

**Diseño y fabricación de un empaque para almacenamiento mediante impresión 3D en
resina (PLA) reforzada con fibras de hoja de piña**

Jehinson Fabian Camargo romero

Adrian Fernando Calderon Maldonado



**Trabajo de grado presentada para optar al título de
Ingeniero Mecánico**

Universidad Pontificia Bolivariana

Escuela de Ingenierías

Ingeniería Mecánica

Bucaramanga

2025

**Diseño Y Fabricación De Un Empaque Para Almacenamiento Mediante Impresión 3d En
Resina (Pla) Reforzada Con Fibras De Hoja De Piña**

Jehinson Fabian Camargo romero

Adrian Fernando Calderon Maldonado

**Trabajo de grado presentado para optar al título de
Ingeniero Mecánico**

Director

Dr. Rolando Enrique Guzmán López

Universidad Pontificia Bolivariana

Escuela de Ingenierías

Ingeniería Mecánica

Bucaramanga

2025

Contenido

Introducción	14
Planteamiento del problema	15
Justificación.....	17
Antecedentes	18
Objetivos	20
Objetivo general	20
Objetivos específicos.....	20
Marco teórico	21
Aspectos generales	21
La piña	21
Procedimientos de desfibrado	22
Materiales compuestos.....	24
Materiales compuestos por fibras	24
Impresoras 3D	26
Impresora de resina.....	26
Resina para impresión en 3D.....	27
Funcionamiento de la impresora 3D de resina.....	28
Máquina de ensayos universal	30
Modelamiento micromecánica.....	31
Homogeneización.....	31
Elemento de Volumen Representativo (RVE).....	31
Teorías de campo medio.....	31

	4
Método Eshelby.....	32
Método Mori-Tanaka.....	32
Método de Elementos Finitos (MEF).....	32
Planteamiento de alternativas	33
Diseño y desarrollo de un empaque en resina 3d para huevos con refuerzo de fibras naturales de piña	33
Objetivo	33
Fases del proceso	33
Identificación de las necesidades.....	33
Generaciones de conceptos	34
Evaluación de materiales.....	34
Diseños CAD.....	34
Prototipado y pruebas.....	34
Criterios de elección.....	34
Diseño y desarrollo de un estuche para gafas hechas en 3D reforzado con fibras naturales	35
Objetivo	35
Fases del proceso	35
Identificación de las necesidades.....	35
Generaciones de conceptos	35
Evaluación de materiales.....	35
Diseños CAD.....	35
Prototipado y pruebas.....	36
Criterios de elección.....	36

Diseño y desarrollo de un empaque para embalar computadores nuevos reforzado con fibras naturales.....	36
Objetivo	36
Fases del proceso	36
Identificación de las necesidades.....	36
Generaciones de conceptos	37
Evaluación de materiales.....	37
Diseños CAD.....	37
Prototipado y pruebas.....	37
Criterios de elección.....	37
Matriz de selección de conceptos.....	38
Elección para empaque de huevos	38
Elección para estuche de gafas.....	38
Selección de un empaque para computadores.....	39
Metodología	40
Recolección y preparación de muestras.....	40
Selección de muestras de fibras naturales.....	40
Obtención de polímero PLA	40
Limpieza de impurezas	40
Corte de fibras.....	40
Proceso de alcalinización.....	40
Preparación de solución alcalina.....	40
Sumergir las fibras en solución alcalina.....	40

	6
Agitación periódica	40
Parámetros de funcionamiento y manufactura.....	41
Análisis de parámetros	41
Fabricación de filamentos 3D	41
Evaluación de viabilidad de los filamentos.....	41
Análisis morfológico	41
Preparación de muestras para análisis.....	41
Observación con microscopía electrónica de barrido (SEM)	41
Conclusiones y recomendaciones	41
Resumen de resultados y conclusiones	41
Recomendaciones para futuras investigaciones	41
Obtención de las fibras naturales a partir de la piña	42
Materia prima.....	42
Caracterización morfológica de las fibras de piña.....	43
Tratamiento de alcalinización de fibras de piña.....	43
Caracterización física y morfológica	47
Preparación de las fibras	47
Fracción de peso en la matriz	49
Preparación y análisis de la impresora 3d	50
Desarrollo del modelo geométrico de las probetas	51
Fabricación aditiva de las probetas a ensayar	52
Análisis de ensayos de tensión de las fibras naturales de piña	57
Prueba #1	57

	7
Prueba #2	57
Prueba #3	58
Prueba #4	58
Prueba #5	59
Fabricación del prototipo	59
Análisis de resultados	66
Resultados probetas PLA	66
Resultados probetas PLA+PALF	67
Modo de ensayo.....	69
Conclusiones	71
Recomendaciones	73
Referencias	74

Lista de Tablas

Tabla 1. Matriz con criterios de selección al mejor concepto	38
Tabla 2. Matriz con criterios de selección al mejor concepto.....	38
Tabla 3. Matriz con criterios de selección al mejor concepto	39
Tabla 4. Tratamiento superficial a través de la alcalinización	49

Lista de Figuras

Figura 1. La piña	21
Figura 2. Zonas de caracterización de zonas de producción de piña en Colombia	23
Figura 3. Ejemplificación de materiales compuestos	24
Figura 4. Tipos de materiales compuestos	25
Figura 5. Impresora de resina y de filamento 3D	26
Figura 6. Impresora de resina 3D creality halot one pro	27
Figura 7. Resina polimérica de impresión 3D creality Blanco.....	28
Figura 8. Funcionamiento de una impresora de resina 3D.....	29
Figura 9. Máquina de ensayos universal	30
Figura 10. Recolección de pencas de piña para procesarlas para hacer fibras.....	42
Figura 11. Fibras de piña.....	43
Figura 12. Preparación de las fibras de piña para proceso de alcalinización	44
Figura 13 Muestras de concreción de Hidróxido de sodio (NaOH).....	44
Figura 14. Fibras sumergidas en hidróxido de sodio con agua en diferentes concentraciones	45
Figura 15. Muestra, pasadas 24 horas del proceso de alcalinización	46
Figura 16. Fibras secadas manualmente.....	46
Figura 17. Fibras tras secado en horno.....	47
Figura 18. Representación para diseño de probetas para ensayo	51
Figura 19. Tipos de probeta por la norma ASTM D638	52
Figura 20. Preparación de la impresora para impresión de probetas de ensayo.....	53
Figura 21. Inicio del proceso de impresión	54
Figura 22. Probetas realizadas con fibras y sin sibras de piña para ensayos.....	55

Figura 23. Ensayo de tensión con las probetas.....	55
Figura 24. Ruptura de una probeta en ensayo de tensión.....	56
Figura 25. Muestras de los ensayos de tensión sin fibras naturales	56
Figura 26. Grafica Tensión Vs deformación de probeta con fibras naturales de piña.....	57
Figura 27. Grafica Tensión Vs deformación de probeta con fibras naturales de piña.....	57
Figura 28. Grafica Tensión Vs deformación de probeta con fibras naturales de piña.....	58
Figura 29. Grafica Tensión Vs deformación de probeta con fibras naturales de piña	58
Figura 30. Grafica Tensión Vs deformación de probeta con fibras naturales de piña.....	59
Figura 31. Diseño de empaque para huevos hecho en SOLIDWORKS	60
Figura 32. Medidas para empaque de huevos	60
Figura 33. Modelo transferido en el laminador Lycheeslicer.....	61
Figura 34. Parámetros del laminador para impresión del empaque	62
Figura 35. Proceso de acondicionamiento para iniciar la impresión.....	63
Figura 36. Modelo finalizado la impresión	64
Figura 37. Modelo tras procedimiento de secado y limpiado	65
Figura 38. Primer ensayo de carga Vs Tensión de probeta con fibras de piña.....	66
Figura 39. Segundo ensayo de carga Vs Tensión de probeta con fibras de piña.....	67
Figura 40. Parámetros tras simulaciones del material en software ANSYS	68
Figura 41. Datos extraídos de los resultados.....	68
Figura 42. Imagen de una muestra de la probeta con fibras naturales bajo microscopio de barrido electrónico	69
Figura 43. Segunda Imagen de una muestra de la probeta con fibras naturales bajo microscopio de barrido electrónico	70



Resumen general de trabajo de grado en español

TITULO: Diseño y fabricación de un empaque para almacenamiento mediante impresión 3D en resina (PLA) reforzada con fibras de hoja de piña

AUTORES: Jehinson Fabian Camargo romero
Adrian Fernando Calderon Maldonado

PROGRAMA: Ingeniería Mecánica

DIRECTOR: Dr. Rolando Enrique Guzmán López

RESUMEN

Se diseñó un empaque hecho con un material compuesto hecho a base de la resina para impresión 3D como una matriz definida y con fibras naturales de piña como refuerzos para la estructura del compuesto. Este, con el fin de elaborar un empaque para almacenar huevos, dando una alternativa al uso de empaques tradicionales de cartón prensado o plástico, esto en toda la estructura propuesta para el prototipo. Para una simulación más práctica se realizó bajo la norma ASTM D638 para probetas con variación en la cantidad de fibras que se adiciono en el compuesto. Adicionalmente a estos ensayos, se realizaron pruebas y caracterizaciones en la morfología bajo un microscopio de barrido electrónico con la finalidad de comprender mejor la estructura de este. Para todo este proyecto se utilizaron fibras de piña extraídas naturalmente para no llegar a contaminar o perjudicar las propiedades que posee la resina de impresión de fábrica. Estas fibras pasaron además de ello, por un proceso químico de alcalinización y neutralización del PH para disminuir las probabilidades de que las muestras bajo reacciones al contacto con la resina disminuyan sus propiedades, se pulverizaron y llegaron a tamaños muy reducidos para que no genere interferencias las fibras con el proceso de impresión. Los resultados dejaron en evidencia grandes observaciones tales como las condiciones a las que se tengan las fibras, el tipo de resina que se usa, la tendencia a absorber resinas por parte de las fibras y demás factores que se deben de tomar en cuenta a la hora de analizar este tipo materiales compuestos.

PALABRAS CLAVE:

Fibra de piña, impresión 3D, Resina, Materiales compuestos, tensión

Vº Bº DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO



General summary of work of grade

TITULO: Design and Manufacture of Storage Packaging Using 3D Printing in Resin (PLA) Reinforced with Pineapple Leaf Fibers.

AUTHORS: Jehinson Fabian Camargo romero
Adrian Fernando Calderon Maldonado

FACULTY: Mechanical Engineering

DIRECTOR: Dr. Rolando Enrique Guzmán López

ABSTRACT

A package was designed using a composite material based on 3D printing resin as the defined matrix, reinforced with natural pineapple fibers to strengthen the structure of the composite. The purpose of this was to develop packaging for storing eggs, providing an alternative to traditional pressed cardboard or plastic packaging, applied throughout the proposed prototype structure. For a more practical simulation, tests were carried out according to the ASTM D638 standard on specimens with varying amounts of fibers added to the composite. In addition to these tests, morphological characterizations were performed using a scanning electron microscope to better understand the structure. For the entire project, pineapple fibers were naturally extracted to avoid contaminating or compromising the inherent properties of the original 3D printing resin. Furthermore, these fibers underwent a chemical process of alkalization and pH neutralization to reduce the likelihood of adverse reactions when in contact with the resin, which could otherwise decrease the material's properties. The fibers were then pulverized to very small sizes to prevent interference during the printing process. The results revealed significant findings, such as the influence of fiber conditioning, the type of resin used, the fibers' tendency to absorb resin, and other factors that must be considered when analyzing this type of composite material.

KEYWORDS:

pineapple fiber, 3D printing, resin, composite materials, tension

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

Introducción

En un mundo cada vez más consciente de los retos medioambientales, la búsqueda de soluciones sostenibles se ha convertido en una prioridad clave. La industria del empaque, en particular, se enfrenta a un reto importante debido al uso masivo de plásticos no biodegradables, que generan residuos que persisten durante siglos en el medio ambiente. Este proyecto consiste en el diseño y fabricación de envases de almacenamiento mediante impresión 3D con resina de ácido poliláctico (PLA) como matriz, reforzada con fibras naturales, en particular fibras de piña.

