios, de esta forma el diseño consta con un armazón cerrado que impedirá la propagación en el aire de partículas de fibra que son desprendidas al momento de realizar el escarmenado, el desarrollo de dicha actividad será realizado de forma autónoma evitando así la fatiga provocada por el empleo de máquinas tradicionales.

Partiendo de un estudio bibliográfico y de campo sobre la ejecución de esta actividad se elaboró un prototipo que permitió observar que el sentido y distancia de las púas juega un papel importante al momento de realizar el escarmenado, se determinaron los parámetros necesarios de posición para las púas, se definió el mecanismo más adecuado para el desarrollo de esta actividad, logrando así desarrollar un diseño funcional, simple y eficiente que ha sido validado mediante simulaciones realizadas a través de un software.

Los resultados obtenidos del software de diseño y simulación validaron el análisis realizado del mecanismo, reflejando su correcto funcionamiento y capacidad de escarmenado, asimismo se pudo observar que las dimensiones seleccionadas para el diseño de la biela-manivela son capaces de soportar el esfuerzo al que estas se encuentran sometidas.

Este diseño se ha realizado cubriendo un factor de seguridad de 1,3 para 31,31 gr de lana de alpaca, sin embargo, de acuerdo a los parámetros establecidos con respecto a la oferta comercial de los materiales y componentes, este valor se ha incrementado de 1,3 a 1,5 tomando en cuenta la dimensión de las secciones en la biela y la manivela para soportar los esfuerzos realizados del mecanismo y la potencia requerida del motor con respecto a la disponible en el mercado ha incrementado este valor de 1,3 a 1,8.

Si se requiere implementar la máquina escarmenadora de lana de alpaca, se ha desarrollado un análisis del costo aproximado de construcción. Para encontrar este valor se ha realizado un análisis de costos con productos y materiales comerciales dentro del país, se han sugerido productos seleccionados en base a las necesidades del diseño y se ha calculado el costo de la construcción con mano de obra ecuatoriana, específicamente de la ciudad de Cuenca.

Recomendaciones

Si se requiere realizar un diseño similar para una máquina escarmenadora de lana de alpaca empleando un sistema mecánico alternativo se recomienda considerar el impacto de la posición de las púas con respecto a la fibra ya que de estas depende el resultado de esta actividad. De igual manera se debe realizar un análisis de la fuerza a emplear para evitar la ruptura de la fibra.

Para la fabricación de la máquina escarmenadora de lana se recomienda emplear y respetar las dimensiones y materiales sugeridos en este trabajo de titulación ya que, estos se han empleado de acuerdo a los disponibles en el mercado, han sido seleccionados en base a un análisis y validados mediante simulación.

Si se requiere implementar una máquina escarmenadora para un tipo de lana diferente a la de alpaca se debe considerar que la fibra de cada animal tiene características distintas por lo que los parámetros requeridos podrían variar de los implementados en el diseño de este trabajo de titulación.

Si se requiere realizar una máquina escarmenadora para diferentes tipos de fibra se recomienda analizar las características e impacto o respuesta que genere cada una, de esta forma se podría diseñar una máquina con planchas removibles que contengan las configuraciones y características necesarias para cada tipo de fibra a escarmenar.

