

Caracterización de las propiedades mecánicas según la norma ASTM D3822 de las fibras de piña, coco y fique sometidas a tensión en la máquina Tribolab del laboratorio de metalografía de la Universidad Industrial de Santander

Jairo Andrés Garzón Moyano, María Camila Daza Moreno

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Mecánico

Director

Msc, Dsc William Pinto Hernández

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico - Mecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ingeniería mecánica

Bucaramanga

2023

Dedicatoria

A mi madre Maidoceny, mi padre Jairo y mi hermano Carlos Arturo quienes me apoyaron en todo momento y son la razón principal de esto. Gracias a ellos por enseñarme e inculcarme todos esos principios y valores que me ayudaron a llegar hasta acá.

A mis abuelos especialmente a mi abuelo Arturo y a mi abuela Alcira que en el cielo están, gracias a ellos por todos los consejos, las enseñanzas y por ser mis segundos padres.

A nuestro director de tesis William Pinto Hernández por el conocimiento y apoyo impartido en la realización del proyecto.

A Sebastián Casas por su gran aporte en la realización de la tesis.

A la Escuela de Ingeniería Mecánica por brindarnos todo el conocimiento para obtener el título de Ingeniero Mecánico.

A mis mejores amigos Catalina y Sebastián por el apoyo que me brindaron todos estos años, por las experiencias vividas y por ser parte de mi familia.

Jairo Andrés Garzón Moya

Dedicatoria

A mi familia que me han brindado apoyo incondicional para el cumplimiento de mis objetivos personales y académicos.

A William Pinto Hernández por la dedicación y paciencia para lograr ejecutar el proyecto de la mejor manera.

A Sebastián Casas por ser incondicional con su apoyo en cada detalle para poder cumplir con los requerimientos de los procesos del laboratorio que fueron necesarios.

A la Escuela de Ingeniería Mecánica por brindarnos las bases para adquirir conocimientos y así obtener el título tan anhelado.

María Camila Daza Moreno

Agradecimientos

Este proyecto de grado agradece al Proyecto: "FORTALECIMIENTO DE LA CAPACIDAD INSTITUCIONAL DE INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER" - BPIN 2020000100017. Por contribuir con el financiamiento del equipo Bruker, Tribolab.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción.....	12
1. Objetivos.....	15
1.1 Objetivo general	15
1.2 Objetivos específicos.....	15
2. Marco teórico	16
2.1 Fibras naturales	16
2.2 Propiedades mecánicas	16
2.3 Ensayo a tracción	16
2.4 Resistencia mecánica.....	16
2.5 Módulo de resiliencia	16
2.6 Módulo de Young.....	17
2.7 Tenacidad.....	17
2.8 Curva esfuerzo-deformación.....	17
2.9 Esfuerzo normal	17
2.10 Deformación unitaria	17
2.11 Resistencia a la fluencia.....	18
2.12 Resistencia al esfuerzo último.....	18
2.13 Celulosa	18
3. Diseño conceptual.....	19
3.1 Requerimientos y especificaciones de los acoples.....	19
3.2 Planteamiento de alternativas.....	20

3.3	Evaluación de alternativas	23
4.	Metodología	24
4.1	Fase I: establecer las características físicas de los filamentos	24
4.1.1	Observación y selección de las fibras	24
4.1.2	Longitud de las muestras	24
4.1.3	Cálculo de diámetros	25
4.1.4	Cálculo de la densidad lineal.....	30
4.2	Fase II: Diseño y construcción de los acoples	31
4.3	Fase III: comparación de las propiedades mecánicas	34
4.3.1	Efectuar ensayo a tracción	34
4.3.2	Parámetros de la prueba.....	35
4.4	Fase IV: implementación del modelo matemático	38
4.4.1	Análisis del modelo en Matlab.....	39
5.	Análisis de resultados	41
5.1	Análisis de las propiedades mecánicas de los filamentos.....	41
5.2	Comparación de las propiedades mecánicas de los filamentos y la fibra de vidrio	42
5.2	Análisis de ensayos a tracción y módulo de corte para cada filamento	43
6.	Conclusiones	46
7.	Recomendaciones.....	47
	Referencias Bibliográficas.....	48
	Anexos.....	52
	Anexo A. Planos de los acoples de sujeción	52
	Anexo B. Código en Matlab utilizado para el análisis del modelo.....	58

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 <i>Requerimientos y especificaciones de los acoples</i>	19
Tabla 2 <i>Desarrollo de la matriz de calidad</i>	20
Tabla 3 <i>Evaluación de alternativas</i>	23
Tabla 4 <i>Diámetros, desviación estándar y coeficiente de variación fibras de piña, coco y fique.</i>	28
Tabla 5 <i>Densidad media, desviación estándar y coeficiente de variación fibras de piña, coco y fique.</i>	31
Tabla 6 <i>Tabla de cálculo de velocidad de extensión del acople</i>	36
Tabla 7 <i>Propiedades mecánicas promedio de los filamentos de fique, piña y coco</i>	41
Tabla 8 <i>Propiedades mecánicas de los filamentos y la fibra de vidrio</i>	43
Tabla 9 <i>Comparación de número de fibras para suplir cada propiedad</i>	43
Tabla 10 <i>μ promedio y desviación estándar de los filamentos</i>	45

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 <i>Alternativa A</i>	21
Figura 2 <i>Alternativa B</i>	22
Figura 3 <i>Alternativa C</i>	23
Figura 4 <i>Fibra de piña [50 gr]</i>	24
Figura 5 <i>Fibra de coco [50 gr]</i>	24
Figura 6 <i>Fibra de fique [50 gr]</i>	24
Figura 7 <i>Longitud de los filamentos</i>	25
Figura 8 <i>Montaje de filamentos de fique en la hoja blanca</i>	26
Figura 9 <i>Lente del microscopio 10X empleado</i>	26
Figura 10 <i>Filamento de piña bajo microscopio</i>	27
Figura 11 <i>Filamento de coco bajo microscopio</i>	27
Figura 12 <i>Filamento de fique bajo microscopio</i>	27
Figura 13 <i>Distribución normal de los diámetros de la fibra de piña</i>	28
Figura 14 <i>Distribución normal de los diámetros de la fibra de coco</i>	29
Figura 15 <i>Distribución normal de los diámetros de la fibra de fique</i>	29
Figura 16 <i>Masa de piña</i>	31
Figura 17 <i>Masa de coco</i>	31
Figura 18 <i>Masa de fique</i>	31
Figura 19 <i>Vista isométrica acople inferior</i>	32
Figura 20 <i>Explosionado acople inferior</i>	33

Figura 21	<i>Vista isométrica acople superior</i>	33
Figura 22	<i>Explosionado acople superior</i>	34
Figura 23	<i>Montaje adecuado de los acoples en la máquina Tribolab</i>	35
Figura 24	<i>Secuencia y velocidad de acople</i>	37
Figura 25	<i>Tolerancia de la fuerza en Z y tiempo de la secuencia</i>	37
Figura 26	<i>Variables empleadas en la toma de datos</i>	38
Figura 27	<i>Diagrama de flujo del modelo</i>	39
Figura 28	<i>Ensayo a tracción filamento de piña con modelo ajustado</i>	44
Figura 29	<i>Módulos de corte para filamentos de piña</i>	44
Figura 30	<i>Ensayo a tracción filamento de coco con modelo ajustado</i>	44
Figura 31	<i>Módulos de corte para filamentos de coco</i>	44
Figura 32	<i>Ensayo a tracción filamento de fique con modelo ajustado</i>	45
Figura 33	<i>Módulos de corte para filamentos de fique</i>	45

Resumen

Título: caracterización de las propiedades mecánicas según la norma ASTM D3822 de las fibras de piña, coco y fique sometidas a tensión en la máquina Tribolab del laboratorio de metalografía de la Universidad Industrial de Santander.

Autor: Jairo Andrés Garzón Moyano, María Camila Daza Moreno.

Palabras Clave: fibras naturales, Tribolab, pruebas mecánicas, filamentos, Normas, diseño.

Descripción: el presente proyecto expone la caracterización de las propiedades mecánicas según la norma ASTM D3822 de las fibras de piña, coco y fique sometidas a tensión en la máquina Tribolab. Principalmente, se calcularon las características físicas que deben tener los filamentos a estudiar para una mayor exactitud en los datos. Seguidamente, se diseñaron y construyeron acoples de sujeción que permitieron realizar los ensayos en la misma, ya que no contaba con los acoples que posibilitaran efectuar dichos ensayos. Los datos obtenidos contribuyeron al cálculo de las propiedades a estudiar y posteriormente, esto aportó al desarrollo de un modelo ajustado a través del software MATLAB, que describe el comportamiento de los filamentos en función de su deformación.

Abstract

Title: *Characterization of the mechanical properties according to ASTM D3822 of pineapple, coconut and fique fibers subjected to tension in the Tribolab machine of the metallography laboratory of the Universidad Industrial de Santander.*

Author(s): *Jairo Andrés Garzón Moyano, María Camila Daza Moreno.*

Key Words: *natural fibers, tribolab, mechanical testing, filaments, standards, design.*

Description: *This project presents the characterization of the mechanical properties according to ASTM D3822 of pineapple, coconut and fique fibers subjected to tension in the Tribolab machine. Mainly, the physical characteristics that the filaments to be studied should have been calculated for greater accuracy in the data. Subsequently, fastening couplings were designed and built to allow the tests to be carried out in the machine, since it did not have the couplings that would make it possible to carry out such tests. The data obtained contributed to the calculation of the properties to be studied and subsequently, this contributed to the development of a model adjusted through MATLAB software, which describes the behavior of the filaments as a function of their deformation.*

Introducción

A medida que transcurre el tiempo, las nuevas tecnologías y sus avances permiten obtener soluciones óptimas y adecuadas para los problemas que se pretendan abordar, no obstante, y sin dejar a un lado el medio ambiente, las nuevas propuestas ingenieriles han desarrollado refuerzos de tipo sintético, los cuales, en su gran mayoría, por su composición químicas no son amigables con el medio ambiente y tienden a no ser biodegradables.

El gran apogeo de estos nuevos materiales está generando que se desarrollen elementos de tipo compuesto cuyo fin es la mejora de las propiedades mecánicas, sin embargo, el objetivo principal de trabajar con filamentos naturales es disminuir el deterioro a la salud humana y el daño ambiental que se genera en el proceso de producción de las fibras sintéticas (poliéster, vidrio, acrílicas, etc.)

Se realizó un estudio sobre distintas fibras naturales encontrando una abundante cantidad de propiedades mecánicas, así mismos tratan los cuatro componentes básicos que poseen dichas estructuras: lignina, pectina, celulosa y hemicelulosa (CIMM, 2012).

Colombia y, particularmente el departamento de Santander, se destacan por ser territorios con gran capacidad agrícola. La transformación de muchos productos como lo son la piña, el fique y el coco generan diversos tipos de residuos sólidos post cultivo, de los cuales se incineran o se depositan en lugares inadecuados dentro del predio el cual afecta de manera directa trayendo plagas o enfermedades a los cultivos.

Para Santander y Norte de Santander, la piña representa una fuente de ingreso considerable, donde el 47% de la producción total de esta planta está situada en dichos departamentos, lo que implica unas 12.027 hectáreas cultivadas con este fruto. Un cultivo joven de piña demora entre 12 a 18 meses para producir el fruto, debido al tiempo entre las cosechas, estos periodos tienden a ser improductivo, por tanto, al usar los residuos orgánicos de anteriores cultivos, se genera un poco más de ganancias al transformarlo (MinAgricultura, 2018).

Por otra parte, debido a la gran variedad de pisos térmicos que posee el territorio colombiano, entre una altitud que oscila básicamente de los 1200-2000 m.s.n.m (metros sobre el nivel del mar) se da una planta fibrosa, “el fique”. Esta especie vegetal se desarrolla en climas húmedos y cálidos, no obstante, para su crecimiento requiere de pocas horas de sol al día (5-6 horas) y suelos un poco áridos. En el departamento de Santander los municipios de Mogotes, Aratoca, San Joaquín y Onzaga son los principales cultivadores, donde el 90% de estos son comercializados a empresas que transforman esta materia prima en nuevos productos. (Fenalfique, 2019).