El PLA, un bioplástico derivado de fuentes renovables, tiene claras ventajas sobre los plásticos convencionales porque es biodegradable y menos dañino para el medio ambiente. No obstante, su resistencia mecánica y durabilidad son limitadas, lo que restringe su aplicación en productos que requieren mayor firmeza. Por ello, la incorporación de fibras naturales como las de piña pretende mejorar las propiedades mecánicas del PLA sin comprometer su biodegradabilidad. Además, las fibras de piña, elaborados a partir de subproductos de la producción agrícola, representan una alternativa sostenible que promueve la valorización de residuos agroindustriales, reduciendo el impacto ambiental y fomentando el uso de recursos locales.

Este proyecto forma parte del macroproyecto BIC08M, que evalúa la viabilidad de fabricar envases agrícolas y alimentarios mediante tecnologías de impresión 3D con materiales biodegradables como el bagazo de caña de azúcar. Con esta investigación pretendemos no sólo contribuir a reducir el impacto ambiental asociado a los envases tradicionales, sino también explorar innovaciones tecnológicas que transformen la forma de diseñar y fabricar envases, generando un impacto positivo tanto en el medio ambiente como en las comunidades productoras.

Planteamiento del problema

Actualmente, la crisis ambiental originada por el uso excesivo de plásticos no biodegradables ha intensificado la búsqueda de alternativas sostenibles en diversos sectores, siendo el de los empaques uno de los más críticos. Estos, siendo fabricados a partir de derivados del petróleo, ocasionan una gran cantidad de residuos que tardan siglos en degradarse, contribuyendo significativamente a la contaminación terrestre y marina.

Una novedosa solución en la industria es el uso de materiales biodegradables, como el ácido poliláctico (PLA), un bioplástico obtenido de fuentes renovables. No obstante, el PLA presenta limitaciones importantes en términos de resistencia mecánica y durabilidad, lo que condiciona su aplicación en productos que requieren mayor firmeza (Granados Pérez y Aguillón Mayorga, 2019). En este contexto, el refuerzo del PLA con materiales naturales, como las fibras de fique, hacen de ello una opción sugestiva para mejorar sus propiedades mecánicas sin implicar su carácter biodegradable.

Las fibras de piña han demostrado ser una opción viable para reforzar materiales poliméricos debido a su alto contenido de celulosa (70-82%) (Ananas-anam, s.f.), su resistencia mecánica y su disponibilidad como subproducto agroindustrial. Investigaciones previas han demostrado que la incorporación de estas fibras en matrices poliméricas mejora significativamente las propiedades mecánicas del material compuesto, como el módulo de tracción y la resistencia a la flexión. Además, estudios han confirmado que la interacción entre el PLA y las fibras de piña es favorable, mejorando la adhesión entre la matriz y el refuerzo, lo que contribuye a una mejor distribución de las cargas mecánicas (Gómez Martínez y Giner Soler, s.f.).

Esta combinación de materiales no solo optimiza el desempeño del PLA en aplicaciones de empaque, sino que también fomenta la reducción de desechos agrícolas y promueve el uso de alternativas sostenibles en la industria de los materiales compuestos.

Justificación

La preocupación global va en aumento por la acumulación de residuos plásticos no biodegradables, lo que ha ocasionado una urgencia en la búsqueda de alternativas sostenibles que mitiguen el impacto ambiental asociado al uso de materiales derivados del petróleo. Uno de los sectores más afectados por este problema es la industria del empaquetado, culpable de una gran cantidad de desechos plásticos de un solo uso que tarda décadas en degradarse. Ante este panorama, este proyecto se justifica por su aporte al desarrollo de empaques más sostenibles mediante el uso de materiales biodegradables y técnicas de fabricación avanzada.

La utilización de ácido poliláctico (PLA), un bioplástico derivado de fuentes renovables, nos ofrece una alternativa prometedora frente a los plásticos derivados del petróleo. No obstante, el PLA presenta limitaciones en términos de resistencia mecánica, lo que limita su aplicación en productos que demandan una mayor durabilidad. Adicionalmente, se propone la incorporación de fibras de hoja de piña (PALF) como refuerzo natural en la matriz del PLA, buscando mejorar sus propiedades mecánicas y resistencia estructural; su desarrollo representa una alternativa sostenible, además de fomentar la agricultura local y la generación de empleo, generando un beneficio para las comunidades de producción local.

Adicionalmente, el presente proyecto se enmarca en el proyecto de investigación titulado: macroproyecto BIC08M, Evaluación De La Viabilidad De La Fabricación De Empaques Agrícolas Y/O Alimenticios Por Medio Impresora 3d Usando Bagazo De Caña De Azúcar.

Antecedentes

En un estudio sobre el desarrollo de biocompuestos desarrollado por Infante-Alfaro, A. en el 2021, se exploró la incorporación de fibras de hoja de piña en una matriz de ácido poliláctico (PLA) con el fin de mejorar sus propiedades mecánicas y térmicas. Se realizaron formulaciones con diferentes proporciones de fibra (2%, 6%, 11% y 22%) y se caracterizaron mediante pruebas físicas, térmicas y microscópicas.

Los resultados revelaron que la adición de fibra de piña aumentó notoriamente la resistencia mecánica del material compuesto, sin afectar de manera negativa su biodegradabilidad. Además, se observó una buena dispersión de la fibra en la matriz polimérica, lo que favoreció la transferencia de tensiones y la estabilidad térmica del material. A través de microscopía electrónica de barrido (SEM) y análisis térmicos (DSC), se comprobó la adherencia entre la fibra y la matriz, evidenciando una interacción adecuada entre ambos componentes.

El estudio de Estrada, M., Segre, D. L. L., & Ramirez, F. (s.f.) examina la aplicabilidad de diversas teorías de campo medio para la homogeneización de materiales compuestos reforzados con fibras. El planteamiento se centra en el modelo micro mecánico de Mori-Tanaka, basado en la teoría de inclusión equivalente de Eshelby, como método para calcular las propiedades efectivas de un material compuesto con inclusiones elipsoidales. Además, el estudio examina la teoría de mezclas y el modelo de Mori-Tanaka en simulaciones numéricas para materiales compuestos con diferentes relaciones de aspecto y fracciones volumétricas de refuerzo, obteniendo como resultado que la teoría de mezclas puede considerarse un caso particular del modelo de Mori-Tanaka en situaciones específicas, como cuando se emplean fibras continuas con alta relación de aspecto.

En el estudio titulado “Evaluación de propiedades elásticas de la fundición nodular empleando micromecánica computacional” (Rodríguez et al., 2015), se indaga en el uso de teorías de modelado micro mecánico para caracterizar las propiedades mecánicas de la fundición nodular, un material compuesto por una matriz y nódulos de grafito. Este trabajo hace uso de la homogeneización asintótica junto con el método de elementos finitos para calcular propiedades como el módulo de Young y el coeficiente de Poisson. El estudio demuestra la importancia del Elemento de Volumen Representativo (RVE) y cómo su tamaño puede influir en la precisión de las simulaciones al representar de manera eficiente la microestructura del material.

Las teorías utilizadas en el estudio permiten predecir de forma precisa el comportamiento elástico de materiales compuestos, lo que es aplicable al refuerzo de fibras naturales, como el fique, en materiales impresos en 3D.

Objetivos

Objetivo general

Diseñar empaques para almacenamiento mediante impresión 3D por manufactura aditiva (MA) utilizando un material compuesto, biopolímero (PLA) reforzado con fibras de hoja de piña según los lineamientos estipulados en el proyecto BIC-008-0822-F4M.

Objetivos específicos

- Diseñar conceptualmente el empaque de almacenamiento mediante la herramienta de diseño CAD (SolidWorks).

Indicador: Parámetros de diseño del empaque

Resultado: Planos CAD de la mejor alternativa de solución

- Fabricar el empaque por medio de la impresora 3D de marca Creality Halot-One, que dispone la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga.

Indicador: Especificaciones técnicas (diseño de detalle).

Resultado: Prototipo impreso del empaque.

- Simular mediante el método de elementos finitos (FEM) un volumen representativo (RVE)/modelo analítico del material compuesto utilizado en la fabricación 3D del prototipo.

Indicador: Modelo analítico / Modelo RVE

Resultado: Propiedades elásticas efectivas del modelo numérico (Modulo de Young, módulo cortante, Relación de Poisson)

- Caracterización mecánica y morfológica de las fibras y la matriz del material compuesto para la fabricación de un empaque mediante la adición de material para dicho resultado.

Marco teórico

Aspectos generales

La piña

(ananás comous meer), Es una fruta tropical proveniente de las zonas tropicales amazónicas siendo estas consideradas como especies rurales, poco complejas para producir. Una de las características que posee es la inflorescencia, esto se ve reflejado a medida que crece la planta con un margen de entre treinta y sesenta días de forma aproximada.

Existe una gran variedad, lo que conlleva a que los frutos tomen diferentes formas desde una estructura cilíndrica a una más asemejada a una piramidal (Corporación de Promoción de Exportaciones e Inversiones de Ecuador[CIC – CORPEI], 2003).

Figura 1.

La piña



Nota. Adaptada de: Acosta, M. B. (2024). *Cuánto tarda en crecer una piña* [Imagen].

EcologíaVerde. <https://www.ecologiaverde.com/cuanto-tarda-en-crecer-una-pina-3213.html>

Ha desempeñado un papel significativo en la historia del arte y la ornamentación arquitectónica debido a su simbolismo asociado con la hospitalidad, el estatus y la prosperidad. Desde el periodo renacentista, su morfología ha sido representada en esculturas, frisos y

elementos decorativos, destacando su carácter exótico y su rareza en regiones europeas durante la época colonial. En la pintura barroca, la piña fue recurrentemente incorporada en naturalezas muertas como un símbolo de abundancia y lujo. Asimismo, su estructura geométrica ha sido objeto de estudio en el diseño y la estética, dado que su patrón de crecimiento sigue la secuencia de Fibonacci, lo que la convierte en un referente en el análisis de la proporción áurea dentro del arte y la arquitectura.

Procedimientos de desfibrado

Para la obtención de fibras naturales cambian según cual se desee obtener, esto tomando en cuenta las cualidades de la planta. Esto a su vez dentro de la gran variedad de especies que se encuentran en el territorio nacional.

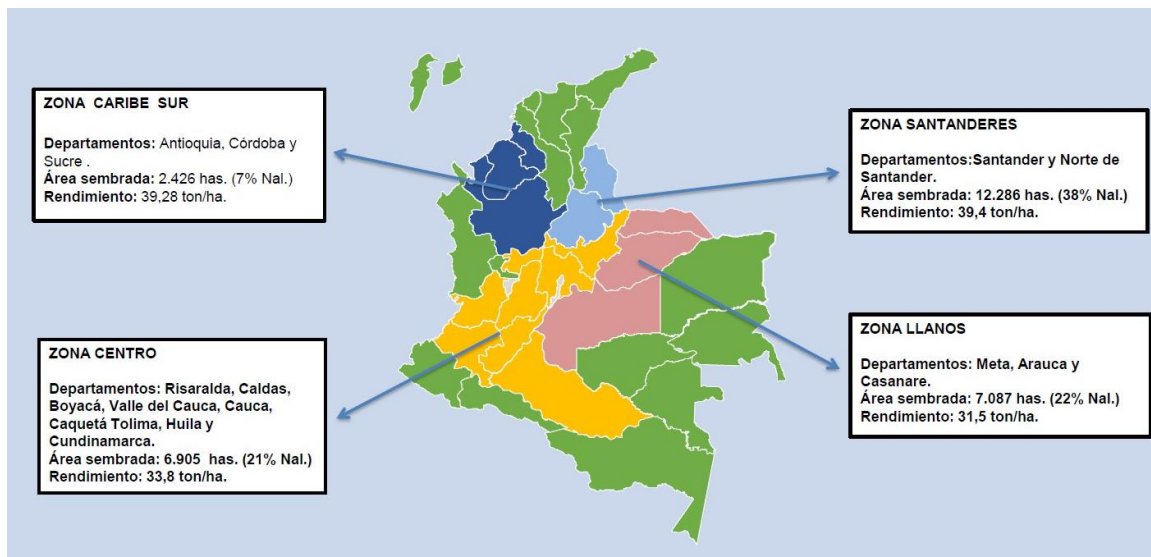
Dependiendo de las regiones estas se conocen de diferentes maneras como lo son Corona de piña, Hojas de piña, Penacho o cogollo de la piña. Estas actualmente han tenido un impacto y auge en diferentes sectores como lo son la industria textil y la de los empaques biodegradables. Esto gracias a sus características mecánicas, su densidad más baja a comparación de la fibra de fique usada comúnmente.