Referencias

- adelca. (s.f.). *Catálogo de productos*. Ecuador.
- Almanza, I. (2020). "Desarrollo y aplicación de herramientas de Lean Manufacturing y de innovación para la mejora en el proceso de fabricación artesanal de hilo de fibra dealpaca en las comunidades alpaqueras del Perú".
- Arciniega, S. (2013). Mejoramiento de la productividad en la hilatura manual de fibra alpaca en la comunidad Morochos-Cuycocha-Cotacachi. *Trabajo de grado previo a la obtención del título de ingeniera textil*. Ibarra, Ecuador: Universidad técnica del norte.
- Beer, F., Johnston, R., DeWolf, J., & Mazurek, D. (2009). *Mecánica de Materiales*. Mexico: McGrawHill.
- Carrasco Hernández, M. Á., García Espinosa, L. M., & Núñez Abad, J. (2012). *Instalaciones eléctricas básicas*. España: Paraninfo.
- Ccana, E., & Apaza, E. (2009). *Técnicas apropiadas de esquila en alpacas*. Perú: Librería e imprenta Vega.
- Cerdá Filiu, L. (2014). *Instalaciones eléctricas y automatismos*. España: Paraninfo, S.A.
- Chanjé, E., Peche, O., & Aucahuasi, J. (2017). Proyecto de industrialización del hilado de fibra de alpaca de la empresa Nina Pitay SAC. *Trabajo de investigación para obtener el grado de bachiller en ingeniería Industrial y Comercial*. Perú: Universidad San Ignacio de Loyola.
- Chaparro Aguilar, Y. (2013). RELACIÓN DEL DIÁMETRO DE FIBRA CON EL NÚMERO DE RIZOS Y LA PROPORCIÓN DE PELOS EN EL VELLÓN DE ALPACA (Vicugna pacos) EN HUAYTIRE DE LA PROVINCIA DE CANDARAVE – TACNA, 2011. *TesisPara optar el Título Profesional de: MÉDICO VETERINARIO Y ZOOTECNISTA*. Tacna, Perú.
- Copara, C. M. (Noviembre de 2017). Aprovechamiento de las fibras de alpaca y oveja para accesorios de moda para mujeres de 20 a 35 años. *Proyecto de Investigación previo a la obtención del Título de Ingeniera en Procesos y Diseño de Modas*. Ambato, Ecuador.
- Electric Schneider. (s.f.). *TeSys*. Obtenido de https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Catalog&p_File_Name=A2+-+Open+pre+cabled+motor+starters_EN+%28web%29.pdf&p_Doc_Ref=A2+-+Open+pre+cabled+motor+starters_EN
- Flores, D. (Julio de 2011). Elaboración de una guía didáctica virtual para los procesos de hilatura de fibras largas. *Tesis de grado previa a la obtención del título*. Facultad de ingeniería en ciencias aplicadas.
- Instituto de Biomecánica de Valencia. (1996). *Evaluación de riesgos de lesión por movimientos repetitivos*. Instituto de Biomecánica de Valencia.
- L, R., & P, M. (2006). En *Diseño de elementos de máquinas* (pág. 234). México: PEARSON.

- López, I. H. (Mayo de 2017). Propuesta de diseño para una máquina peinadora de henequén. *Tesis para obtener el grado de maestra en manufactura avanzada*. Mexico.
- Martín castillo, J. C., & García García, M. P. (2016). Automatismos Industriales. EDITEX.
- Natalia N. (s.f.). *Wallapop*. Obtenido de <https://es.wallapop.com/item/trepadora-444184879>
- NTN-SNR. (2018). *NTN-SNR Linear motion*. Obtenido de https://www.ntn-snr.com/sites/default/files/2018-09/doc.i_lg_cat2_gba_web.pdf
- Nuevo García, A. (2020). Montaje y mantenimiento eléctrico-electrónico. Madrid: Paraninfo.
- Olmedo, J., & Echeverria, J. (2018). *Máquinas y Mecanismos*. Ecuador.
- Panasonic. (s.f.). *MAC-I LIMIT SWITCHES*. Obtenido de http://www.rasesa.com/wp-content/uploads/2014/05/ds_maci_en.pdf
- Prevalia, S.L.U. (2013). *Riesgos Ergonómicos y Medudas Preventivas*. Cursoforum S.L.U.
- Pucha, R., & Vallejo, M. (2017). Implementación de un prototipo mecánico para el escarmenado de lana ovina. *Trabajo de titulación*. Riobamba, Ecuador: Escuela superior politécnica de Chimborazo.
- Quispe, E. C., Rodríguez, T. C., Iñiguez, L. R., & Muelle, J. P. (20 de Noviembre de 2009). *Producción de fibra de alpaca, llama, vicuña*. Obtenido de Cambridge University Press: <https://www.cambridge.org/core/journals/animal-genetic-resources-resources-genetiques-animales-recursos-geneticos-animales/article/produccion-de-fibra-de-alpaca-llama-vicuna-y-guanaco-en-sudamerica/08151B3C02F465D649C3A57B2B82824F>
- Rios, L. C., & Roncancio, E. (Agosto de 2007). ANÁLISIS Y DESARROLLO DE UN PROGRAMA DE SELECCIÓN RÁPIDA DE FACTORES DE SEGURIDAD, PARA DISEÑO DE ELEMENTOS MECÁNICOS. *Scientia et Technica Año XIII(35)*, 258.
- roydisa. (s.f.). Obtenido de Selección adecuada de un motor eléctrico asíncrono: <https://www.roydisa.es/archivos/3012>
- Saldaña, L. (2017). Categorización, clasificación y procesamiento industrial de la fibra de alpaca. *Trabajo monográfico para optar el título de ingeniero zootecnista*. Peru: Universidad nacional agraria La Molina.
- Sánchez Sevilla, A. N. (2015). EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE FIBRA DE ALPACA, CON LA APLICACIÓN DE COMPLEJO DE MICROMINERALES EN LA COMUNIDAD DE APAGUA - PUJILÍ. *TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA*. Latacunga , Ecuador.
- Schneider Electric. (s.f.). *Control and signaling units*. Obtenido de https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Catalog&p_File_Name=DIA5ED2121213EN.pdf&p_Doc_Ref=DIA5ED2121213EN