No obstante, según el Ministerio de Agricultura, para el año 2019 en el país habían sembradas alrededor de 22.865 hectáreas de coco de las cuales aproximadamente se produjeron 145.578 toneladas de este cuyos departamentos con mayor producción son: Antioquia, Cauca, Valle del Cauca, Chocó y Nariño (Min Agricultura, 2020). Con los procesos de transformación de la materia prima se generan diversos residuos los cuales en su mayoría no son aprovechados debido a la poca información.

A nivel nacional la Universidad Libre llevó a cabo un ensayo con fibras individuales de coco, las cuales fueron sometidas a tensión en una máquina de ensayos universales “Instron

5582” donde ajustaron la velocidad del desplazamiento en 5 mm/min y la fuerza de la celda de carga a 50 N, se tomó un muestreo de 40 fibras donde la longitud de calibración de la máquina fue de 50 mm. (Gómez et al., 2020).

La Universidad Industrial de Santander no cuenta con una máquina de ensayo uniaxial con tanta resolución, es por esto por lo que se emplea el “Tribolab” ya que su celda de carga es muy baja, su velocidad en el eje vertical es ajustable, no obstante, se requiere diseñar unos acoples que permitan la ejecución de la prueba de tensión.

Existen una gran variedad de máquinas de ensayos universales las cuales poseen sensores de desplazamiento, fuerza, ubicación, servomotores que regulan la velocidad y sistemas neumáticos que mueven los acoples. Con todo lo anteriormente dicho: **¿Es posible caracterizar de las propiedades mecánicas según la norma ASTM D3822 de las fibras de piña, coco y fique sometidas a tensión en la máquina Tribolab del laboratorio de metalografía de la universidad Industrial de Santander?**

1. Objetivos

1.1 Objetivo general

Caracterizar las propiedades mecánicas según la norma ASTM D3822 de las fibras de piña, coco y fique sometidas a tensión en la máquina Tribolab del laboratorio de metalografía de la Universidad Industrial de Santander.

1.2 Objetivos específicos

Establecer las características físicas que deben tener los filamentos de las fibras naturales empleados mediante el uso de la norma ASTM D3822 para efectuar los ensayos correspondientes con mayor exactitud.

Diseñar y construir acoples de sujeción para fibras de piña, coco y fique para la realización de ensayos de tensión en la máquina Tribolab.

Comparar las diversas propiedades mecánicas mediante los ensayos de tensión efectuados en las fibras de piña, coco y fique con relación a la fibra de vidrio con el fin de tener una visión sobre la implementación de los mismo.

Implementar un modelo matemático para el análisis de deformaciones no lineales en los filamentos piña, coco y fique sometidos a tensión uniaxial.

2. Marco teórico

2.1 Fibras naturales

Las fibras naturales se pueden definir como los materiales biológicos en forma de filamentos; existen dos tipos de fibras: vegetal y animal. Las fibras animales son elaboradas por las secreciones de diversas glándulas, no obstante, las fibras de origen vegetal están compuestas por células las cuales ofrecen resistencia mecánica, estas están compuestas especialmente por celulosa y lignina, de ahí, cabe resaltar que la lignina es el compuesto que le permite soportar los esfuerzos a tensión en la planta (Conabio, 2020).

2.2 Propiedades mecánicas

Son magnitudes que caracterizan a los materiales, estas refieren a la forma en cómo reaccionan los materiales cuando se le aplican diversas fuerzas (Garzón & Morales, 2013).

2.3 Ensayo a tracción

Es un tipo de ensayo uniaxial, considerado como uno de los más importantes debido a que este provee la suficiente información sobre el comportamiento mecánico de la muestra del material sometido a tensión, con este ensayo es posible determinar las siguientes propiedades (Loeza, 2014).

2.4 Resistencia mecánica

Se evalúa utilizando la resistencia a la cedencia para polímeros y metales; para los materiales compuestos es tensión de fallo y para cerámicas es resistencia a tracción (Núñez, 2013).

2.5 Módulo de resiliencia

Se puede definir como la energía elástica máxima acumulada por dicho compuesto hasta

que el mismo llega al punto que se le conoce como la resistencia a la cedencia (Núñez et al, 2013).

2.6 Módulo de Young

El módulo de Young es un parámetro que caracteriza el comportamiento de los materiales elásticos y depende de la dirección de la fuerza aplicada. Es uno de los métodos más utilizados para comprender la elasticidad de los materiales (Ortiz & Cruz, 2022).

2.7 Tenacidad

La tenacidad en los diversos materiales hace referencia a la capacidad que tienen estos de absorber energía sin llegar a romperse, es decir, una fuerza aplicada al material, la cual lo estira hasta su punto de ruptura. (Reyes, 2015).

2.8 Curva esfuerzo-deformación

Las curvas de esfuerzo vs deformación son una serie de curvas cuyas características mecánicas varían respecto a la carga que se esté aplicando, son de gran importancia, ya que describen las propiedades mecánicas del sólido sometido a tensión. No obstante, si los materiales son dúctiles, se pueden presentar cambios en su sección transversal, esto conlleva a una toma de datos errónea (Loeza, 2014).

2.9 Esfuerzo normal

El esfuerzo normal es ocasionado por una fuerza que actúa de manera normal sobre un área determinada. Dentro de estos tipos de esfuerzos se encuentran los de tensión, así pues, se genera alargamiento axial (Rodríguez et al, 2019).

2.10 Deformación unitaria

La deformación unitaria se puede entender como la proporción del alargamiento que le ocurre a un elemento referente a la longitud inicial que este posea respecto a la dirección en la

cual se generó el esfuerzo (Rodríguez et al, 2019).

2.11 Resistencia a la fluencia

Es el valor máximo del esfuerzo que requiere el material para deformarse plásticamente, es decir, su deformación es permanente (Rodríguez et al, 2019).

2.12 Resistencia al esfuerzo último

Es el último valor de esfuerzo que el material puede soportar antes de que falle y se deforme sin requerir un esfuerzo superior, llegando a la fractura del elemento (Rodríguez et al, 2019).

2.13 Celulosa

La celulosa es un compuesto orgánico fundamental en las plantas la cual ayuda a mejorar dicha propiedad. Asimismo, las fibras de coco tienen un porcentaje de celulosa del 46,5% (Gómez, Vallejo, 2020). Para los filamentos de fique, se presenta 68,36% de celulosa (Muñoz, 2014). Los filamentos de piña poseen un porcentaje de celulosa del 81%. (Amigó, 2008).

3. Diseño conceptual

3.1 Requerimientos y especificaciones de los acoples

La finalidad del proyecto es la caracterización de las propiedades mecánicas de los filamentos ya mencionados según la norma ASTM D3822 mediante ensayos a tracción uniaxial en la máquina Tribolab ubicada en el laboratorio de metalográfica de la Escuela de Ingeniería mecánica de la Universidad Industrial de Santander. Para esto, se requiere el diseño y la construcción de acoples de sujeción para realizar las pruebas en la máquina, ya que esta no cuenta con estos.

Se requieren acoples prácticos y livianos, con una mediana vida útil y fácil instalación en la máquina. Para poder observar el comportamiento de las fibras, es necesario visualizar claramente los resultados en tiempo real de la prueba. A continuación, se muestra una tabla con los requerimientos y especificaciones de los acoples para el proceso de diseño.

Tabla 1

Requerimientos y especificaciones de los acoples

ASPECTOS TÉCNICOS	OPERACIÓN Y USO	VIDA ÚTIL
Confiabilidad de datos	Fácil instalación	Fácil mantenimiento
Compacto	Fácil armado y desarmado	
Poleas tangentes	Operación simple	
Peso		

Tabla 2*Desarrollo de la matriz de calidad*

		Nota	Estructura	Versatilidad	Costo	Confiabilidad de datos	Tiempo medio entre fallas
Aspectos técnicos	Exactitud en la toma de datos	9	8	7		9	
	Peso	8	9	8	8	7	
	Poleas tangentes	9		9			
	Costo bajo	9	8	6	9	7	4
Operación y uso	Fácil instalación	5		4	4		
	Fácil armado y desarmado	7	7	8		3	9
	Operación simple	3	2	4		5	
Vida útil	Resistencia a la corrosión	7	8	7	9		
	Fácil mantenimiento	6	5	7		6	9
Total			357	441	228	272	153

3.2 Planteamiento de alternativas

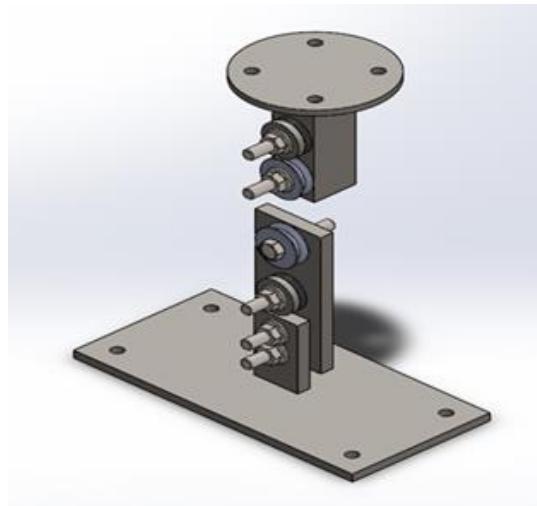
Se plantearon tres opciones: la alternativa “(A)” ilustrada en la figura 1, plantea para el acople superior e inferior un montaje rígido y se emplea como material base para los dos acoples acero comercial. El acople inferior al ser una unión soldada da estabilidad al montaje cuando se

realiza el ensayo a tensión, sin embargo, nos restringe la rotación del soporte. Si se necesita girar la posición de la polea para tener una dirección netamente vertical del filamento, este diseño limita esta posibilidad.

El acople superior al ser de acero tiene un costo más bajo respecto a otros materiales empleados en la industria y por otra parte es fácil de conseguir en el mercado. Sin embargo, posee un mayor peso respecto a otros, lo que afecta directamente al servomotor de la máquina Tribolab al ejecutar el ensayo a tensión, ya que la máquina tiene una celda de carga de 50 N y se restringe a 40 N por seguridad.

Figura 1

Alternativa A



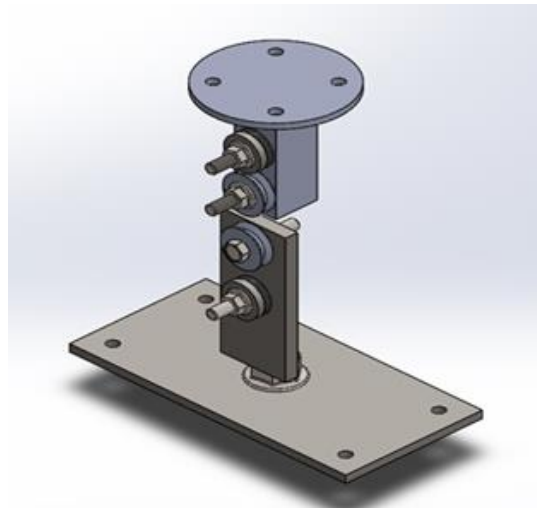
Para la alternativa “(B)” ilustrada en la figura 2, se plantea para el acople superior un montaje rígido elaborado de aluminio y para el acople inferior un montaje rotativo cuyo material es acero. El mecanismo del acople inferior se diseña con la posibilidad de girar 360 grados la placa superior donde se ubica la polea gracias al tornillo, la tuerca de rosca métrica y el agujero de la

placa de apoyo. Esta alternativa permite ajustar la posición de los filamentos para lograr una correcta alineación de estos y lograr un ensayo de tensión uniaxial con una disminución en los errores a la hora de tomar de datos, sin embargo, se requiere un buen ajuste de la rosca métrica para que no haya vibraciones que puedan afectar la prueba.

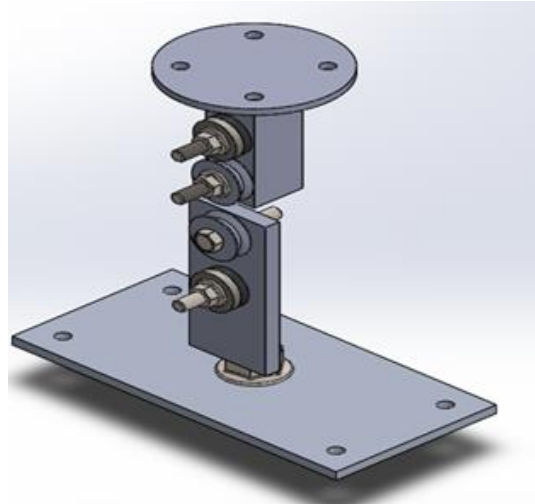
El acople superior al ser de aluminio posee un menor peso respecto a otros materiales, por lo que el servomotor de la máquina no se vería afectado, sin embargo, tiene un costo más elevado respecto a otros materiales empleados en la industria y es más difícil de conseguir en el mercado.