En Colombia se producen en aproximadamente 12 departamentos de todo el territorio nacional; Santander, Meta y Valle del Cauca son los mayores productores representando un 65% total de las áreas sembradas, siendo Santander el que genera mayor producción con un 43% Continuando con un 14% perteneciente al valle del cauca y un 12% correspondiente al Meta (Granados Pérez y Aguillón Mayorga, 2019).

Figura 2.

Zonas de caracterización de zonas de producción de piña en Colombia

Nota. Adaptada de : Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2019). *Cifras*



sectoriales: *Cadena de la piña* [PDF]. SIOC – Sistema de Información de Cadenas

Agropecuarias. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Pasifloras/Documentos/2019-06-30%20Cifras%20Sectoriales%20PI%C3%91A.pdf>

En Colombia el procesamiento de fibras de piña no ha sido tan álgido como otras fibras vegetales en el mercado, por lo que su obtención y sus métodos de extracción no han sido diferentes a los usados para la extracción de otras fibras. También, su uso ha sido enfocado hacia otro sector como lo es el campo textil, creación de papeles a base de fibras de piña y fabricación de bolsas biodegradables para su uso en reemplazo de bolsas plásticas de un solo uso.

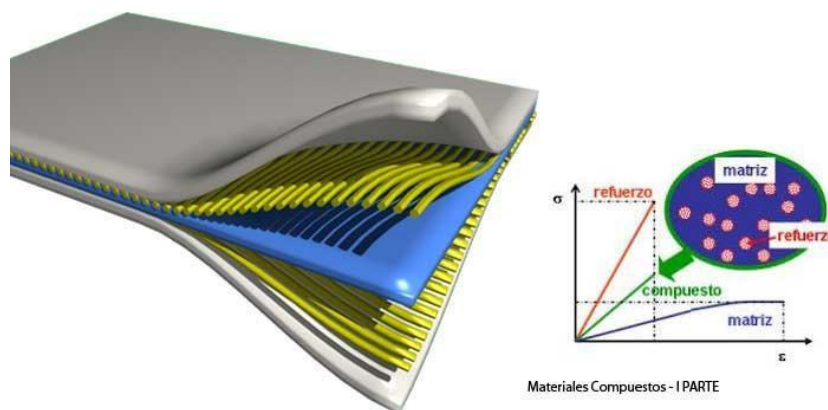
A diferencia de las empresas líderes en fibras vegetales de fique, las de piña no son un atractivo para las grandes industrias. Sin embargo, un número reducido de marcas en Filipinas han implementado el uso de la “Piñatex”, el cual es a base de fibras de piña (Ananas-anam, s.f).

Materiales compuestos

Se designa como *Materiales Compuestos* los formados por la unión íntima de dos o más componentes para optimizar las propiedades de la combinación. (X) dichas combinaciones buscan obtener mejores propiedades físicas y químicas de cada material por separado. Entre estos casos se puede lograr mejores resistencias mecánicas como la durabilidad, la disminución de peso o ligereza, entre otros.

Figura 3.

Ejemplificación de materiales compuestos



Nota. Tomado de: Ingeniería SAMAT. (≈ 2019). *Cálculo por elementos finitos de materiales compuestos* [Imagen]. Ingeniería SAMAT. <https://ingenieriasamat.es/blog/calculo-elementos-finitos-composites/>

Este tipo de materiales en general se forman con una base o matriz que la encargada de mantener unido cada uno de los componentes y otro como un refuerzo. Encargado de otorgar propiedades adicionales como las mencionadas anteriormente.

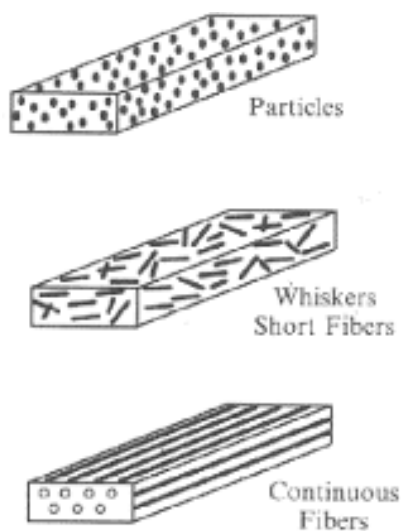
Materiales compuestos por fibras

Son el producto de la fusión o unión de dos o más materiales tanto sintéticos como de origen natural, esto con la finalidad de formar matrices con propiedades versátiles dadas las condiciones y necesidades las cuales se hagan. Esto dando mejoras en la capacidad térmica,

rigidez, ductilidad, flexibilidad, resistencias mecánicas, entre otras. Con el valor adicional de generar un bajo impacto en términos ecológicos y económicos en algunos casos. En otros aspectos, las fibras a la hora de realizarse análisis de estos compuestos, se logra apreciar que estas matrices se comportan de diferentes orientaciones lo que implica que los estudios y comportamientos del material actuara de diversas formas según estas acomodadas (Universidad Rey Juan Carlos, s.f.).

Figura 4.

Tipos de materiales compuestos



Nota. Tomado de: Chawla, K. K. (1993). Introduction. In *Ceramic Matrix Composites* (pp. 1–10). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-2216-1_1

Para el primer se observa una matriz con adición de material en forma de partículas. En este tipo de matrices las fibras son más accesibles a la hora de procesarlas y mezclarlas para formar el compuesto. Esto también hace que al estar en forma de material particulado puedan ayudar a reducir el peso del compuesto. Sin embargo, tiene ciertas desventajas a considerar esta forma de adición de las fibras y la primera es que tienen a absorber aún más la humedad ya que

al contener celulosa lignina causa estos efectos, al igual que puede generar una mayor degradación térmica por las mismas fibras presentes.

Para el primer caso se observa una matriz con adición de tipo particulado, en el segundo se observa una matriz de tipo discontinuo y el último caso se tiene una matriz de tipo continua.

Impresoras 3D

Son dispositivos con la capacidad de diseñar piezas u objetos en 3 dimensiones a partir de documentos o archivos hechos en un software CAD (diseño asistido por computadora), Generalmente estas máquinas crean las piezas capa por capa, ya que es el método más común usado tanto en impresoras FDM como SLA (Hellbot Academia, s.f.).

Figura 5.

Impresora de resina y de filamento 3D



Nota. Tomado de: Redacción HardZone. (2022, 12 de junio). Filamento o Resina en una Impresora 3D: ¿qué material escoger? HardZone.

<https://hardzone.es/noticias/perifericos/impresora-3d-filamento-resina/>

Impresora de resina

Son equipos con la capacidad de funcionar mediante la tecnología de láseres UV con la capacidad de solidificar las resinas fotosensibles capaces de provocar la polimerización y

endurecimiento, esto creando capas sólidas para crear los modelos o piezas previamente seleccionadas. El proceso que realizan estos dispositivos es diferente al usado en las impresoras de filamento, ya que las previamente mencionadas se realiza mediante la extracción de material, en estas se hace por medio de la superposición de capas (Gómez Martínez y Giner Soler, s.f.).

Los componentes de las impresoras de resina son los siguientes: Interruptor de encendido, pantalla LCD, plataforma de impresión junto con un eje acoplado a un motor, recipiente o tanque de almacenamiento para la resina y una tapa (Hellbot Academia, s.f.).

Figura 6.

Impresora de resina 3D creality halot one pro



Resina para impresión en 3D

Las resinas para la impresión en 3D son materiales líquidos compuestos por monómeros y polímeros fotosensibles capaces de solidificarse al entrar en contacto con los rayos ultravioleta. Muchas de estas resinas ofrecen grandes capacidades y son muy versátiles a la hora de compararlas con los termoplásticos estándar, por sus propiedades mecánicas y térmicas.

Figura 7.

Resina polimérica de impresión 3D creality Blanco.



Nota. Tomado de: Macrotec SRL. (s.f.). *Resina Creality Standard 500 g Plus para impresoras 3D* [Página de producto]. Macrotec. <https://www.macrotec.com.uy/resina-creality-standard-500g-plus-para-impresoras-3d>

Gracias a esto, muchos sectores han optado por utilizar esta tecnología como lo ha sido el sector de la salud, desde la posibilidad del uso en el espectro odontológico como en las asistencias sanitarias y algunos procedimientos médicos.

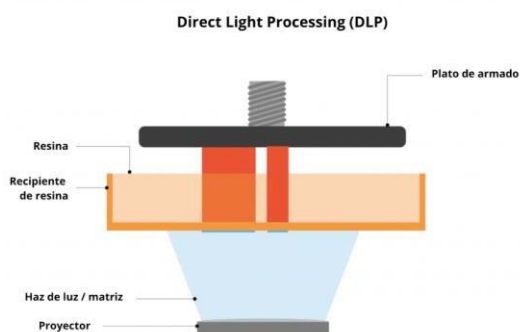
Funcionamiento de la impresora 3D de resina

Como bien se abordó anteriormente en las impresoras, se procede a comprender su funcionamiento que consiste en el siguiente. Inicialmente se realiza el llenado de la resina en el tanque para su correcto funcionamiento, Posteriormente se procede a cargar el archivo o pieza que se va a realizar, la impresora posee un software para poder facilitar este proceso; la maquina procede a descender hasta cubrir la superficie de adhesión para iniciar el proceso quedando parcialmente sumergida en la resina (Hellbot Academia, s.f.).

Con el proceso iniciado, la impresora procede a realizar el modelo con un proceso y superposición de capas previamente establecido en un software especializado para eso. La fuente de rayos UV dentro va dibujando el patrón, lo que choca con la resina la cual posee un compuesto fotosensible que reacciona solidificándolo en el proceso.

Figura 8.

Funcionamiento de una impresora de resina 3D



Nota. Tomado de: Academia by Hellbot. (s.f.). *Imagen explicativa de la tecnología DLP* [Imagen]. Academia by Hellbot. <https://academia.hellbot.xyz/lecciones/que-necesito-para-iniciar/>

La técnica DLP (Digital Light Processing), es una de las variantes del proceso SLA (stereolithography), se utiliza de la misma forma, sin embargo, el proceso por el que pasa es más rápida, creando piezas u objetos de manera más eficiente, a su vez que creando mejores detalles que logran generar una diferencia notable entre estas (Hellbot Academia, s.f.).

En muchos casos, se requieren diferentes equipos con tecnologías diversas, esto con el fin de facilitar, diversificar y optimizar procesos a la hora de fabricar bajo el modelo de la impresión 3d. Para este proyecto se utilizarán métodos para diseñar empaques a base de resinas reforzadas con fibras, lo cual genera nuevos campos de acción y de uso. Mas allá de los ya conocidos,

ampliando la gama de aplicaciones que pueda llegar a tener tanto en la composición de las resinas, como de las piezas hechas.

Máquina de ensayos universal

La máquina universal de ensayos consta de dos cabezales móviles, un cilindro hidráulico para aplicar la carga, una celda de carga para medir la fuerza aplicada, un panel de control y un extensómetro para medir la deformación del material ensayado (Mora Ayala, 2019).

Figura 9.

Máquina de ensayos universal



El funcionamiento de la máquina universal de ensayos se basa en la aplicación controlada de fuerza a través de un sistema motorizado que genera el movimiento necesario para realizar la prueba. La muestra se coloca en mordazas específicas o dispositivos de sujeción adecuados al tipo de ensayo que se desea realizar (Mora Ayala, 2019).

Modelamiento micromecánica

Es un planteamiento clave en la simulación de materiales compuestos y heterogéneos, se enfoca en el análisis del comportamiento de los materiales a nivel microestructural, para ello, encontramos diferentes teorías y técnicas de modelamiento.

Homogeneización: es utilizado para obtener propiedades macroscópicas de un material heterogéneo partiendo de la información de su microestructura, es decir, se busca explorar las propiedades efectivas promediando las interacciones entre sus microcomponentes, en lugar de analizar cada fibra (Rodríguez et al., 2015).

Elemento de Volumen Representativo (RVE)

Es un volumen pequeño del material que abarca todas las características relevantes de su microestructura, lo que permite representar el comportamiento macroscópico de un material sin necesidad de modelar toda su microestructura en detalle. Este debe contener una cantidad adecuada de características para interpretar el comportamiento del material en su conjunto, pero debe ser lo suficientemente pequeño para que los cálculos sean eficaces desde el punto de vista computacional (Younes, 2012).