Schneider Electric. (s.f.). *Interruptor Termomagnético Riel Easy9-1P-16A-10kA-Curva C*. Obtenido de <https://www.se.com/co/es/product/EZ9F56116/interruptor-termomagnético-riel-easy9-1p-16a-10ka-curva-c/>

TIMKEN. (s.f.). *SOPORTES TIMKEN® CON RODAMIENTOS DE BOLAS*. Obtenido de <https://www.timken.com/wp-content/uploads/2017/08/10692SP-Chumaceras-de-bolas-Series-UC.pdf>

VARVEL. (s.f.). *Reductores de tornillo sin fin*. Obtenido de <http://www.atcorgeryma.com/docs/RS-RT-TA-RA%20%20Varvel%20Atcorgeryma%20%20FR-PT-ES%20011115.pdf>

Viciano, A. (2020). *Estudio y diseño de un modelo configurable de mecanismo biela-corredera para uso docente*. Linares.

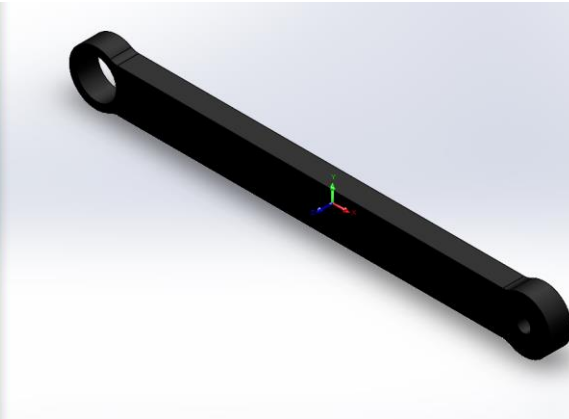
Zárate Zavaleta, Á. (2012). *Asistencia técnica dirigida en caracterización y clasificación de fibra de alpaca*. Peru: OAEPS.