Figura 2

Alternativa B



Para la alternativa “(C)” ilustrada en la figura 3, se plantea para el acople superior un montaje rígido y para el acople inferior un montaje rotativo con material base para los dos de aluminio. Al utilizar este material en los dos acoples, genera alta resistencia a la corrosión, sin embargo, su costo aumenta considerablemente a comparación de la alternativa A y B.

Figura 3*Alternativa C***3.3 Evaluación de alternativas**

Las alternativas y los requerimientos propuestos presentados en la tabla 3, permiten llegar a la decisión de utilizar la alternativa (B), ya que este cumple con los parámetros establecidos en la tabla 1.

Tabla 3*Evaluación de alternativas*

Criterios de evaluación	%	Alternativa A		Alternativa B		Alternativa C	
		Nota	Ponderación	Nota	Ponderación	Nota	Ponderación
Estructura	27,5	3	0,825	3	0,825	3	0,825
Versatilidad	34,0	1	0,340	5	1,699	3	1,019
Confiabilidad de datos	17,6	3	0,527	3	0,527	3	0,527
Costo	21,0	4	0,838	3	0,629	2	0,419
Total			2,530		3,680		2,790

4. Metodología

4.1 Fase I: establecer las características físicas de los filamentos

4.1.1 Observación y selección de las fibras

Con el fin de realizar un muestro de forma adecuada, la norma ASTM D3822 en su apartado 7.2.1, indica que para las fibras netamente cortadas se procede a tomar al menos 50 gramos de cada tipo de filamento (piña, coco y fique) de las cuales, por cuestiones de facilidad en el montaje de los acoples, se eligen las muestras que presenten bajas ondulaciones con el fin de que la pretensión que pueda generarse no afecte la prueba.

Los filamentos que se emplean en los ensayos no poseen algún tratamiento químico y/o físico. Asimismo, estas fibras fueron previamente lavadas con agua y detergente.

Figura 4

Fibra de piña [50 gr]



Figura 5

Fibra de coco [50 gr]



Figura 6

Fibra de fique [50 gr]



4.1.2 Longitud de las muestras

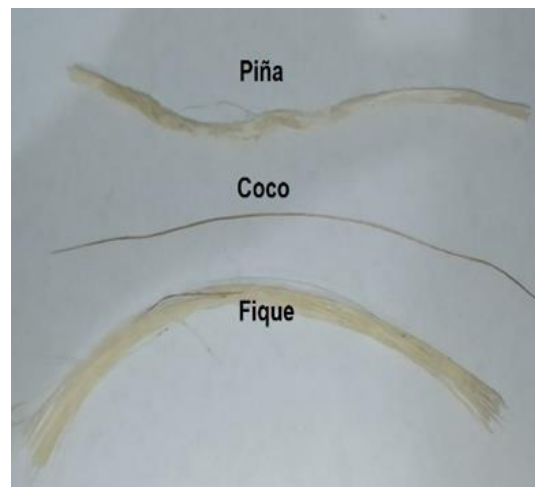
Como se menciona en el numeral 9.3 de la norma ASTM D3822, los filamentos deben tener una longitud mayor a la longitud de calibre nominal especificada en la norma (10, 20, 25, y 250 [mm]). Dichas medidas son las más usadas para este tipo de ensayo., ya que a mayor longitud de los filamentos existe una disminución de errores en la toma de datos. Los tres tipos de

especímenes poseen la misma longitud nominal, esto con el fin de comparar las propiedades obtenidas en el ensayo.

Para las fibras de piña y fique, se toma una longitud de 160 [mm]. Por otra parte, los filamentos de coco al ser tan cortos en comparación con los anteriores, se eligen calibres de 80 [mm] y 160 [mm].

Figura 7

Longitud de los filamentos

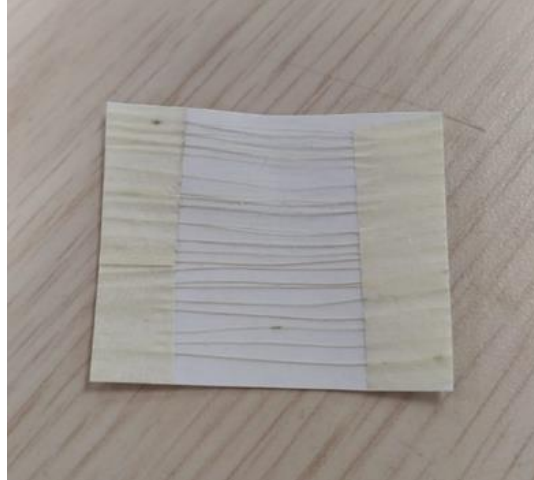


4.1.3 Cálculo de diámetros

Como se menciona en el numeral 9.3 de la norma ASTM D3822, los filamentos deben tener una longitud mayor a la longitud de calibre nominal especificada en la norma (10, 20, 25, y 250 [mm]). Dichas medidas son las más usadas para este tipo de ensayo., ya que a mayor longitud de los filamentos existe una disminución de errores en la toma de datos. Los tres tipos de especímenes poseen la misma longitud nominal, esto con el fin de comparar las propiedades obtenidas en el ensayo.

Figura 8

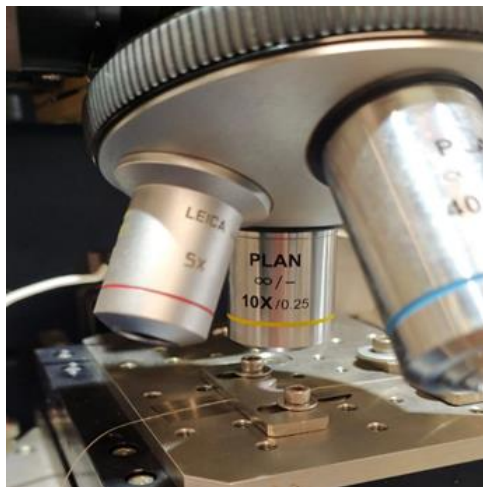
Montaje de filamentos de fique en la hoja blanca



Por otra parte, se emplea un lente de diez aumentos y un software analizador de imágenes “UMT”, el cual nos provee el fabricante de la máquina UMT Tribolab Bruker.

Figura 9

Lente del microscopio 10X empleado



Para la toma de los diámetros en las fibras se emplea la norma ASTM D629 la cual se aplica como documento de referencia mencionado en la norma ASTM D3822 en su primera

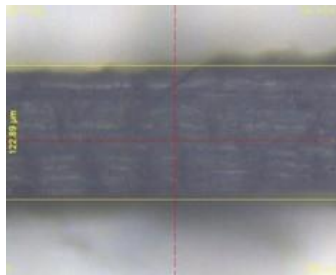
página. No obstante, se utiliza la norma NTC 481 que es equivalente a la ASTM D629 para mayor facilidad.

Figura 10

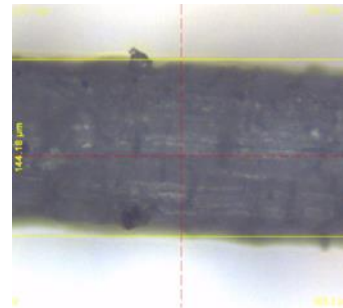
*Filamento de piña bajo
microscopio*

**Figura 11**

*Filamento de coco bajo
microscopio*

**Figura 12**

*Filamento de fique bajo
microscopio*



Para la medición de los diámetros se determina un cierto número de especies, la norma NTC 481 en su apartado 27.3, especifica 100 fibras. En la siguiente tabla, se obtienen los resultados del análisis de las fibras de fique, piña y coco.

Tabla 4

Diámetros, desviación estándar y coeficiente de variación fibras de piña, coco y fique.

Fibras	Diámetro mínimo [μm]	Diámetro máximo [μm]	Diámetro medio [μm]	Desviación estándar [μm]	Coficiente de variación
Fique	91,45	261,09	179,95	41,39	0,230
Piña	33,67	230,01	147,16	41,54	0,28
Coco	120,38	556,45	292,32	105,66	0,36

Figura 13

Distribución normal de los diámetros de la fibra de piña

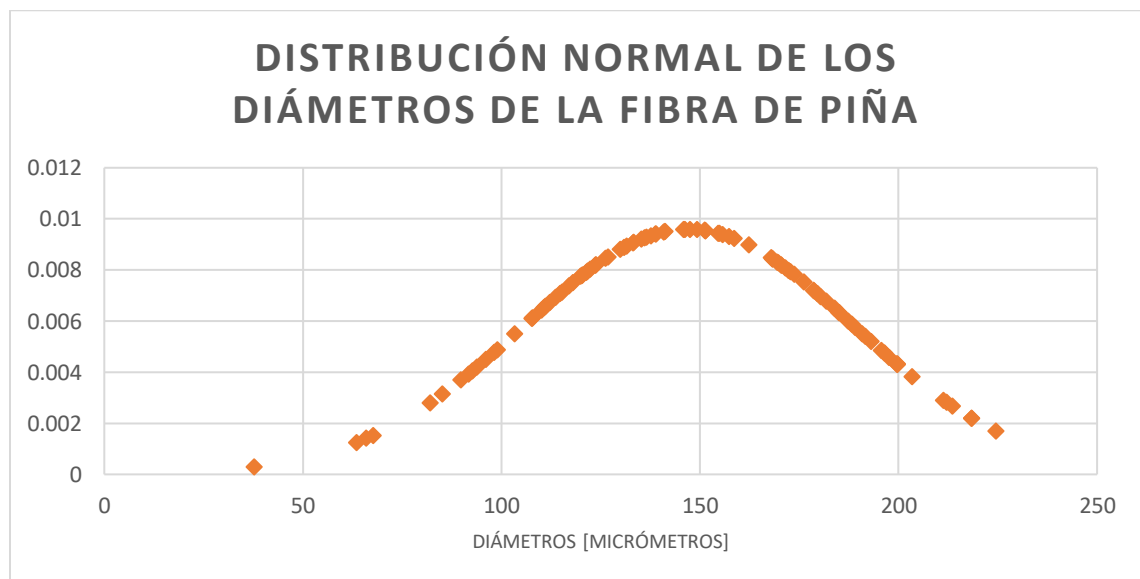
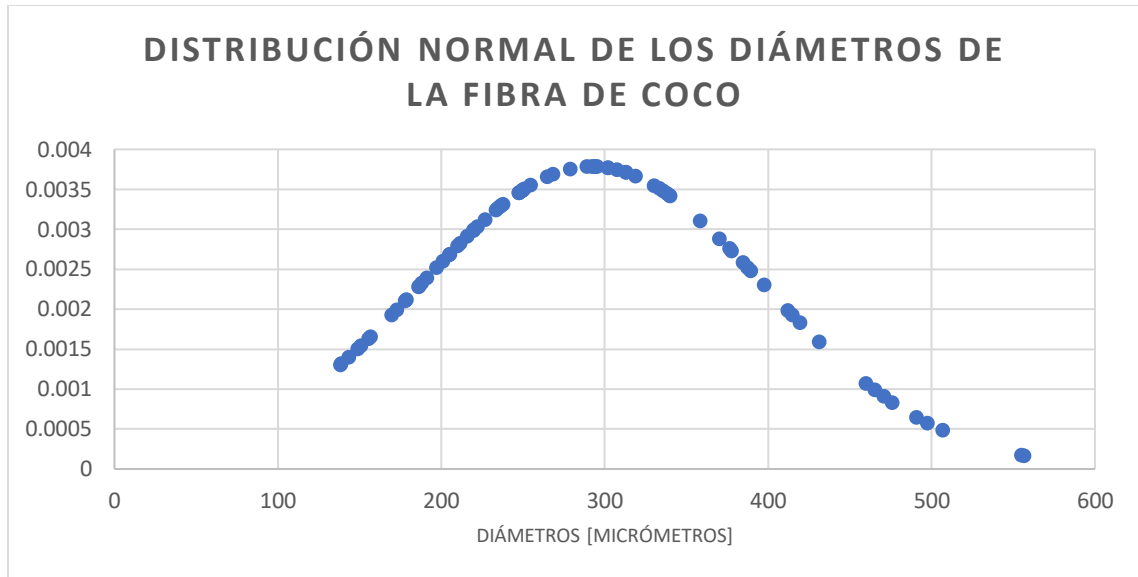
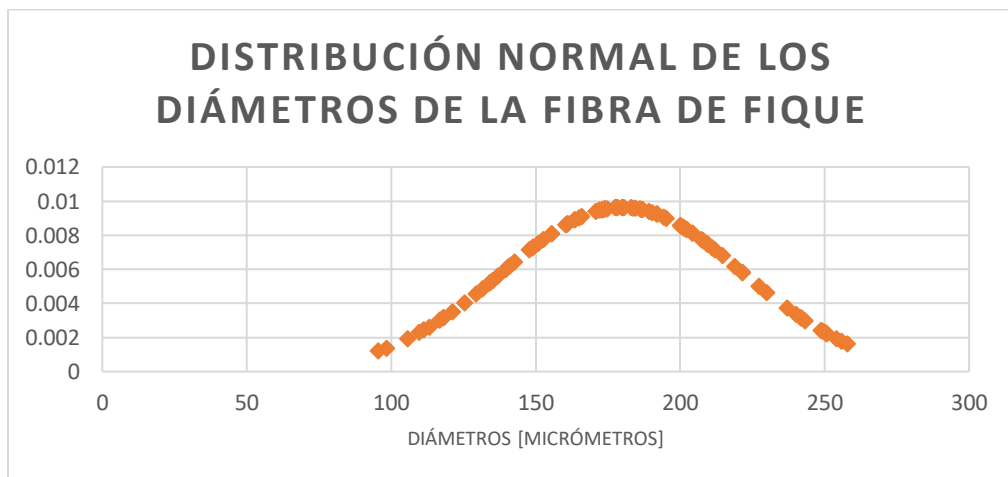