Teorías de campo medio

Permiten abordar el comportamiento de un material compuesto logrando que las inclusiones (como partículas, fibras o poros) están incorporadas en una matriz que las rodea y que el campo de tensiones o deformaciones que ensayan es promedio, o "campo medio", originado por las demás inclusiones y la matriz. Dos de las teorías más significativas en este contexto son el método de Eshelby y el método de Mori-Tanaka (Corporación de Promoción de Exportaciones e Inversiones de Ecuador[CIC – CORPEI], 2003).

Método Eshelby

Desarrollado por J.D. Eshelby (1957) La idea fundamental del método es calcular el tensor de Eshelby, que describe cómo se distribuyen las tensiones y deformaciones dentro de una inserción y en su matriz circundante cuando se aplica una deformación o una tensión externa. El tensor de Eshelby depende de la geometría de la inclusión (elipsoide), las propiedades elásticas relativas de la matriz y la inclusión y el tipo de carga aplicada. Es más precisa para fracciones volumétricas bajas (Estrada, s.f.).

Método Mori-Tanaka

Desarrollado por los científicos T. Mori y K. Tanaka (1973) Es un complemento del método de Eshelby y este considera la influencia promedio de todas las inclusiones sobre la matriz y viceversa. Se calcula el tensor de concentración de tensiones para cada fase (tensor de Eshelby) (es preciso para fracciones volumétricas moderadas de hasta un 30-40%).

Método de Elementos Finitos (MEF)

Se basa en dividir un dominio complejo (una estructura, un material o una región de estudio) en diminutos elementos discretos de estructura regular o irregular (por ejemplo, triángulos o cuadrados en 2D; tetraedros o hexaedros en 3D). Cada componente tiene ecuaciones que detallan su comportamiento mecánico, térmico o electromagnético. Estos pequeños elementos se conectan por medio de nodos, formando una malla que abarca todo el dominio de interés. A nivel microscópico, el MEF representa cómo interactúan las etapas dentro de un RVE, y las soluciones de estos análisis se utilizan para revelar el comportamiento macroscópico del material.

Planteamiento de alternativas

Para los diseños previos y los análisis que deben realizar sobre un estudio de mercado, bajo los criterios de selección por parte del equipo se eligieron y presentaron 3 propuestas o configuraciones, las cuales, se presentaran a continuación.

- Empaque para huevos
- Empaque de embalaje para computadores portátiles
- Empaque para gafas

Dado una breve socialización entre los integrantes del proyecto junto con el director de este, se tomó la decisión por fines prácticos realizar el estudio basándose en una matriz de filtrado de conceptos para determinar cuál era más viable en términos económicos y logísticos

Diseño y desarrollo de un empaque en resina 3d para huevos con refuerzo de fibras naturales de piña

Objetivo

Diseñar un empaque para proteger los huevos, siendo ligero, apto para transportarlos de forma segura.

Produce mediante impresión en 3d agregando fibras naturales (para este proyecto se usaron fibras naturales de piña).

Fases del proceso

Identificación de las necesidades

- Absorción contra los golpes o impactos directos e indirectos
- Bajo peso
- Apilable y estable
- Bajo costo

Generaciones de conceptos

- Forma o distribución en forma de celdas individuales
- Tapa protectora (superior) (opcional)
- Incorporación de fibras durante el proceso de impresión

Evaluación de materiales

- Biodegradabilidad
- Fibras con unas buenas propiedades mecánicas para la absorción de energía y de impactos
- Compatibilidad con las normas alimenticias.

Diseños CAD

- geometrías de tipo redondas con circunferencias promedio al diámetro mínimo y máximo de un huevo
- Minimizar los soportes
- Diseño de impresión minimizando los cambios de temperatura a la hora de imprimir para evitar deformaciones en el proceso por las fibras naturales. (Warping)

Prototipado y pruebas

- Simulación de caídas y compresión del material.
- Parámetros para la correcta impresión en 3D
- Pruebas de contacto alimenticio

Criterios de elección

- Buenas propiedades mecánicas
- Apilabilidad o capacidad para crear pequeños “módulos”
- Fácil limpieza e higiene

- Costos generales

Diseño y desarrollo de un estuche para gafas hechas en 3D reforzado con fibras naturales

Objetivo

- Diseñar un empaque/estuche, rígido, ligero y cómodo para proteger, transportar y guardar las gafas de manera segura.
- Capacidad de personalizarse, resistente a impactos y a golpes, hecho con resina en 3D adicionando fibras naturales de piña.

Fases del proceso

Identificación de las necesidades

- Protección contra caídas, golpes, compresiones y rayones.
- Portabilidad y ligero
- Diseño sencillo, útil y ergonómico
- Bajo costo de producción

Generaciones de conceptos

- Caja con apertura de tipo concha o con sistema de bisagra
- Cierre por presión o magnético
- Fibras dispuestas en las zonas más críticas del diseño que pueda fallar mecánicamente

Evaluación de materiales

- Fibras naturales de piña, resina para impresión en 3D.
- Superficie interna acolchada para prevenir daños a las gafas o a los lentes.
- Buen tratamiento de postprocesos para un excelente acabado.

Diseños CAD

- Geometrías suaves para mejorar la ergonomía.

- Espacio adaptado para todo tipo de marco de gafas y tamaños.
- Detalles en el diseño 3D para añadir texturas.

Prototipado y pruebas

- Ensayos de tensión, compresión y caída para determinar buena calidad
- Pruebas de apertura y cierre prolongado para ver la capacidad de fallo de estos métodos

Criterios de elección

- Resistencia estructural y funcional
- Buena estética y personalización
- Ergonomía en mano, bolsillo y bolso
- Costos de producción
- Durabilidad del sistema de cierre

Diseño y desarrollo de un empaque para embalar computadores nuevos reforzado con fibras naturales.

Objetivo

- Diseñar un sistema de embalaje interno para proteger los computadores en el transporte y almacenamiento de estos.
- Lograr sustituir las espumas o plásticos de un solo uso por bio compuestos reutilizables y hechos en 3D.

Fases del proceso

Identificación de las necesidades

- Protección contra vibraciones, golpes y caídas
- Soporte altamente estructural para soportar componentes pesados

- Reducción del uso de plásticos y espumas no biodegradables
- Compatibilidad con el estándar de las cajas de cartón para almacenar

Generaciones de conceptos

- Marcos internos, marcos esquineros o moldes ajustados según el modelo de computador
- Geometrías que distribuyan tanto el peso como los impactos de forma distributiva

Evaluación de materiales

- Composición rígida (dadas las propiedades de la resina) con la capacidad de absorber energía
- Fibras de piña y resina para impresión en 3D

Diseños CAD

- Modelo personalizado a disposición del dispositivo a proteger.
- Simulaciones de tensión, carga e impacto

Prototipado y pruebas

- Ensayos de vibración y de caída
- Compatibilidad con los modelos de caja comercialmente más usados en la actualidad
- Ensayos con los moldes para determinar su resistencia y su temperatura bajo condiciones de transporte y manipulación

Criterios de elección

- Protección contra los impactos y la vibración
- Peso ligero
- Sostenibilidad (inseguro y reciclable)
- Costos de producción

- Cumplimiento de normativas logísticas

Matriz de selección de conceptos

Elección para empaque de huevos

Tabla 1.

Matriz con criterios de selección al mejor concepto.

Criterios de selección	Peso (%)	Concepto A: Bandeja rígida	Concepto B: Celdas flotantes	Concepto C: Caja modular
Absorción de impactos	30	4	5	3
Compatibilidad alimentaria	20	5	4	5
Bajo costo	15	4	3	2
Biodegradabilidad	15	5	4	4
Apilabilidad	10	5	3	3
Facilidad de fabricación 3D	10	4	3	4
Total, ponderado (100%)		4.4	4.05	3.4

Seleccionado: Concepto A – Bandeja rígida (desempeño, especialmente en apilabilidad y compatibilidad).

Elección para estuche de gafas

Tabla 2.

Matriz con criterios de selección al mejor concepto.

Criterios	Peso (%)	Concepto A: Caja rígida simple	Concepto B: Estuche con bisagra	Concepto C: Estuche flexible
Protección ante golpes	30	5	4	2
Ergonomía y portabilidad	20	3	4	5
Estética y personalización	15	3	5	4
Durabilidad del cierre	15	3	5	2
Costo de producción	10	5	3	4

Criterios	Peso (%)	Concepto A: Caja rígida simple	Concepto B: Estuche con bisagra	Concepto C: Estuche flexible
Compatibilidad con impresión 3D	10	4	4	3
Total ponderado (100%)		4.05	4.3	3.35

Seleccionado: Concepto B – Estuche con bisagra (equilibrio entre estética, protección y funcionalidad)

Selección de un empaque para computadores

Tabla 3.

Matriz con criterios de selección al mejor concepto.

Criterios	Peso (%)	Concepto A: Esquinas 3D	Concepto B: Marco perimetral	Concepto C: Almohadillas moldeadas
Protección ante impactos	30	4	5	5
Estabilidad térmica	15	4	4	3
Ahorro de material/peso	15	5	3	2
Compatibilidad con cajas	10	5	5	4
Biodegradabilidad/sostenibilidad	10	4	4	4
Costos de fabricación	10	5	3	2
Adaptabilidad a distintos modelos	10	4	4	3
Total ponderado (100%)		4.4	4.2	3.45

Seleccionado: Concepto A – Esquinas 3D (balance entre protección, peso, costo y adaptabilidad).

Metodología

Recolección y preparación de muestras

Selección de muestras de fibras naturales

Adquirir el polímero PLA que será la matriz del material compuesto.

Obtención de polímero PLA

Adquirir el polímero PLA que será la matriz del material compuesto.

Limpieza de impurezas

Limpiar las fibras para eliminar cualquier impureza visible que pueda interferir en el proceso de fabricación.

Corte de fibras

Cortar las fibras de fique en segmentos similares para asegurar una distribución homogénea en la matriz.

Proceso de alcalinización

Preparación de solución alcalina

Preparar una solución de hidróxido de sodio (NaOH) o de óxido de calcio (CaO), según los requerimientos de tratamiento de la fibra.

Sumergir las fibras en solución alcalina

Sumergir las muestras de fibra en la solución durante un tiempo determinado para mejorar su adherencia con la matriz de PLA.

Agitación periódica

Realizar agitación para garantizar una correcta integración de la solución con las fibras.

Parámetros de funcionamiento y manufactura

Análisis de parámetros

Realizar pruebas en la impresora disponible en la UPB para determinar los parámetros óptimos de impresión, control de velocidad de impresión y curado.

Fabricación de filamentos 3D

Seguir los lineamientos establecidos en el proyecto BIC-008-0822-F4M para la fabricación de filamentos con fibras de hoja de piña.

Evaluación de viabilidad de los filamentos

Probar la viabilidad de la resina mediante la impresión de probetas utilizando la impresora 3D de resina de la Universidad Pontificia Bolivariana, sede Bucaramanga.

Análisis morfológico

Preparación de muestras para análisis

Preparar los filamentos fabricados para el análisis morfológico.

Observación con microscopía electrónica de barrido (SEM)

Realizar observaciones con SEM para evaluar la adherencia entre la matriz de PLA y la fibra de fique y verificar la calidad del esfuerzo.

Conclusiones y recomendaciones

Resumen de resultados y conclusiones

Resumir los hallazgos principales sobre la viabilidad y desempeño del material compuesto PLA-PAFL.

Recomendaciones para futuras investigaciones

Proponer mejoras o enfoques adicionales que puedan optimizar el diseño y las propiedades del empaque reforzado.

Obtención de las fibras naturales a partir de la piña.

Materia prima

Como punto de partida el proyecto se eligió un material textil de procedencia natural como lo es la fibra de la piña, para lo cual se realizó una breve investigación en las zonas del área metropolitana de Bucaramanga, Santander. Con el fin de conocer sobre la extracción de las fibras naturales de piña.

Figura 10.

Recolección de pencas de piña para procesarlas para hacer fibras



A partir de estas hojas de piña se tienen que pasar por un proceso de lavado para que las fibras se ablanden y sean más flexible y trabajable a la hora de poder extraer las fibras.

Posteriormente se le realiza una pasada a las fibras con una maquina desfibadora, similar a las que se usa para extraer las fibras de diferentes materias primas como lo son el fique, cáñamo o inclusive el lino. Sin embargo, para este caso se hará con hojas de piña.