ANEXOS

ANEXO 1: Datos obtenidos del software de diseño y simulación

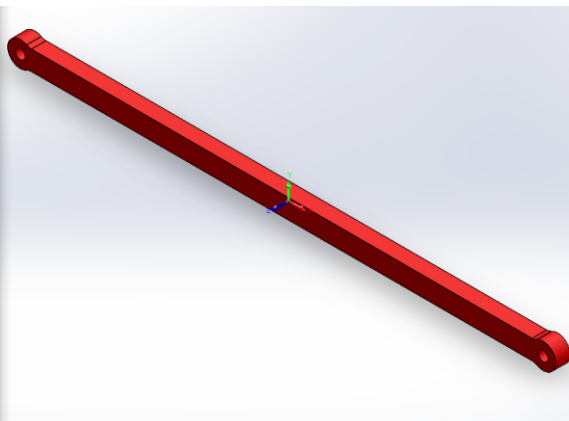
Manivela

Propiedades de masa de MANIBELA SOLA		
Configuración: Predeterminado		
Sistema de coordenadas: -- predeterminado --		
Densidad = 0.01 gramos por milímetro cúbico		
Masa = 1126.90 gramos		
Volumen = 143354.12 milímetros cúbicos		
Área de superficie = 31764.89 milímetros cuadrados		
Centro de masa: (milímetros)		
X = 158.42		
Y = 0.00		
Z = 7.50		
Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (gramos * milímetros cuadrados)		
Medido desde el centro de masa.		
ix = (1.00, 0.00, 0.00)	Px = 113203.65	
iy = (0.00, 1.00, 0.00)	Py = 9710898.26	
iz = (0.00, 0.00, 1.00)	Pz = 9781933.16	
Momentos de inercia: (gramos * milímetros cuadrados)		
Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de resultados.		
Lxx = 113293.65	Lxy = 0.00	Lxz = 0.00
Lyx = 0.00	Lyy = 9710898.26	Lyz = 0.00
Lzx = 0.00	Lzy = 0.00	Lzz = 9781933.16
Momentos de inercia: (gramos * milímetros cuadrados)		
Medido desde el sistema de coordenadas de salida.		
Ixx = 176681.77	Ixy = 0.00	Ixz = 1338926.19
Iyx = 0.00	Iyy = 3805580.46	Iyz = 0.00
Izx = 1338926.19	Izy = 0.00	Izz = 38063627.25



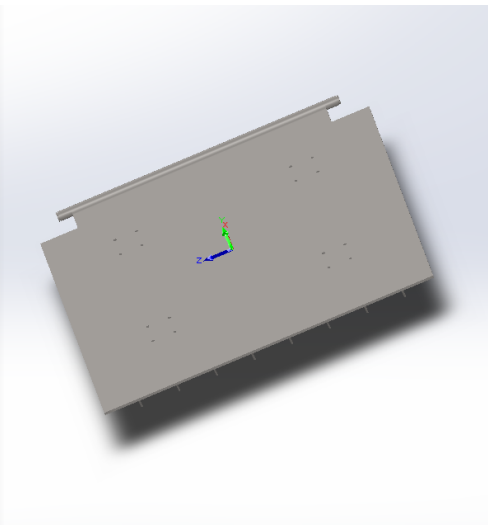
Biela

Propiedades de masa de BIELA		
Configuración: Predeterminado		
Sistema de coordenadas: -- predeterminado --		
Densidad = 0.01 gramos por milímetro cúbico		
Masa = 1312.34 gramos		
Volumen = 167176.85 milímetros cúbicos		
Área de superficie = 40539.21 milímetros cuadrados		
Centro de masa: (milímetros)		
X = 0.00		
Y = 0.00		
Z = 7.50		
Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (gramos * milímetros cuadrados)		
Medido desde el centro de masa.		
ix = (1.00, 0.00, 0.00)	Px = 70182.38	
iy = (0.00, 1.00, 0.00)	Py = 33998846.75	
iz = (0.00, 0.00, 1.00)	Pz = 34019816.44	
Momentos de inercia: (gramos * milímetros cuadrados)		
Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de resultados.		
Lxx = 70182.38	Lxy = 0.00	Lxz = 0.00
Lyx = 0.00	Lyy = 33998846.75	Lyz = 0.00
Lzx = 0.00	Lzy = 0.00	Lzz = 34019816.44
Momentos de inercia: (gramos * milímetros cuadrados)		
Medido desde el sistema de coordenadas de salida.		
Ixx = 144001.41	Ixy = 0.00	Ixz = 0.00
Iyx = 0.00	Iyy = 34072665.77	Iyz = 0.00
Izx = 0.00	Izy = 0.00	Izz = 34019816.44