Figura 14

Distribución normal de los diámetros de la fibra de coco

**Figura 15**

Distribución normal de los diámetros de la fibra de fique



4.1.4 Cálculo de la densidad lineal

De acuerdo con la norma ASTM D1577 mencionada en los documentos de referencia de la norma ASTM D3822, se tienen en cuenta los siguientes procedimientos para determinar la densidad lineal:

- Seleccionar una longitud de fibra superior a 30 [mm] como se especifica en el numeral 16 de la norma ASTM D1577. Para el caso de la piña y fique se toman longitudes de 160 [mm]. Así mismo, en las fibras de coco se ocupan medidas de 80 [mm] y 160 [mm]. Usar una balanza con una resolución de al menos 0,0001 [mg], pero en este caso se emplea una balanza de precisión OHAUS de 0,1 [mg].
- Se emplea la ecuación 1) $Td = 10000 * W / (N * L)$ donde:
 - W: masa en [mg].
 - L: longitud del espécimen [mm].
 - N: número de especímenes
 - Td: densidad lineal de las fibras [dtex]
 - La densidad lineal en [tex]=0.1 * Td

Para las fibras de piña, coco y fique se obtienen los siguientes resultados de densidad media, desviación estándar y coeficiente de variación:

Tabla 5

Densidad media, desviación estándar y coeficiente de variación fibras de piña, coco y fique.

Fibras	Desviación estándar [tex]	Densidad media [mg/mm]	Densidad media [tex]	Coficiente de variación
Fique	9,563	0,026875	26,875	0,356
Piña	33,578	0,023313	23,313	1,440
Coco	32,784	0,065406	65.406	0,501

Figura 16

Masa de piña

**Figura 17**

Masa de coco

**Figura 18**

Masa de fique



4.2 Fase II: Diseño y construcción de los acoples

Para tomar datos de la fuerza y el desplazamiento de las fibras, se realizó la construcción de los acoples de sujeción con la alternativa escogida en el diseño conceptual.

En el diseño de las poleas, se debe tener en cuenta las medidas proporcionadas por el fabricante (Mecmesin, 2014), las cuales son:

- Capacidad de carga: 250N
- Diámetro de la polea: 13 mm
- Diámetro máximo de la cuerda: 0,8 mm

Figura 19

Vista isométrica acople inferior

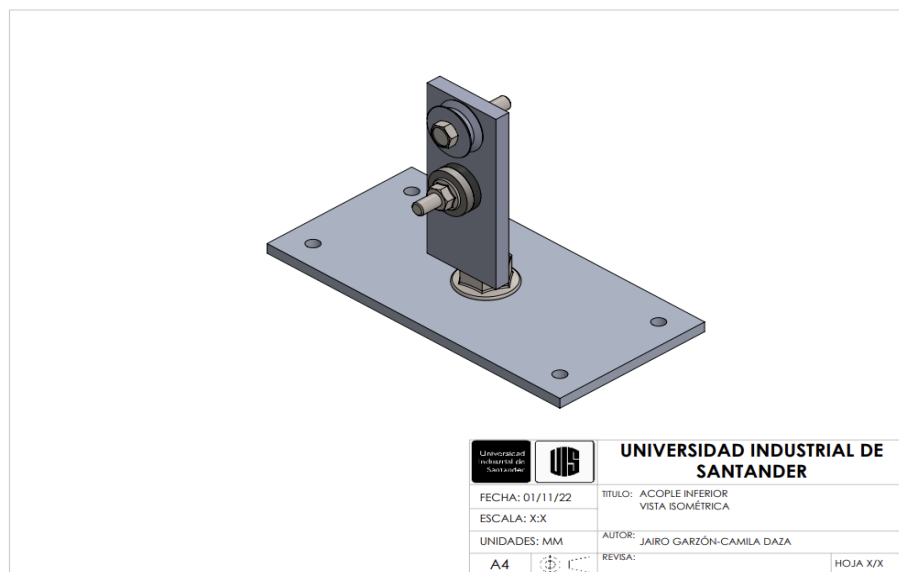


Figura 20

Explosionado acople inferior

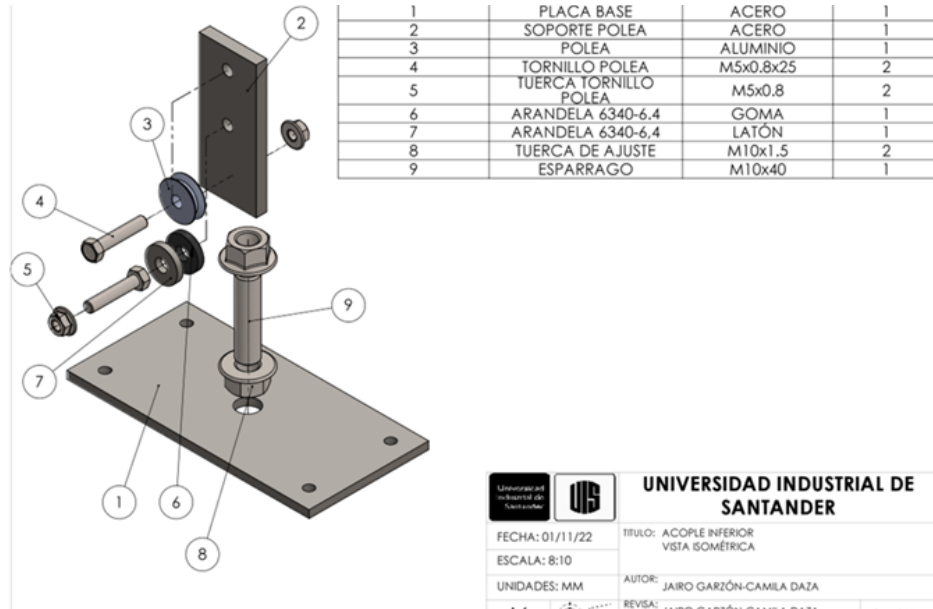
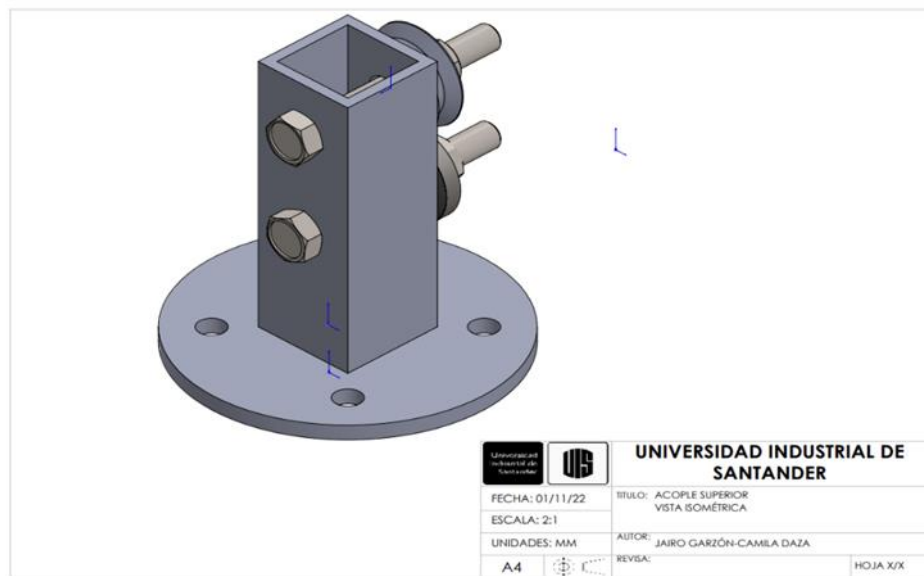
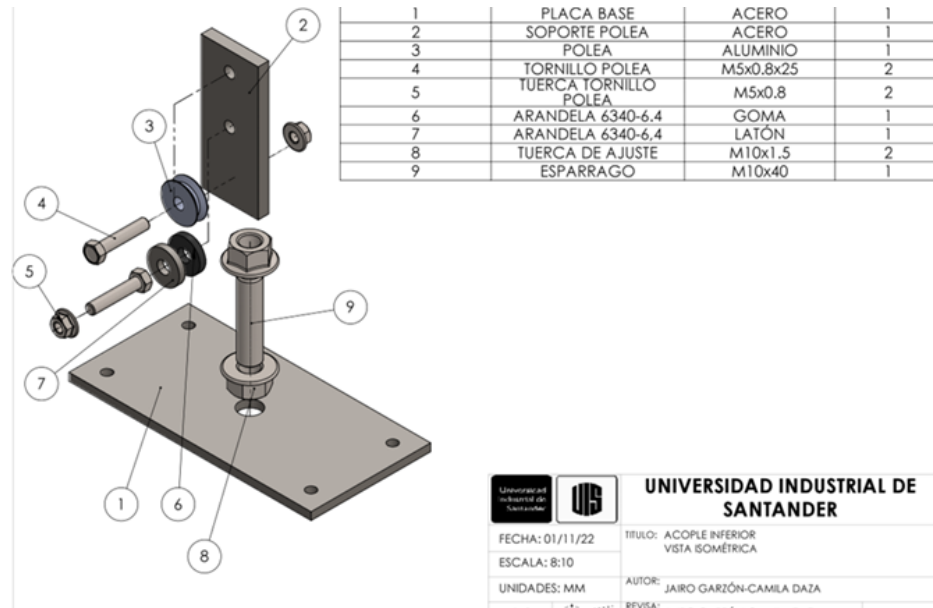


Figura 21

Vista isométrica acople superior



		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FECHA: 01/11/22	TITULO: ACOPLE SUPERIOR VISTA ISOMÉTRICA		
ESCALA: 2:1	AUTOR: JAIRO GARZÓN-CAMILA DAZA		
UNIDADES: MM	REVISAS:	HOJA X/X	
A4			

Figura 22*Explosionado acople superior*

4.3 Fase III: comparación de las propiedades mecánicas

4.3.1 Efectuar ensayo a tracción

Se realiza el montaje de los acoples en la máquina Tribolab de los cuales tanto el inferior como el superior deben estar alineados correctamente. Los centros de las poleas se colocan de forma colineal con la intención de obtener una posición netamente vertical de las fibras y así llevar a cabo de manera correcta el ensayo.

Figura 23

Montaje adecuado de los acoples en la máquina Tribolab



4.3.2 Parámetros de la prueba

Se establecieron los parámetros de la prueba a tracción en el software, de los cuales se aplican dos secuencias:

- **Secuencia 1**

Se aplica una pretensión de 0.8 [N] con el fin de eliminar las ondulaciones que presentan algunas fibras, sin embargo, si este criterio no se cumple a los 10 [s], el software automáticamente inicia la siguiente secuencia.