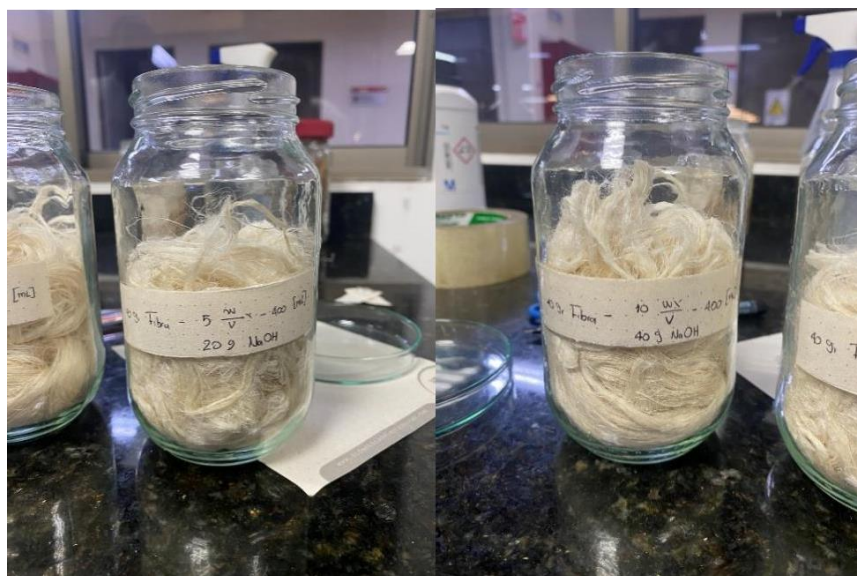
Figura 11.*Fibras de piña***Caracterización morfológica de las fibras de piña*****Tratamiento de alcalinización de fibras de piña***

Para iniciar el tratamiento se debe tener en cuenta aquellos elementos que se van a usar para esto. En una primera instancia se tienen las fibras, los químicos y reactivos a usarse y el tiempo empleado para proceder con el tratamiento.

El procedimiento va de la siguiente manera, en dos frascos de vidrio se agregarán 40 gramos de fibras de piña naturales, a los cuales se les añadirá una cantidad de 400 mililitros de agua potable o mineralizada.

Figura 12.

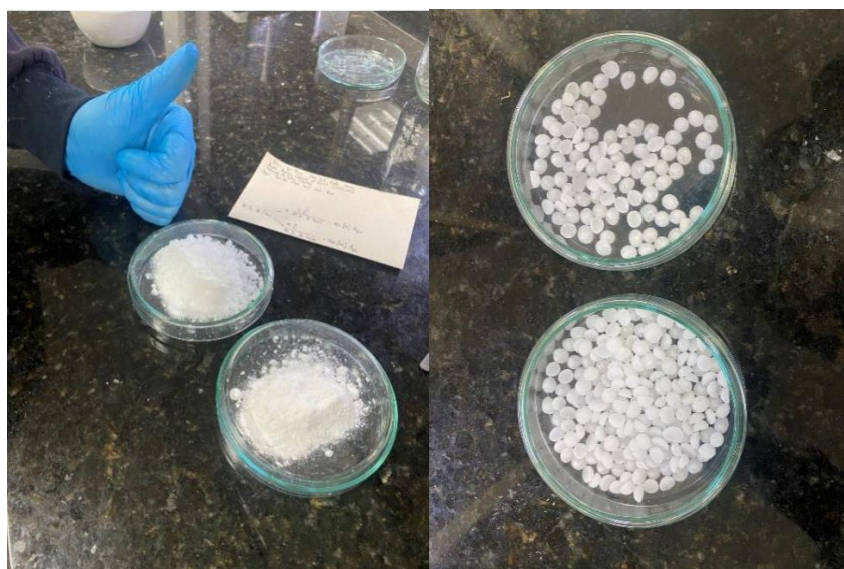
Preparación de las fibras de piña para proceso de alcalinización



Posteriormente se añadirá hidróxido de Sodio (NaOH), en concentraciones diferentes de la mezcla, para el primer recipiente se agregarán alrededor de 20 gramos mientras, el segundo se añadirán aproximadamente 40 gramos.

Figura 13

Muestras de concreción de Hidróxido de sodio (NaOH)



Durante el proceso, se forma una solución de tipo alcalina y exotérmica. Como bien se sabe, las reacciones exotérmicas liberan energía en forma de calor aumentando considerablemente la temperatura de los dos recipientes, de manera clara la solución con 40 gramos de NaOH aumentara de forma significativa la temperatura dada la concentración que se agregó.

Figura 14.

Fibras sumergidas en hidróxido de sodio con agua en diferentes concentraciones



Por disposición de tiempo para estas pruebas, se redujo el tiempo de reposo de la solución con las fibras a 24 horas (1 día), observando un cambio tanto en la tonalidad de las fibras como en el PH de la solución aumentando de manera significativa tomando valores alrededor de 12. Procedimiento posteriormente a realizar un lavado de las fibras bajo agua para dejarlas reposar alrededor de una hora.

Figura 15.

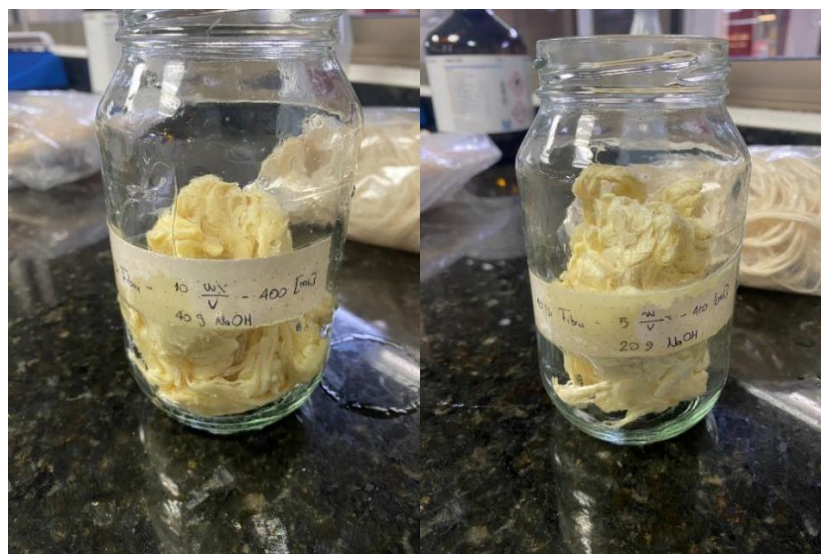
Muestra, pasadas 24 horas del proceso de alcalinización



Tras el reposo de las fibras de piña se digirió a atomizar una solución de ácido acético (vinagre), disuelta en agua, disminuyendo a la alcalinidad de las fibras de manera progresiva sin llegar a afectar la integridad de estas.

Figura 16.

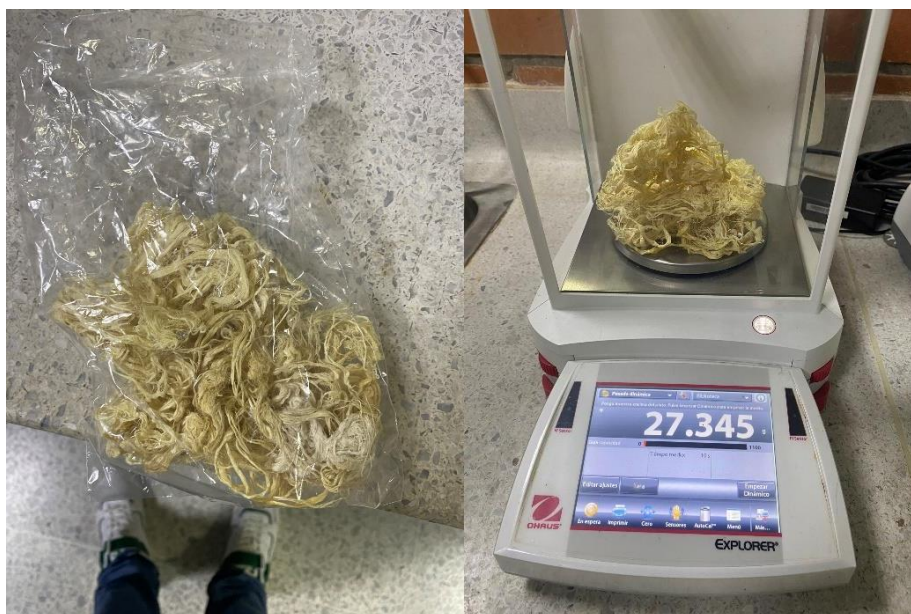
Fibras secadas manualmente



Finalizado el procedimiento del ataque de tipo químico a las fibras, se procedió a dejarlas en reposo alrededor de una hora para luego, ser pasadas a un horno de secado con una temperatura de 40° Celsius por 24 horas, para poder obtener fibras secas y de mejor calidad para los siguientes procesos.

Figura 17.

Fibras tras secado en horno



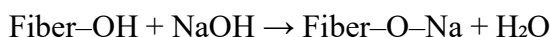
Caracterización física y morfológica

Preparación de las fibras

Las fibras naturales al ser polares, no se mezclan bien con polímeros que repelen el agua, ya que tienen una tendencia a atraerla. Por esta razón, se llevó a cabo un primer tratamiento químico en la superficie de las fibras de Piña, utilizando Hidróxido de Sodio (NaOH). Este ataque superficial se basó en la alcalinización de las fibras naturales para quitar una parte de la lignina, ceras y aceites presentes en las superficies de la fibra natural. Sumergir la fibra en una solución al 5 (porcentaje en peso/volumen), provoca un proceso de ionización del grupo hidroxilo con los alcóxidos (Ordenador, s.f.).

En el tratamiento alcalino de fibras naturales, el grupo hidroxilo presente en la estructura de la fibra reacciona con hidróxido de sodio (NaOH), generando una sal sódica y agua. Esta reacción puede representarse de la siguiente manera:

Ecuación 1



Donde:

- Fiber-OH = grupo hidroxilo de la fibra
- NaOH = hidróxido de sodio
- Fiber-O-Na = fibra con grupo sódico unido
- H₂O = agua

Como se observa en la Ecuación (1), el tratamiento alcalino permite sustituir el grupo hidroxilo de la fibra por un grupo sódico (Autor, Año).

Esta respuesta facilita la ruptura de los enlaces de hidrógeno en la estructura, lo que eleva la textura de la superficie. Esto ayuda a conseguir una mejor adherencia mecánica entre el material compuesto y las fibras de piña. Además de incrementar la rugosidad de la superficie, se llevará a cabo una inmersión durante períodos prolongados, con el objetivo de romper las fibras de piña y producir microfibras con diámetros más pequeños (microfibrillas).

Para el ataque superficial de las fibras de piña, se emplearon frascos de vidrio con capacidad de 400 ml, en los que se sumergieron las fibras. Las concentraciones de la solución en porcentaje masa/volumen utilizadas fueron del 5%(w/vol) y del 10%(w/vol), con el fin de determinar la masa del soluto (gramos de NaOH). Según la ecuación:

Ecuación 2

$$\text{Concentración}_{\text{ soluto}}(W/V\%) = \frac{\text{Masa}_{\text{ Solute}}(\text{g})}{\text{Volumen}_{\text{ Solución}}(\text{ml})} \times 100$$

Donde para una relación (1:10) se determinó que se necesitan 20g y 40g de NaOH para las concentraciones de 5 % y 10 % de NaOH. Una vez que se preparó la solución de NaOH disuelta en 400 ml de agua, se comenzó a extraer fibras, pesándolas y considerando la relación 1/10. Esto significa que, para cada 40 gramos de fibra, se requerían 400 ml de la solución al 10%.

Tabla 4.

Tratamiento superficial a través de la alcalinización

Ratio (1:X)	Fibra (gramos)	Concentración de NaOH (w/v%)	NaOH (gramos)	Volumen del recipiente (mL)	Kg fibra/ Kg NaOH
10	40	5	20	400	2
10	40	10	40	400	1

Debido a que los frascos de vidrio tenían una capacidad de 400 ml, se añadió 40 gramos de fibra dentro de uno de los frascos para comenzar su tratamiento superficial a través de la alcalinización, como se ilustra en la tabla 4. Al final, se retiran las fibras y se dejan en la solución durante 24 horas para medir su pH. Como las soluciones son alcalinas, se esperan valores elevados de pH. Para regular el pH de las fibras, se enjuagan con agua y se rocía una mezcla de vinagre y agua en pequeñas cantidades, asegurando que el pH sea uniforme en todas las partes de la fibra.