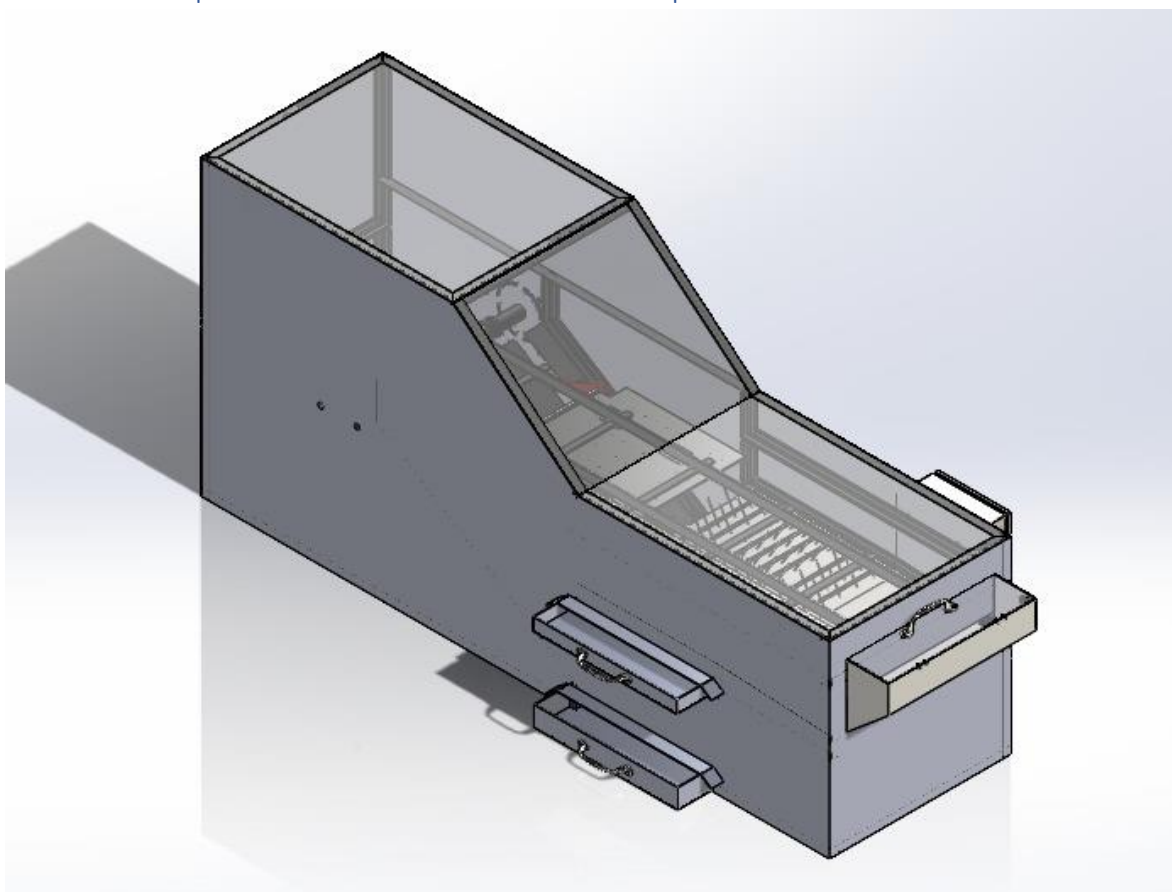


Plancha móvil

Propiedades de masa de Plancha Movil		
Configuración: Predeterminado<Como mecanizada>		
Sistema de coordenadas: -- predeterminado --		
Densidad = 0.01 gramos por milímetro cúbico		
Masa = 2796.85 gramos		
Volumen = 354031.58 milímetros cúbicos		
Área de superficie = 247111.95 milímetros cuadrados		
Centro de masa: (milímetros)		
X = -3.52		
Y = 0.77		
Z = 0.00		
Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (gramos * milímetros cuadrados)		
Medido desde el centro de masa.		
ix = (0.00, 0.00, 1.00)	Px = 24896221.30	
iy = (1.00, 0.00, 0.00)	Py = 27274784.40	
iz = (0.00, 1.00, 0.00)	Pz = 52039590.69	
Momentos de inercia: (gramos * milímetros cuadrados)		
Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de resultados.		
Lxx = 27274795.20	Lxy = -16349.80	Lxz = 0.00
Lyx = -16349.80	Lyy = 52039579.89	Lyz = 0.00
Lzx = 0.00	Lzy = 0.00	Lzz = 24896221.30
Momentos de inercia: (gramos * milímetros cuadrados)		
Medido desde el sistema de coordenadas de salida.		
Ixx = 27276459.32	Ixy = -23940.63	Ixz = 0.00
Iyx = -23940.63	Iyy = 52074205.22	Iyz = 0.00
Izx = 0.00	Izy = 0.00	Izz = 24932510.75



ANEXO2: Máquina escarmenadora de lana de alpaca



ANEXO 3: Planos mecánicos de la máquina escarmenadora de lana de alpaca

CONFIDENCIAL