- **Secuencia 2**

Se optan como parámetros principales la velocidad de extensión del acople superior, la fuerza máxima ejercida durante el ensayo y el tiempo que puede durar este. Para el cálculo de la rata de extensión (Velocidad de extensión) se toma la tabla 3 de la norma ASTM D3822. En este

ensayo se supone un porcentaje de elongación inferior al 8% en los filamentos de fique y piña, por tanto, la velocidad del acople superior será:

$$\text{Velocidad de Extensión} = 0.1 * (\text{Longitud inicial del espécimen/segundo})$$

$$\text{Velocidad de Extensión} = 0.1 * (30\text{mm/segundo}) = 3.0[\text{mm/min}]$$

$$= 0.05[\text{mm/s}] = 50[\mu\text{m/s}]$$

No obstante, al efectuarse los respectivos ensayos con las fibras de coco, se obtiene una elongación de rotura superior al 8%, por tanto, se procede a recalcular la velocidad de extensión de acuerdo con la tabla 6.

$$\text{Velocidad de Extensión Coco} = 0.6 * (30\text{mm/segundo}) = 18[\text{mm/min}]$$

$$= 0.3[\text{mm/s}] = 300[\mu\text{m/s}]$$

Tabla 6

Tabla de cálculo de velocidad de extensión del acople

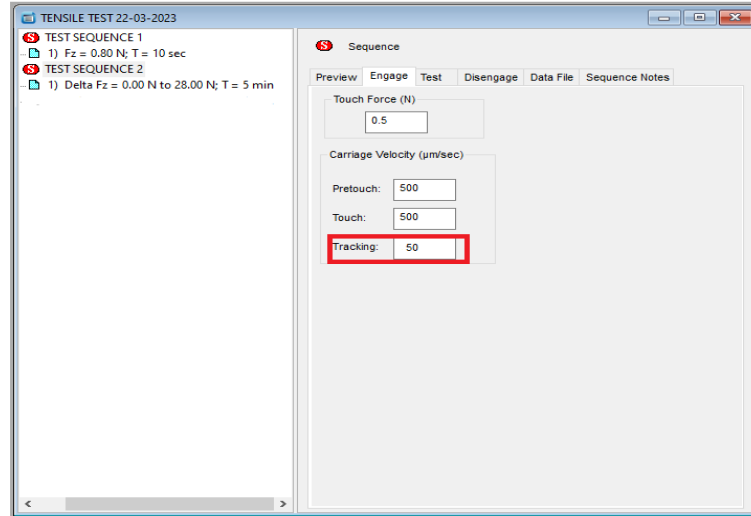
TASA DE EXTENSIÓN	
Elongación Estimada A Rotura De La Muestra [%]	Tasa De Extensión, % De La Longitud Inicial De La Muestra/Minuto
Menos de 8	10
8 a 100, incluido	60
Más de 100	240

Nota. Valores adaptados de Norma ASTM D3822, 2007

Al desconocerse las propiedades mecánicas de los filamentos, se opta por tomar un valor máximo de 28 [N], con una tolerancia de 0.05[N] y un tiempo de ensayo de 300[s].

Figura 24

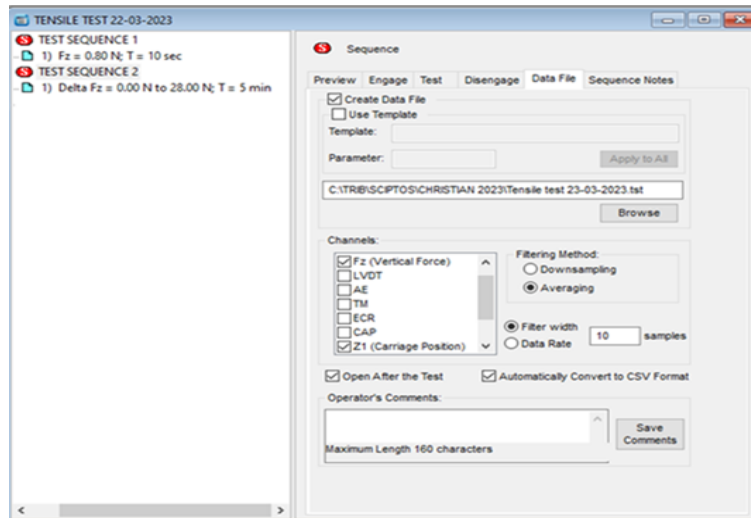
Secuencia y velocidad de acople



Para este ensayo, se requieren únicamente los datos de Fuerza y desplazamiento en eje Z.

Figura 25

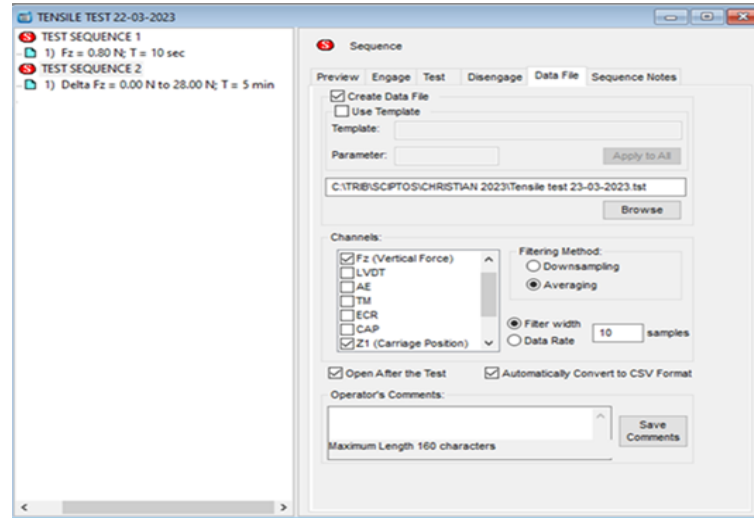
Tolerancia de la fuerza en Z y tiempo de la secuencia



Para este ensayo, se requieren únicamente los datos de Fuerza y desplazamiento en eje Z.

Figura 26

Variables empleadas en la toma de datos



4.4 Fase IV: implementación del modelo matemático

Se plantea un modelo Neohookeano (Holzapfel, 2000), en el cual según la ecuación 6.119 se describe una “Función de densidad de energía de deformación” $\psi = \psi(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3) = \sum_{p=1}^N \frac{\mu p}{\alpha p} (\lambda_1^{\alpha p} + \lambda_2^{\alpha p} + \lambda_3^{\alpha p} - 3)$ donde $N = 1$ y $\alpha p = 2$. Para dicho modelo, entonces $\psi = \frac{\mu p}{2} (\lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2 - 3)$. Se toman los estiramientos principales como: $\lambda_2 = \lambda_3$; $\lambda_3 = \frac{1}{\sqrt{\lambda_1}}$. Se asume un modelo ideal, por tanto $J = 1$; $J = \lambda_1 * \lambda_2 * \lambda_3$ donde J es el Jacobiano. Reemplazando se obtiene $\psi = \frac{\mu p}{2} * \left(\lambda_1^2 + \frac{2}{\lambda_1} - 3 \right)$, según la ecuación 6.69 $\sigma_a = -P + \lambda_a * \frac{\partial \psi}{\partial \lambda_a}$. Aplicando las condiciones de frontera $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$ y $\lambda_2 = \frac{1}{\sqrt{\lambda_1}}$. Se obtiene el modelo final $\sigma_1 = \mu p * \left(\lambda_1^2 - \frac{1}{\lambda_1} \right)$ donde $\lambda = \varepsilon - 1$.

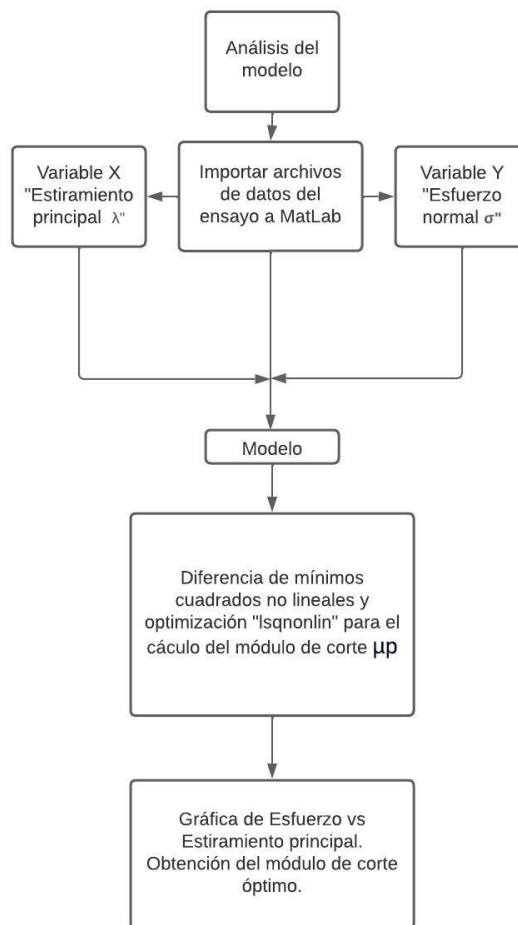
Dado que se sabe con qué certeza el comportamiento de los filamentos de fique, piña y coco, se implementa el modelo no lineal mencionado anteriormente simultáneamente con el lineal, esto con el fin de observar cual se asemeja de forma idónea a los datos experimentales.

4.4.1 *Análisis del modelo en Matlab*

En el diagrama de flujo presentado en la figura 27, se encuentra el procedimiento para el cálculo del modelo previamente planteado en el software de Matlab.

Figura 27

Diagrama de flujo del modelo



Para el uso del modelo previamente planteado, se toman los datos que se obtienen en los ensayos a tracción, elaborando así una corta programación en Matlab. Para cada ensayo se establece un límite de elementos, así mismo se importan los elementos de las filas y columnas correspondientes al archivo “Datos.m”.

Empleando la librería “lsqnonlin”, se optimiza de forma automática el módulo de corte en función del esfuerzo normal y el estiramiento principal que se halla en el ensayo a tensión.

Posteriormente para cada filamento, se efectúa dicho script, lo que conlleva la generación de la gráfica comparando el modelo teórico vs el modelo experimental, y en un segundo plano se genera el resultado del módulo de corte.

5. Análisis de resultados

5.1 Análisis de las propiedades mecánicas de los filamentos

La norma ASTM D3822 en su numeral 12, indica las propiedades que se hallan mediante este tipo de ensayo mecánico de tensión. En su apartado 12.8, se indica claramente el cálculo promedio para fuerza de rotura, módulo inicial, alargamiento a la rotura y tenacidad a la rotura.

Una vez efectuados los ensayos se obtienen las siguientes propiedades promedio para 10 ensayos efectivos en cada especie de fibra. En la siguiente tabla, se muestran las propiedades promedio de los filamentos de fique, piña y coco.

Tabla 7

Propiedades mecánicas promedio de los filamentos de fique, piña y coco

Fibras	Fuerza de rotura [N]	Tenacidad a la rotura [N/tex]	Elongación %	Longitud efectiva [mm]	Módulo inicial [Mpa]	Esfuerzo máximo [MPa]
Fique	8,61±1,71	0,32±0,06	9,45±1,76	30	6022±2735	363,5±143,6
Piña	4,02±1,94	0,22±0,08	1,49±0,89	30	72889±44837	357,9±105,2
Coco	5,19±2,35	0,079±0,04	25,80±11,1	30	1690,4±587,0	133,8±50,4

Para las propiedades de diversos filamentos de fique tratados y no tratados, para un espécimen de 30 [mm] sin algún procedimiento químico se obtienen propiedades similares en:

Módulo de elasticidad (6[GPa]), elongación a rotura (9%) y esfuerzo máximo a tensión (325 [MPa]). (GAÑAN, P. & MONDRAGÓN, 2004).

Se presentan en los hilos de la hoja de piña las siguientes propiedades: Módulo de elasticidad (34-82) [GPa], elongación a rotura (0,8-1 %) y esfuerzo máximo a tensión (413-1627) [MPa] (Indran & Raj, 2015).

Para los filamentos de coco las siguientes propiedades: Módulo de elasticidad ($1,83 \pm 0,91$) [GPa], elongación a rotura (40 %) y esfuerzo máximo a tensión ($120,85 \pm 67,24$) [MPa] (Gómez et al, 2020).