Finalmente, tras el tratamiento con NaOH y el enjuague correspondiente, las fibras se colocaron en un horno de secado a 40 °C durante 24 horas. Esto fue esencial para eliminar la humedad residual, ya que cualquier contenido de agua podría afectar su posterior adhesión a la matriz polimérica.

Fracción de peso en la matriz

Para poder verificar y representar correctamente la fabricación del material compuesto, es necesario determinar la cantidad de fibra (PALF) incorporada a la matriz polimérica (PLA). Uno

de los métodos más habituales de mostrar esta relación es a través de la fracción de peso (%w), que indica qué proporción del peso total del compuesto corresponde a la fibra de refuerzo (Kouznetsova, 2002).

La fórmula para calcular la fracción en peso es:

$$\%w = \frac{V_{PALF}}{V_{PALF} * \rho_{PALF} + V_{PLA} * \rho_{PLA}} \quad (3)$$

$$\%w = \frac{m_{PALF}}{m_{PALF} + m_{PLA}} \quad (4)$$

Donde m_{PALF} es la masa de las fibras de hoja de piña utilizadas y m_{PLA} es la masa del ácido poliláctico (matriz), en los siguientes ejemplos se muestra la cantidad necesaria de m_{PALF} para una concentración del 5%, 10% y 20% respectivamente:

$$0.05 = \frac{m_{PALF}}{m_{PALF} + 3.52 \text{ gr}} \quad (5)$$

$$m_{PALF} = 0.1853 \text{ gr} \quad (6)$$

$$0.10 = \frac{m_{PALF}}{m_{PALF} + 3.52 \text{ gr}} \quad (7)$$

$$m_{PALF} = 0.39 \text{ gr} \quad (8)$$

$$0.20 = \frac{m_{PALF}}{m_{PALF} + 3.52 \text{ gr}} \quad (9)$$

$$m_{PALF} = 0.88 \text{ gr} \quad (10)$$

Preparación y análisis de la impresora 3d

En primera instancia, para determinar de manera adecuada si la resina polimérica usada para la impresora de resina 3d es adecuada tanto para el uso cotidiano como el contacto con la materia orgánica hay que verificar por el fabricante si este es adecuado para el uso doméstico en cualquier circunstancia, luego de ello proceder con las instrucciones que el mismo fabricante

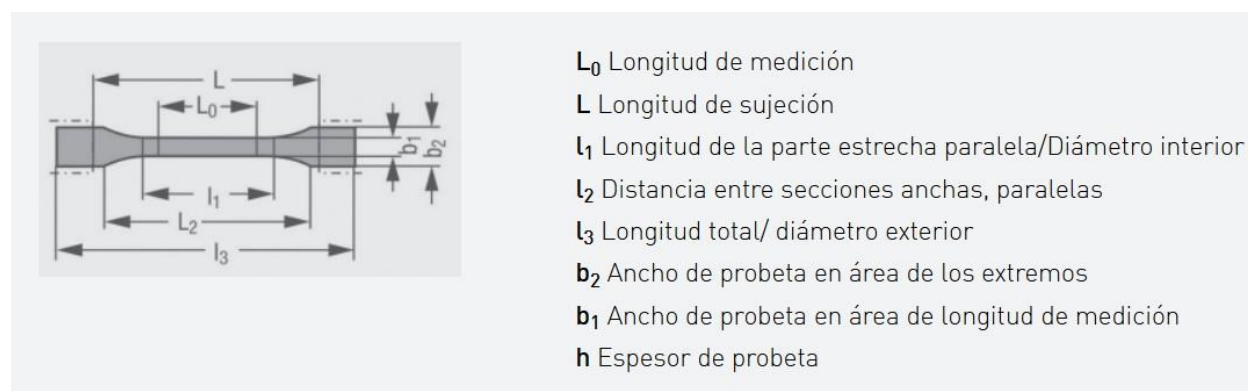
recomienda seguir sin llegar a comprometer la salud de quien manipula estas resinas como la zona de trabajo.

Desarrollo del modelo geométrico de las probetas

Para analizar y tener un modelo geométrico útil basado en los parámetros, las probetas con el material compuesto se le aplica la norma “ASTM D638-22”, usando las dimensiones correspondientes al diseño de tipo IV con unas dimensiones de 115 x 19 x 4 [mm].

Figura 18.

Representación para diseño de probetas para ensayo



Nota. Tomado de: ZwickRoell. (s.f.). *Diagrama de formas y dimensiones de probetas según la norma ASTM D638* [Imagen]. ZwickRoell.

<https://www.zwickroell.com/industries/plastics/thermoplastics-and-thermosetting-molding-materials/tensile-properties-astm-d638/>

Figura 19.

Tipos de probeta por la norma ASTM D638

ASTM D638 Dimensiones y tipos de probetas									
Norma	Tipo de probeta	Observación:	l_3 mm	l_1 mm	b_2 mm	b_1 mm	h mm	L_0 mm	L mm
ASTM D638	Tipo I	Probeta pref. para plásticos rígidos	≥ 165	57 ± 0.5	19 ± 6.4	13 ± 0.5	3.2 ± 0.4	50 ± 0.25	115 ± 5
ASTM D638	Tipo II	preferiblem., si tipo I no se rompe en la sección estrecha	≥ 183	57 ± 0.5	19 ± 6.4	6 ± 0.5	3.2 ± 0.4	50 ± 0.25	135 ± 5
ASTM D638	Tipo III	para espesores de probeta superiores a 7 mm (plásticos rígidos y blandos)	≥ 246	57 ± 0.5	29 ± 6.4	19 ± 0.5	7...14	50 ± 0.25	115 ± 5
ASTM D638	Tipo IV	para comparaciones de plásticos rígidos y blandos	≥ 115	33 ± 0.5	19 ± 6.4	6 ± 0.05	3.2 ± 0.4	25 ± 0.13	65 ± 5
ASTM D638	Tipo V	pequeñas probetas de componentes	≥ 63.5	9,53	9.53 ± 3.1	3.18 ± 0.5	3.2 ± 0.4	7,62	25.4 ± 5

Nota. Tomado de: ZwickRoell. (s.f.). *Tabla de tipos de probetas ASTM D638: dimensiones y especificaciones* [Tabla]. ZwickRoell.

<https://www.zwickroell.com/industries/plastics/thermoplastics-and-thermosetting-molding-materials/tensile-properties-astm-d638/>

Fabricación aditiva de las probetas a ensayar

La Fabricación de las probetas para ensayo de tracción se van a hacer por medio de impresión en 3d. por medio de la tecnología de impresión con un compuesto foto polimérico, siendo depositado en la bandeja de impresión siendo está hecha capa por capa por un espesor aproximado de 0.3 [mm], endureciendo cada capa con la finalidad de ir endureciendo cada capa de manera superpuesta una sobre otra (Arib, 2006).

Figura 20.

Preparación de la impresora para impresión de probetas de ensayo



En este caso las fibras puestas en un volumen del 20% aproximadamente junto con la resina previamente mezcladas para poder generar una distribución aleatoria sin llegarse a formar pequeños montículos o pelusas que puedan llegar a perjudicar el proceso de impresión.

Para este ensayo de plásticos según la norma ASTM D638-22, se fabricaron probetas por medio del proceso de solidificación de la resina.

En los parámetros usados para las probetas de ensayo se usa un modelo transversal de 115 mm de longitud, 19 mm x 4 mm, de acuerdo con la normal usada ASTM D638-22. Las proporciones de los espesores y distancias entre los puntos de apoyo especificados se tomarán dentro de los estándares propuestos por la norma. así mismo la norma define una serie de requisitos adicionales para las probetas con un estándar de espesor superior a los 3.2 mm e inferior a los 1.6 [mm] (Liu, 2019).

Figura 21.

Inicio del proceso de impresión



Los ensayos de los materiales compuestos por fibras de alta resistencia se realizan en función de la relación entre la resistencia a la tracción y al cizallamiento como una variable espesor-distancia entre los apoyos solicitados. Para el caso de los materiales muy anisótropos, puede llegar a ser necesario una relación de 60 para determinar el módulo de cizallamiento.

Figura 22.

Probetas realizadas con fibras y sin fibras de piña para ensayos



Figura 23.

Ensayo de tensión con las probetas



Figura 24.

Ruptura de una probeta en ensayo de tensión



Figura 25.

Muestras de los ensayos de tensión sin fibras naturales

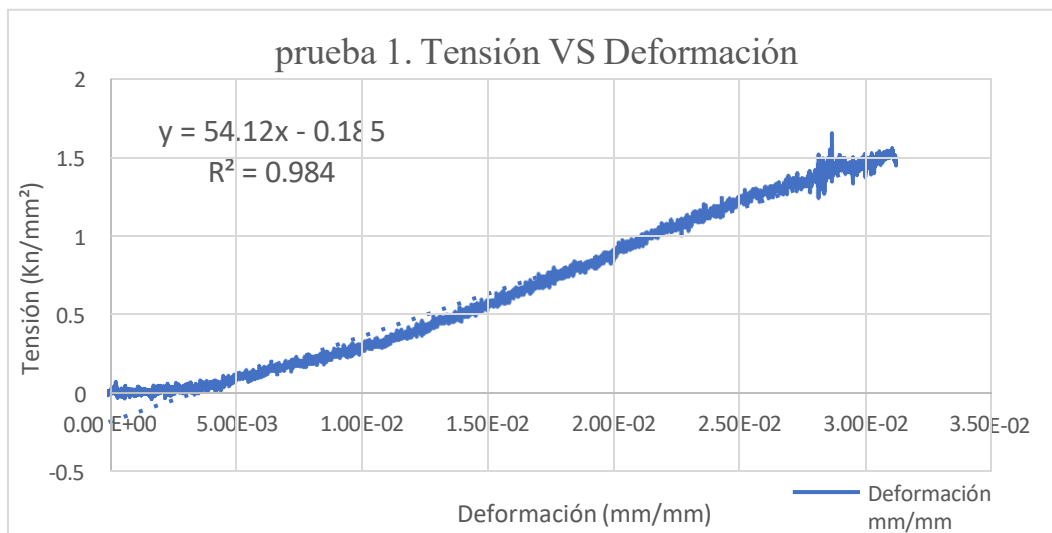


Análisis de ensayos de tensión de las fibras naturales de piña

Prueba #1

Figura 26.

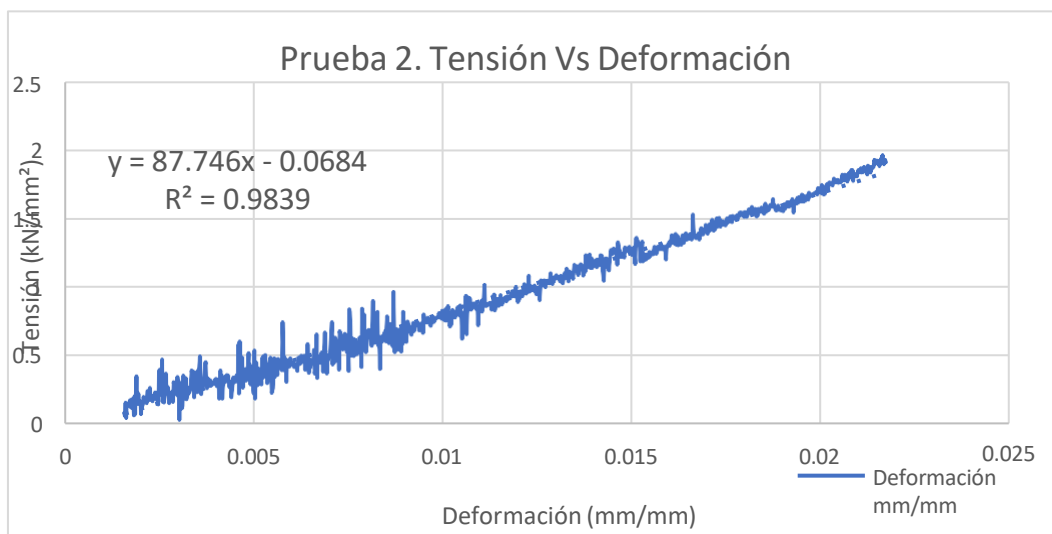
Tensión Vs deformación de probeta con fibras naturales de piña



Prueba #2

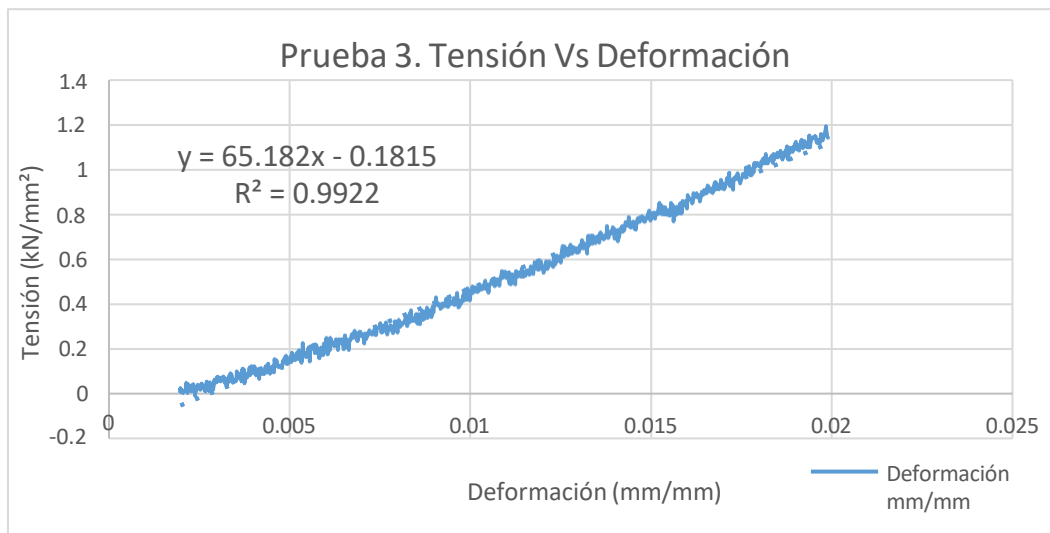
Figura 27.

Tensión Vs deformación de probeta con fibras naturales de piña

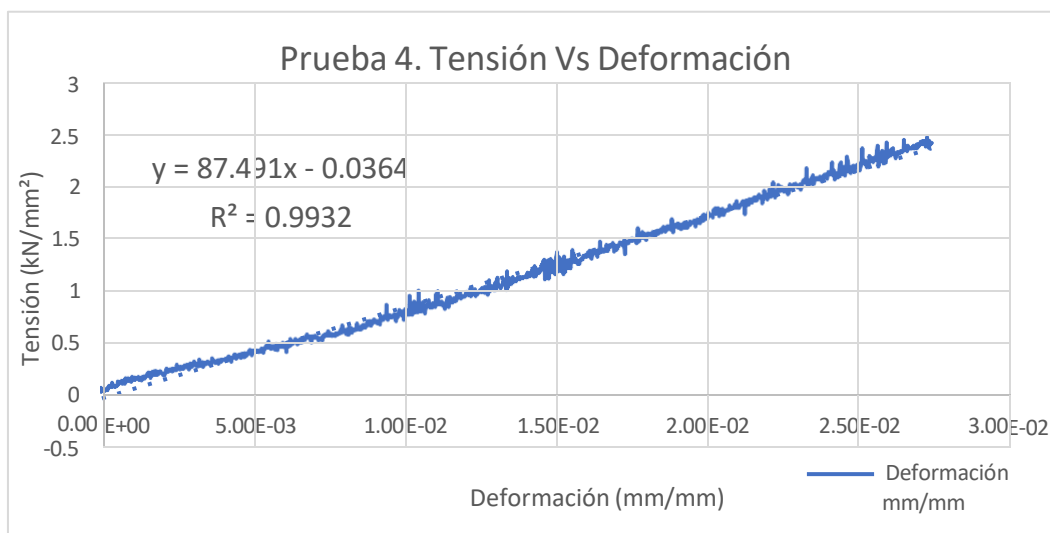


Prueba #3**Figura 28.**

Tensión Vs deformación de probeta con fibras naturales de piña

**Prueba #4****Figura 29.**

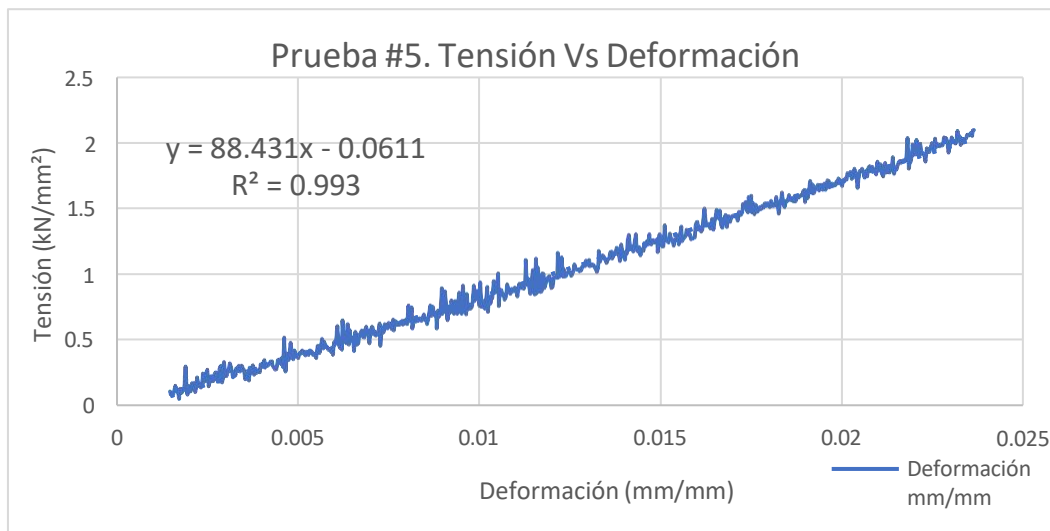
Tensión Vs deformación de probeta con fibras naturales de piña



Prueba #5

Figura 30.

Tensión Vs deformación de probeta con fibras naturales de piña

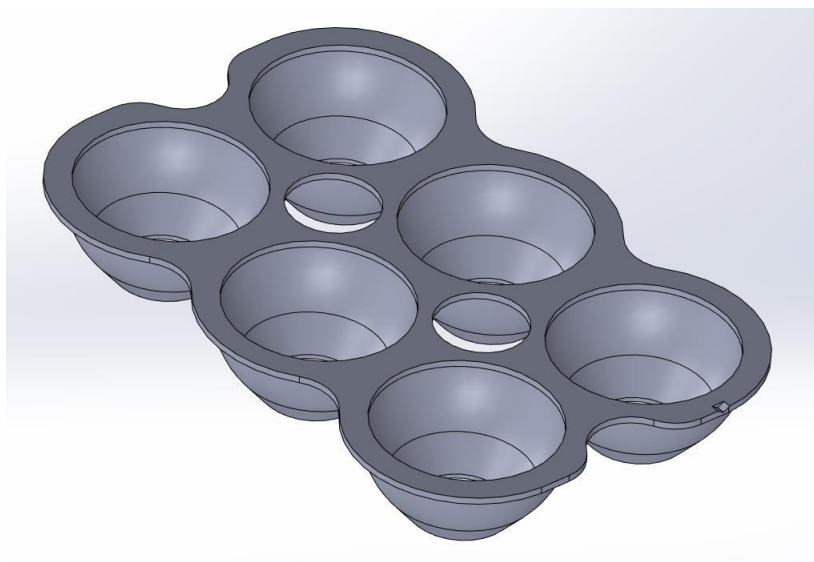


Fabricación del prototipo

A partir de los análisis, propuestas y diversas selecciones en el proceso del planteamiento de alternativas de diversos empaques, se llegó al proceso de diseño mediante un software de tipo CAD, para fines prácticos de uso SOLIDWORKS 2021. Se hizo un modelo a escala mas pequeña ya que la superficie de la impresora proporcionada para este proyecto no logra imprimir grandes áreas como lo puede ser un empaque de tamaño normal. Ya con las medidas establecidas en un modelo estándar se procedió a escalarlo para que encajase de forma ideal en la superficie de impresión.

Figura 31.

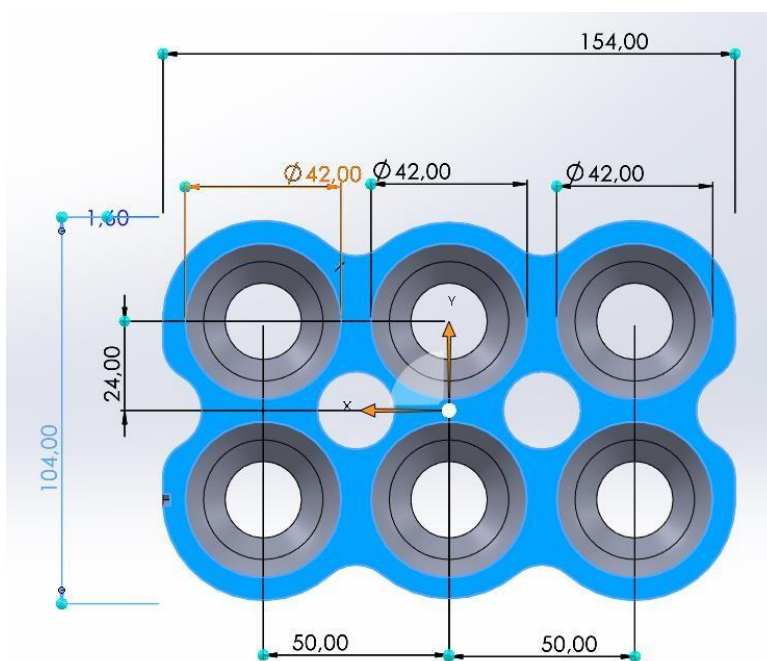
Diseño de empaque para huevos hecho en SOLIDWORKS



Tras varios procesos de modelamiento, entre los cuales se mencionan extrusiones, matrices, revoluciones se obtuvo este diseño de empaque para huevos visto en la ilustración.

Figura 32.

Medidas para empaque de huevos

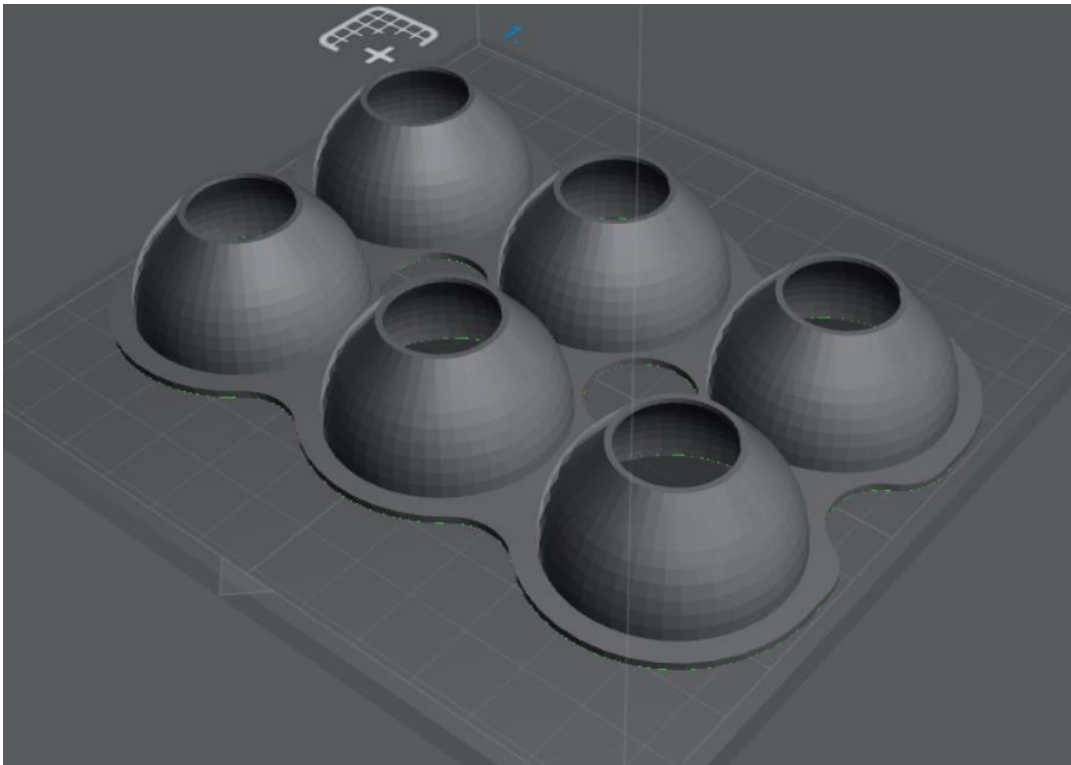


En la ilustración X se puede ver en detalle las medidas y la elección de poder colocar hasta 6 huevos dentro de este empaque, tomando medidas promedio de un huevo siendo este de 42mm /4.2cm.