5.2 Comparación de las propiedades mecánicas de los filamentos y la fibra de vidrio

Se toma como referencia la fibra de vidrio para comparar las propiedades mecánicas más usadas en la industria de las fibras, las cuales son:

- Tenacidad a rotura
- Esfuerzo a la tracción
- Elongación hasta rotura

Las propiedades mecánicas de la fibra de vidrio son las mostradas en la tabla 8, la cual contiene la comparación de los resultados de las otras fibras en los ensayos.

Tabla 8*Propiedades mecánicas de los filamentos y la fibra de vidrio*

Fibras	Tenacidad a la rotura [N/tex]	Elongación a la rotura [%]	Esfuerzo a rotura [Mpa]
Vidrio tipo E	1,3	4,5	3400,0
Fique	0,3	10,5	361,8
Piña	0,22	1,4	322,8
Coco	0.07	24.0	131.9

Tabla 9*Comparación de número de fibras para suplir cada propiedad*

Fibras	Número de fibras para esfuerzo a rotura	Número de fibras para tenacidad a rotura
Fique	9,4	3,8
Piña	10,5	5,9
Coco	5,9	18,3

5.2 Análisis de ensayos a tracción y módulo de corte para cada filamento

A continuación, se muestran las gráficas para cada filamento comparando el modelo teórico vs el modelo experimental y el módulo de corte para cada filamento.

Figura 28

Ensayo a tracción filamento de piña con modelo ajustado

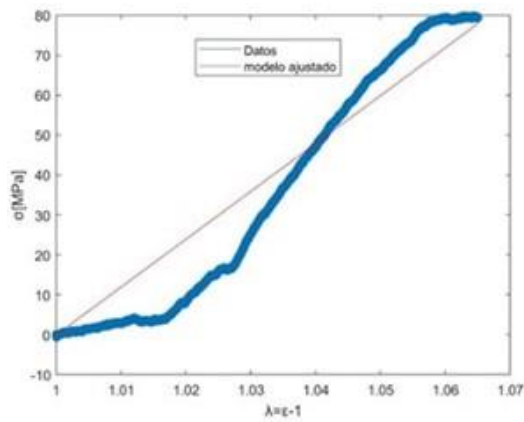


Figura 29

Módulos de corte para filamentos de piña

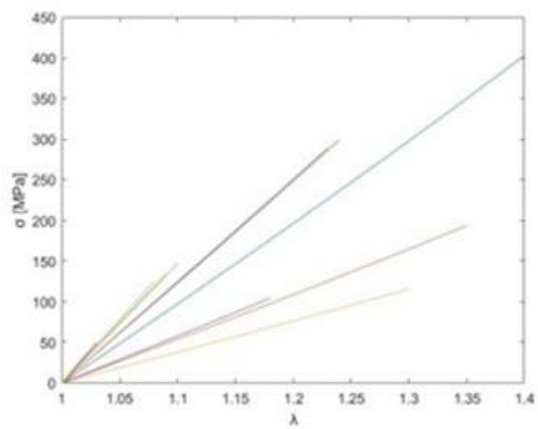


Figura 30

Ensayo a tracción filamento de coco con modelo ajustado

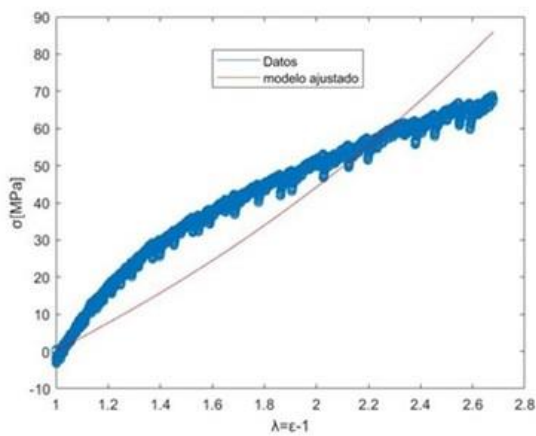


Figura 31

Módulos de corte para filamentos de coco

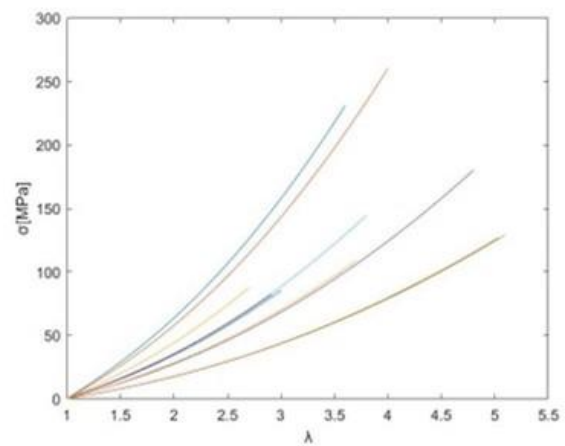


Figura 32

Ensayo a tracción filamento de fique con modelo ajustado

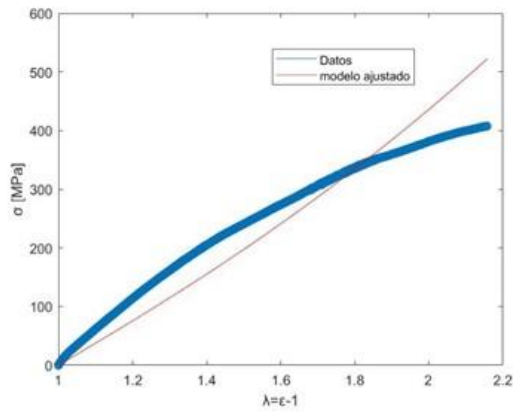
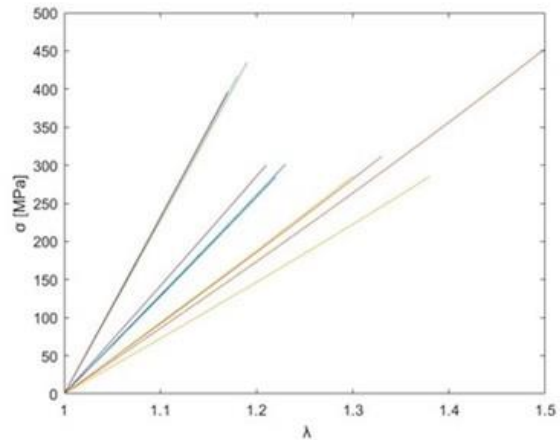


Figura 33

Módulos de corte para filamentos de fique



En la siguiente tabla, se comparan los esfuerzos a rotura según el modelo, según el ensayo y el porcentaje de error que se obtuvieron con el software.

Tabla 10

μ promedio y desviación estándar de los filamentos

Fibras	μ promedio [MPa]	Desviación estándar [MPa]
Fique	476,25	211,05
Piña	370,06	156,14
Coco	10,35	4,38

6. Conclusiones

La toma de 100 diámetros para cada tipo filamento como lo designa la norma genera consigo un margen idóneo el cual nos indica si los diámetros empleados en los ensayos a tensión uniaxial están dentro de un rango aceptable en la distribución normal o no. Esto conlleva posteriormente a la validez de los cálculos de las propiedades mecánicas cuando aquellos se comparan con los de la literatura.

El buen diseño de los acoples, especialmente de las poleas permitieron efectuar los ensayos a tensión de una manera exitosa, así mismo si se requiere analizar las propiedades en la máquina UMT Tribolab tanto de un cabello humano como de una fibra con un diámetro no tan grande se puede garantizar una buena toma de datos que permita el cálculo de las propiedades mecánicas de las fibras sometidas a tensión.

Empleando una función no lineal para el modelo propuesto en las fibras de fique, piña y coco, se puede observar una semejanza a la ley de Hooke, prediciendo así, un comportamiento lineal en la relación Esfuerzo vs Deformación. Sin embargo, el filamento de coco al poseer un gran porcentaje de elongación a rotura se puede pensar que su comportamiento tienda a ser hiperelástico, pero, de nuevo los ensayos confirman su comportamiento lineal.

Al comparar los tres filamentos estudiados en relación con la fibra de vidrio, el fique es la mejor opción, ya que se acerca más a las propiedades mecánicas de la misma mostradas en la tabla 8. El fácil acceso al mismo, su bajo costo y las buenas propiedades mecánicas que en él se encuentran hacen que este sea una alternativa viable. A pesar de llegar a implementarlos, hacen falta análisis de dichas fibras bajo la interacción con otros compuestos ya que, sus propiedades físicas, químicas y mecánicas pueden verse afectadas al estar en contacto con otros elementos.

El fique y la piña son los filamentos que contienen una gran cantidad de celulosa comparados con el coco. Se evidencian en los datos tomados de los ensayos a tracción una resistencia a la ruptura promedio cercana a los 130 [MPa] para el coco y 350 [MPa] para la piña y el fique. La celulosa actúa como refuerzo natural en los filamentos de dichas fibras, por ende, se infiere que a mayor proporción de este compuesto mejor es su resistencia.

7. Recomendaciones

Durante la realización de las pruebas, se manejaron las fibras naturales sin ningún tipo de tratamiento químico. Para ello, se recomienda quitar la lignina de los filamentos, realizar nuevamente los ensayos y comparar los resultados obtenidos con los de este proyecto para tener una mejor visión del comportamiento que presentan.

Para la instalación de los acoples en la máquina Tribolab, se sugiere calibrar el sensor de la máquina en ceros, ubicar correctamente los acoples y programar el software según las secuencias para garantizar una toma de datos correcta.

En futuras investigaciones, se aconseja que la UIS apoye con recursos a la construcción de diferentes acoples que se puedan adaptar a la máquina Tribolab, para la realización de diferentes ensayos.

Los resultados obtenidos en la máquina sirven como punto de referencia para futuros proyectos de laboratorio.

Referencias Bibliográficas

Amigó, V., Sahuquillo, O., & Llorens, R. (2008). *Valorización de residuos de fibras vegetales como refuerzo de plásticos industriales*. Valencia, España: I Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos.

Beer, F. P., Johnston, E. R., Dewolf, J. T., Mazurek, D. F., Óscar, M. S., amp, & Elmer, M. M. (2009). *Mecánica de materiales* (Quinta Edición ed.). México: The McGraw-Hill.

CONABIO. (30 de Sept. de 2020). *Biodiversidad mexicana*. Obtenido de Biodiversidad Mexicana. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, : <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/fibras-naturales>

David, A., Becerril, L., & Illescas Fernández, S. (2014). *Obtención de curvas esfuerzo-deformación verdaderas del PP y copolímeros en bloque a velocidad de deformación constante aplicando correlación de imágenes digitales*. Barcelona: Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial .

Fenalfique. (2022). Obtención de saponinas a partir de jugo de fique para la elaboración de un bioinsumo. *Boletín informativo. CEI.*, págs. Vol. 9 No. 1 Pag. 114-117.

Fibra, d. v. (s.f.). *Calvosealing.com*. Obtenido de Calvosealing.com.: https://calvosealing.com/wp-content/uploads/docES_fibra_de_vidrio.pdf

Garzón, L., & Morales, M. (2013). *Caracterización de las propiedades mecánicas de materiales compuestos elaborados a partir de residuos industriales*. UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL PEREIRA.

Gomez, T. S., Zuluaga Palacio, S., Salazar Marín, M. C., Peñuela, A. F., & Fernández Morales, P. (2020). *Ccomportamiento mecánico de fibras y no tejidos de coco. Comparacion entre parámetros de punzonado y adhesión química. Avances de investigación en ingeniería.* <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.5255>.

Gómez, T., Zuluaga, S., María, S., Andres, P., & Fernandez, P. (2020). *Comportamiento mecánico de fibras y no tejidosde coco. Comparación entre parámetros de punzonadoy adhesión química.* Medellín.: Universidad Pontificia Bolivariana, Semillero de Investigación sobre Nuevos Materiales, Medellín, Colombia,.

Holzapfel, G. (2000). *Mecánica de sólidos no lineal: un enfoque continuo para la ingeniera .* <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.3/36197/9788498802177.pdf>:
POLITEXT Edicion No1.

Ministerio de Agricultura de Colombia. (2018). *Producción de piña llegaría a más 950 mil toneladas en 2018, calcula MinAgricultura.* Obtenido de <https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/Producci%C3%B3n-de-pi%C3%B1a-llegar%C3%ADa-a-m%C3%A1s-950-mil-toneladas-en-2018,-calcula-MinAgricultura-.aspx>

Muñoz, M., Hidalgo, M., & Mina, J. (Dec de 2014). *FIBRAS DE FIQUE UNA ALTERNATIVA PARA ELREFORZAMIENTO DE PLÁSTICOS. INFLUENCIA DE LA MODIFICACIÓN SUPERFICIAL.* Obtenido de SciELO Colombia- Scientific Electronic Library Online.:
Rev.Bio.Agro vol.12 no.2
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612014000200007

Núñez, C., Roca, A., & Jorba, J. (2013). *Comportamiento mecánico de los materiales. Volumen II. Ensayos mecánicos. Ensayos no destructivos*. Barcelona: Edicions Universitat Barcelona.

Ortiz, M., & Cruz, A. (5 de enero de 2022 Pág. 52-63). *Vista de Determinación del módulo de Young. Edu.mx*. . Obtenido de Ingenio y Conciencia Boletín Científico de la Escuela Superior Ciudad Sahagún:
<https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/sahagun/article/view/7891/8487>

Plantas podem ajudar, e. e. (27 de Feb de 2014). *CIMM com informações Massachusetts*. Obtenido de Centro de Informação Metal Mecânica:
https://www.cimm.com.br/portal/noticia/exibir_noticia/9385-plantas-podem-ajudar-engenheiros-em-projetos-de-novos-materiais

productores., C. b. (15 de Septiembre de 2020). *Agronet*. Obtenido de Agronet. Ministerio de Agricultura: <https://www.agronet.gov.co/Noticias/Paginas/Colombia-busca-ingresar-a-Comunidad-Internacional-del-Coco-y-lograr-nuevas-oportunidades-para-productores.aspx>

Reyes, C., Marmolejo, M., & Salom, Y. (2018). *Ensayo de Tenacidad o Impacto (Prueba Charpy)*. Obtenido de Researchgate.net:
https://www.researchgate.net/publication/328051292_Ensayo_de_Tenacidad_o_Impacto_Prueba_Charpy

Rodriguez, H., Bolaño, M., Cabarcas, M., & Ligardo, C. (July de 2022). *ENSAYO DE TRACCIÓN DE PROBETAS METÁLICAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS CURVAS ESFUERZO-DEFORMACIÓN*. Obtenido de Researchgate.net. :

https://www.researchgate.net/profile/HaroldRodriguezUriconchea2/publication/331306403_ENSayo_de_traccion_de_probetas_metalicas_propiedades_fisicomecanicas_curves

Standard test method for tensile properties of single textile fibers, 2020 D3822,. (s.f).
img43.chem17.com. Obtenido de

https://compass.astm.org/document/?contentCode=ASTM%7CD3822_D3822M-14%7Cen-US

Standard Test Methods for Linear Density of Textile Fibers. (D1577 de 2018).
standards.globalspec.com. Obtenido de

<https://compass.astm.org/document/?contentCode=ASTM%7CD1577-07R18%7Cen-US>

Textiles. Análisis cuantitativo de fibras. Parte 3: Basada en la norma ASTM D629, . (NTC 481 de 2012).
tienda.icontec.org. Obtenido de <https://ecollection-icontec->

[org.bibliotecavirtual.uis.edu.co/pdfview/viewer.aspx?locale=es-](https://ecollection-icontec-org.bibliotecavirtual.uis.edu.co/pdfview/viewer.aspx?locale=es-)

[ES&Q=BE4EFF948703B0FB2A429F63CD799A7596DF3D9C2A164539&Req=](https://ecollection-icontec-org.bibliotecavirtual.uis.edu.co/pdfview/viewer.aspx?locale=es-ES&Q=BE4EFF948703B0FB2A429F63CD799A7596DF3D9C2A164539&Req=)

Vallejo Cárdenas, J. L. (2020). *Estudio comparativo de las propiedades mecánicas de la fibra de hoja de piña en comparación de la fibra de vidrio en una matriz de poliéster.*
<https://hdl.handle.net/11059/12182>: Universidad Tecnológica de Pereira.

Anexos

Anexo A. Planos de los acoples de sujeción

Figura A1. Vista superior del acople superior

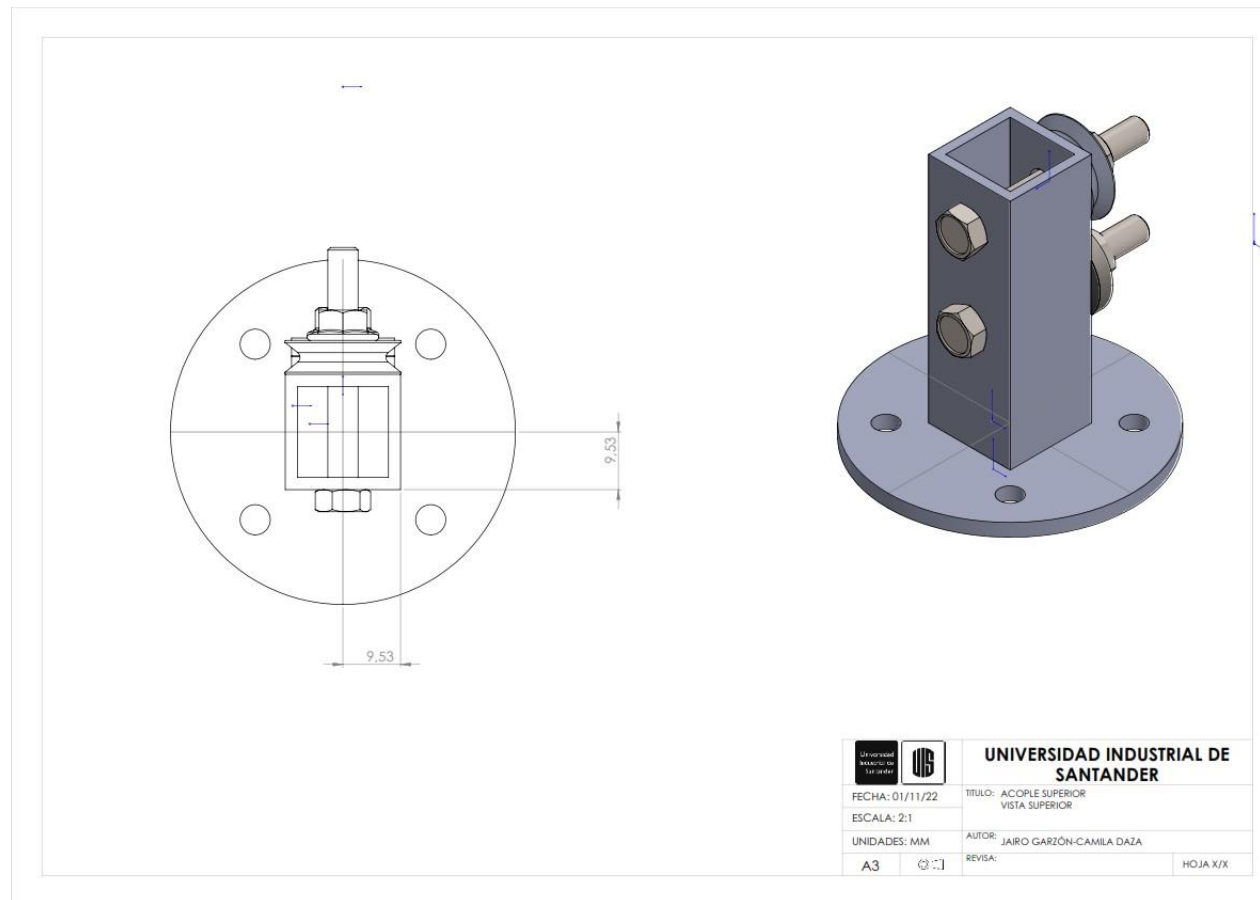


Figura A2. Placa del soporte superior

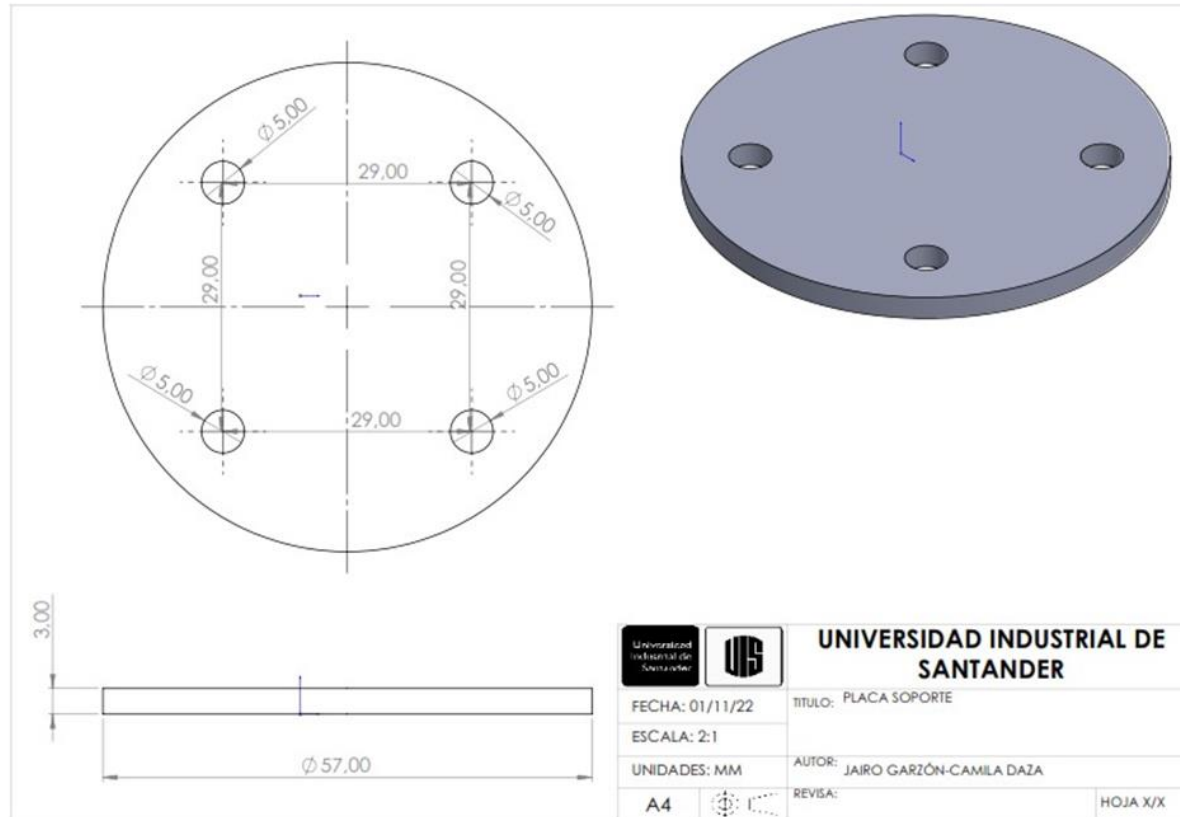


Figura A3. Soporte de la polea en el acople superior

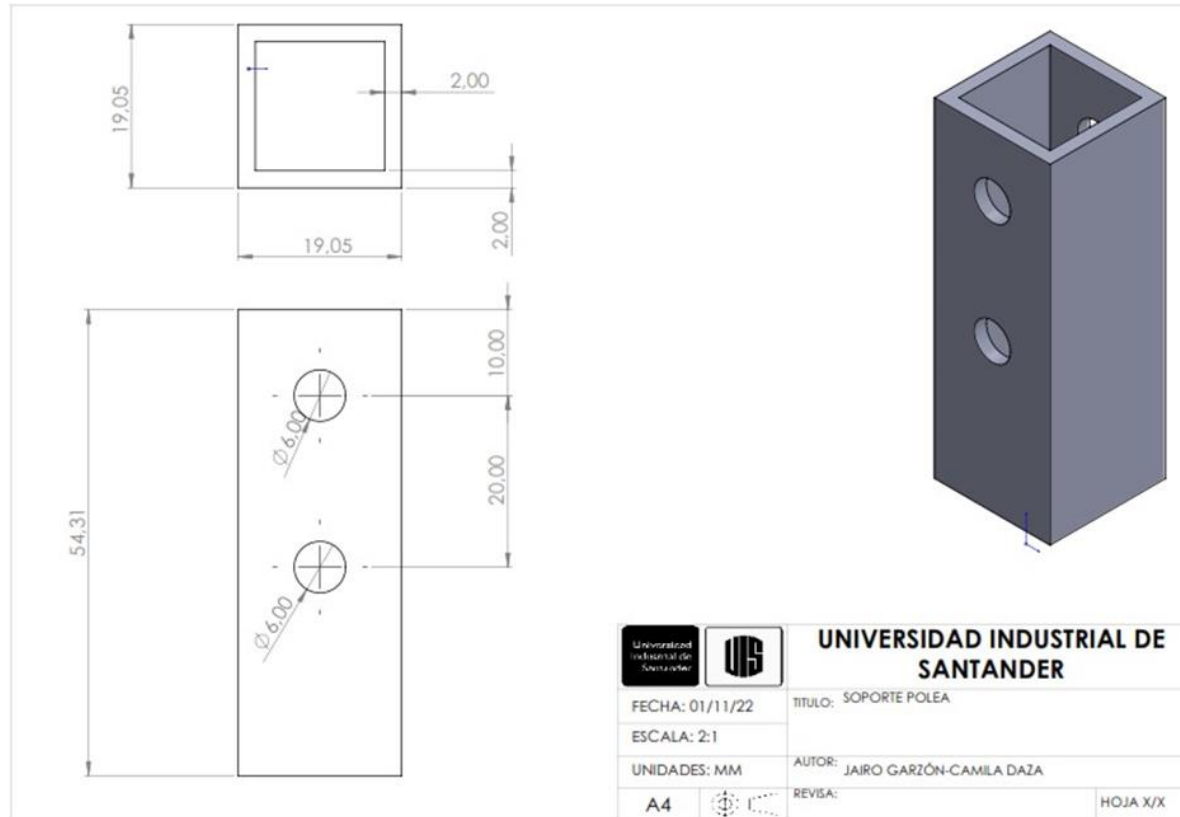


Figura A4. Vista posterior del soporte inferior

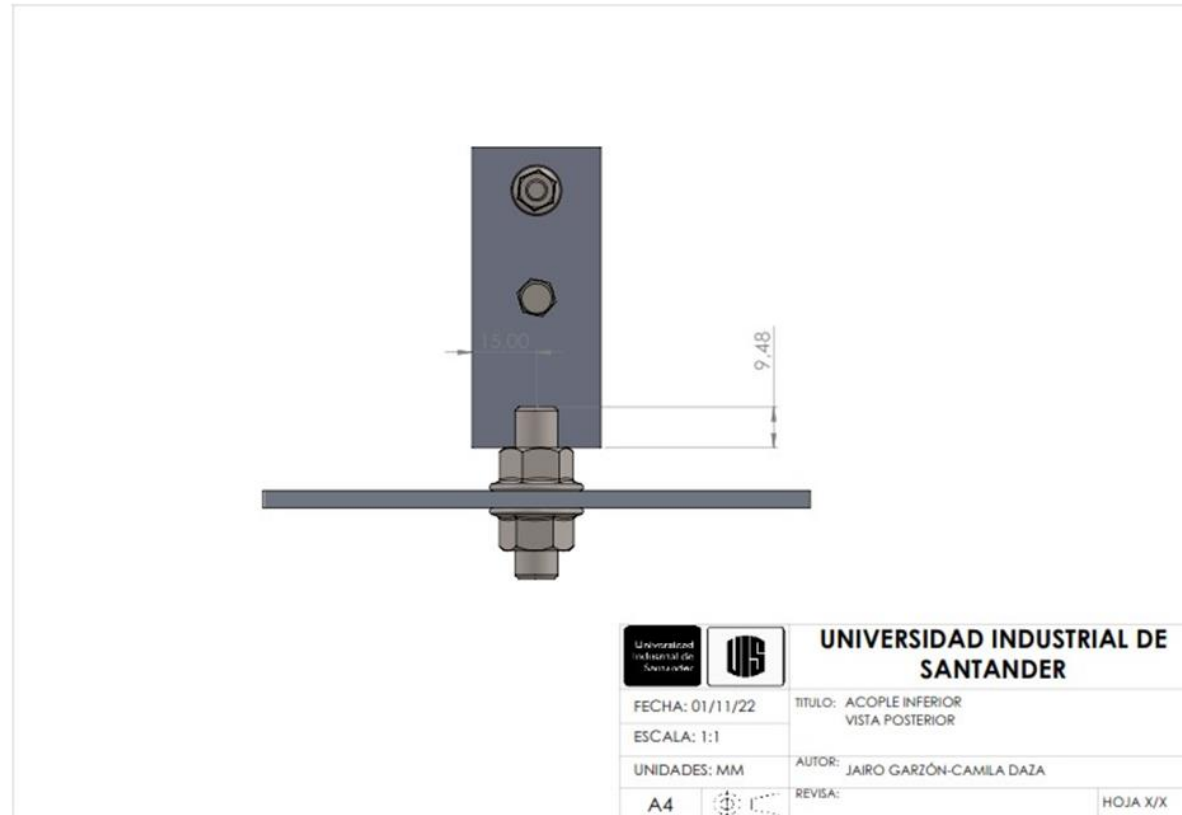


Figura A5. Placa base para el acople inferior

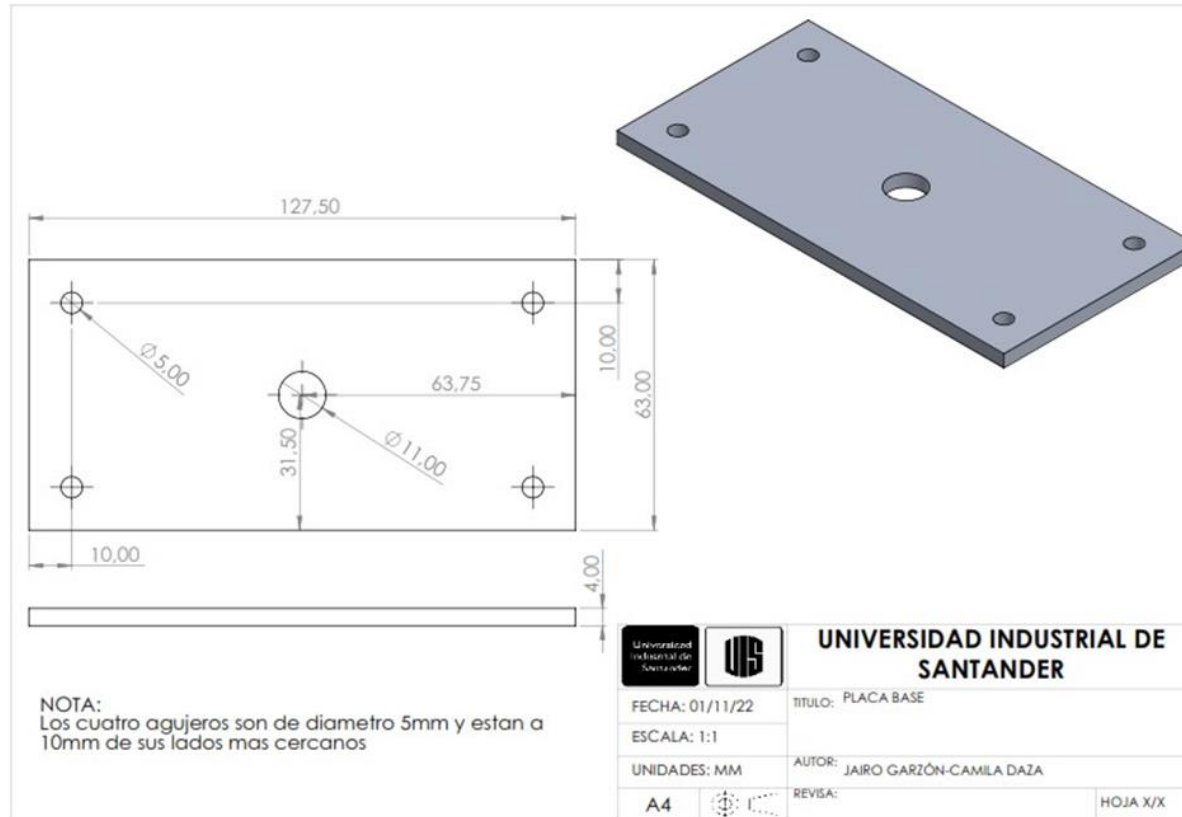
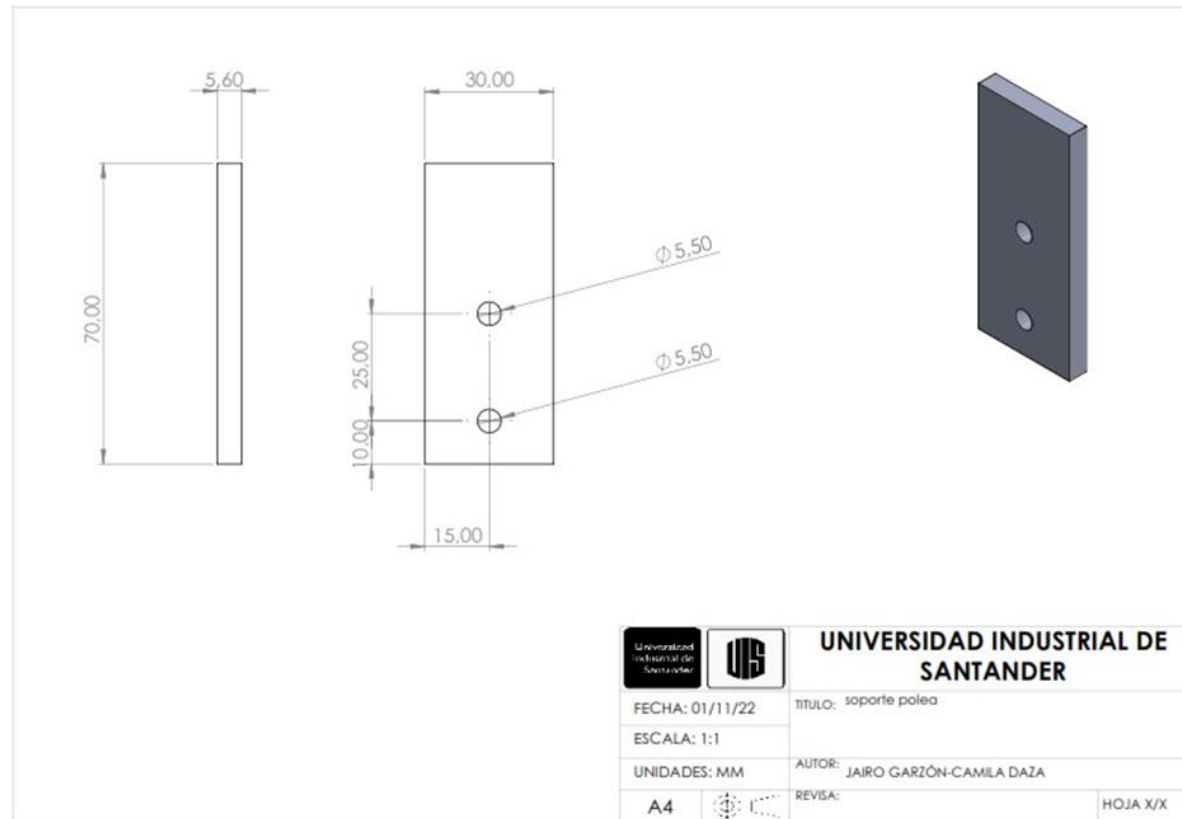


Figura A6. Soporte de la polea para el acople inferior



Anexo B. Código en Matlab utilizado para el análisis del modelo

```

clear all, close all, clc
Datos
corte=30007
x = (A(1:corte,1) - A(1,1))*10 +1 ;      % Datos experimentales de deformación
Yexp = A(1:corte,2) - A(1,2);          % Datos Experimentales de esfuerzo
figure()
plot(x,Yexp)
Modelo =@(xx,p) p*(+xx.^2-xx.^(-1));
x0 = .2;
error = @(mu) (Yexp - Modelo(x, mu))*(Yexp - Modelo(x, mu));
mu_optimo = lsqnonlin(error,x0)
%error =fun(0.5)

%Polinomio
% pp = polyfit(x,Yexp,3);
% f = polyval(pp,x);
% plot(x,Yexp,'o',x,f,'-')

plot(x, Yexp,'o'), hold all
plot(x,Modelo(x,mu_optimo),'r-')

%=====
xe = 1:0.01:1.1;
Modelo2 =@(p,x) p*(x.^2-x.^(-1));
sal2 = Modelo2(mu_optimo,xe);

figure()
plot(x,Yexp), hold all
plot(xe,sal2)
legend('Datos','modelo ajustado')

```