Posterior a ello, se procede a pasar el modelo CAD a un laminador el cual tiene la función de ser un programa que toma los archivos de tipo. STL o .3MF y los digitaliza en una interfaz dedicada para el uso y configuración de las impresoras 3D, ya sean de filamento o resina. En este caso el laminador que se usara para facilitar nuestro proceso es “Lychee Slicer”, que tiene tanto una interfaz como funcionamientos bastante amigables con los nuevos usuarios y conocedores a los laminadores.

Figura 33.

Modelo transferido en el laminador Lycheeslicer



Como bien se aprecia en la imagen, nuestra limitación a la hora de realizar un prototipo funcional y optar por uno demostrativo es el área que posee la impresora de resina de manera

horizontal. Con esto podemos darnos una idea más clara dentro del laminador que tan grande o pequeño lograra ser el modelo a escala.

Otro punto a considerar a la hora de realizar algun tipo de impresión en este tipo de equipos es la cantidad de resina que consumirá dicha impresión y el tiempo que tardara. Cuestión que nuestro laminador nos dará un tiempo y cantidad de resina (en mililitros) aproximada, dado que el usuario puede modificar diferentes parámetros para hacer una impresión tanto mas limpia como mas rápida.

Figura 34.

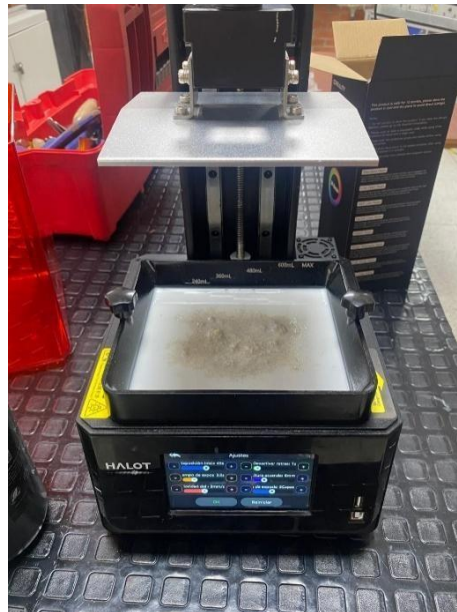
Parámetros del laminador para impresión del empaque



En la captura numero X, se puede apreciar los parámetros establecidos por el grupo de proyecto como lo es el modelo de la impresora de resina en 3D que en este caso es la Creality Halot One pro. El tipo de resina a usarse es de la marca creality de color blanco. Por ultimo el tiempo de impresión de la pieza con los parámetros preestablecidos del laminador, al igual que la cantidad de resina que usara para dicha pieza. Se debe aclarar que para fines prácticos y evitar cualquier tipo de error o desperfecto a la hora de realizar la pieza, se deben agregar mas mililitros de los que recomienda el laminador. Por último, se exportará el documento a una memoria de USB para improtar el documento directamente a la impresora 3D.

Figura 35.

Proceso de acondicionamiento para iniciar la impresión



Para el siguiente paso que es la impresión se optó por el siguiente método, añadir la resina como normalmente se haría en este tipo de impresiones, sin embargo, se añadiría una capa fina de fibras de piña para poder mezclarlas y que las primeras capas de impresión adhieran dichas fibras. A mitad de la impresión se procederá a poner en pausa y añadirse mas fibras en polvo para dejar completar dicha impresión.

Figura 36.

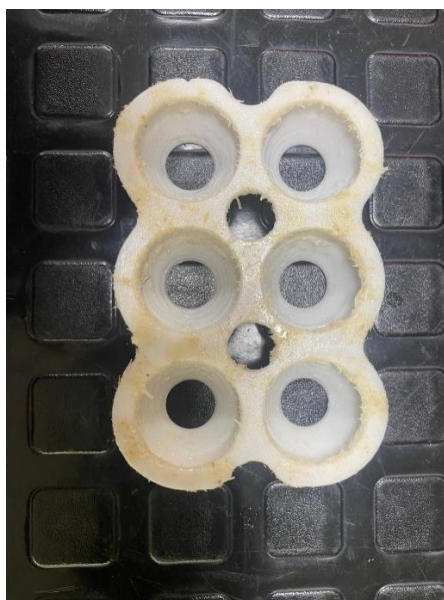
Modelo finalizado la impresión



Pasado el tiempo de impresión se procede a dejar reposar un par de minutos los modelos hechos para que todos los residuos de resina y fibras caigan dentro de la bandeja de impresión, posteriormente se quita de la superficie de impresión con cuidado de no llegar a partir el molde y limpiarlo de los excesos superficiales que tiene, por ultimo se debe dejar secar un tiempo aproximado de 5 a 20 minutos bajo luz ultravioleta para que obtenga mayor resistencia mecánica.

Figura 37.

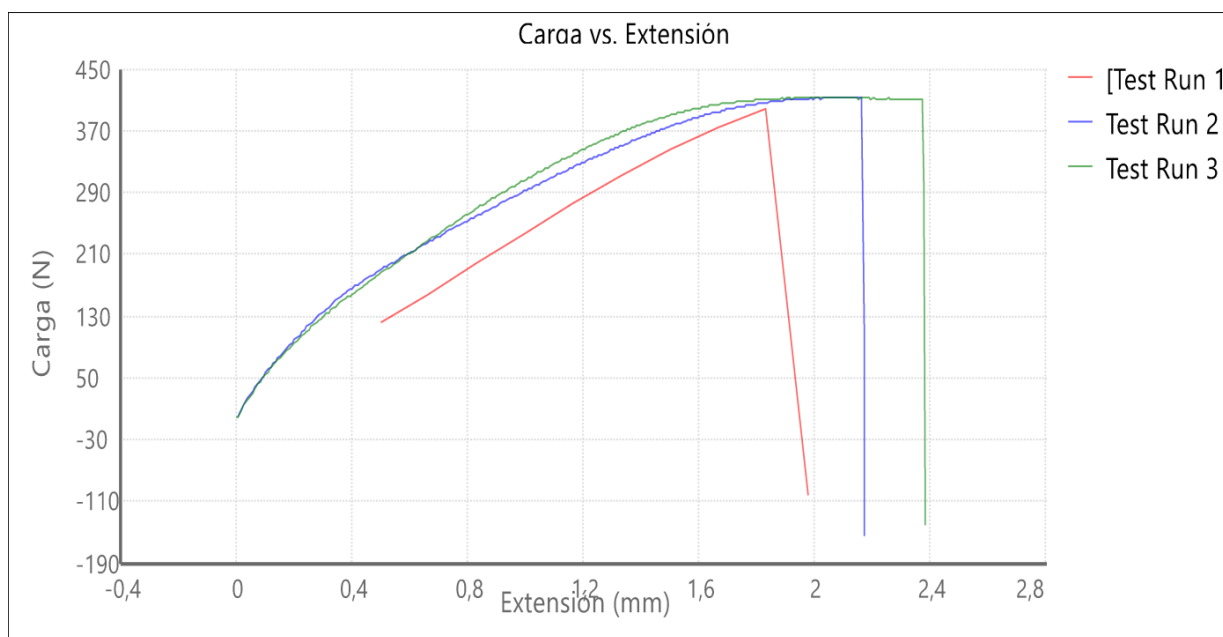
Modelo tras procedimiento de secado y limpiado



Análisis de resultados

Figura 38.

Primer ensayo de carga Vs Tensión de probeta con fibras de piña

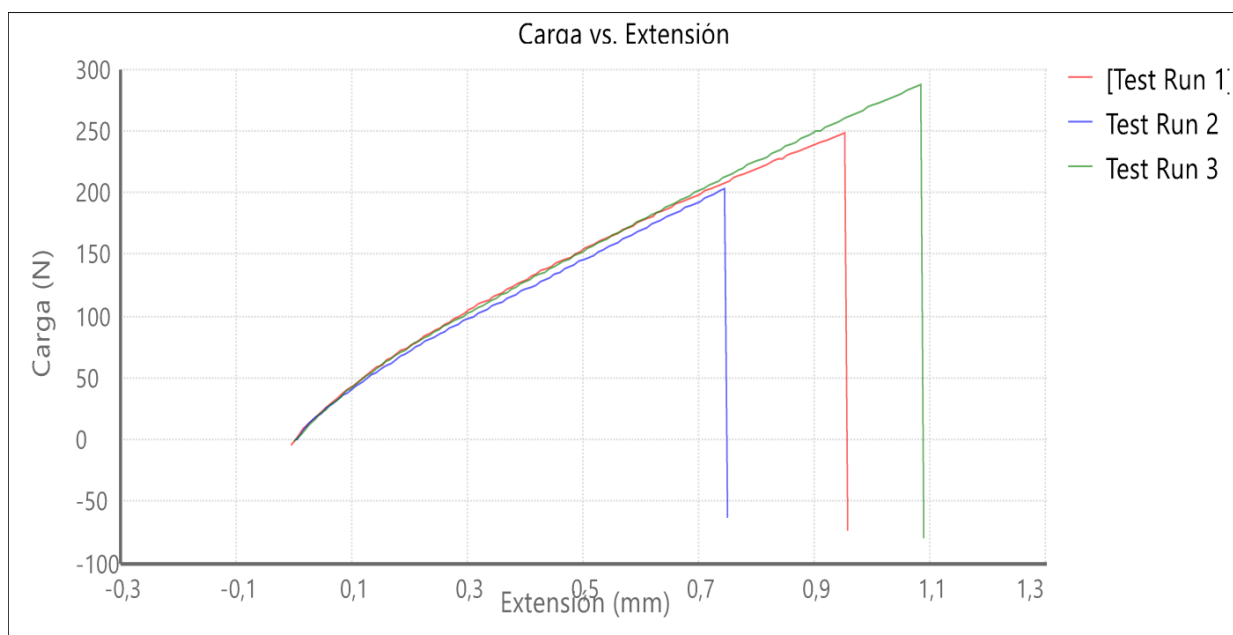


Resultados probetas PLA

Tras la realización de los ensayos de tracción en las probetas de PLA, se obtuvo una tensión máxima promedio de 34,76 Pa, con una desviación estándar de $\pm 7,37$ Pa. El módulo de elasticidad alcanzó un valor medio de 879,91 MPa, acompañado de una desviación estándar de $\pm 147,43$ MPa. En cuanto a la deformación a la rotura, el valor medio fue de 0,07840 mm/mm, con una desviación estándar de $\pm 0,00228$ mm/mm. Estos resultados reflejan un comportamiento relativamente uniforme en las muestras evaluadas, evidenciando la consistencia del material en estado puro.

Figura 39.

Segundo ensayo de carga Vs Tensión de probeta con fibras de piña.



Resultados probetas PLA+PALF

En el caso de los compuestos de PLA reforzados con fibras de hoja de piña (PALF), los ensayos mostraron una tensión máxima promedio de 18,88 Pa, con una desviación estándar de $\pm 5,00$ Pa. El módulo de elasticidad presentó un valor medio de 1083,99 MPa, con una desviación estándar de $\pm 134,81$ MPa. Respecto a la deformación a la rotura, se registró un promedio de 0,02867 mm/mm, acompañado de una desviación estándar de $\pm 0,01004$ mm/mm. En comparación con el PLA puro, se observa un aumento en la rigidez del material, aunque acompañado de una reducción significativa en la deformación antes de la fractura, lo que indica un comportamiento más frágil del biocomposite.

Los resultados arrojan que la carga máxima de las probetas de PLA puro fue significativamente menor que la de los composites PLA+PALF. En los ensayos obtenidos, las muestras de PLA sin refuerzo alcanzaron cargas máximas de 412,488 N; mientras que las de

PLA reforzado presentaron cargas menores de 287,120. Esto señala que, en nuestro caso, la incorporación de fibras lignocelulósicas redujo el valor de carga máxima en comparación con el PLA puro.

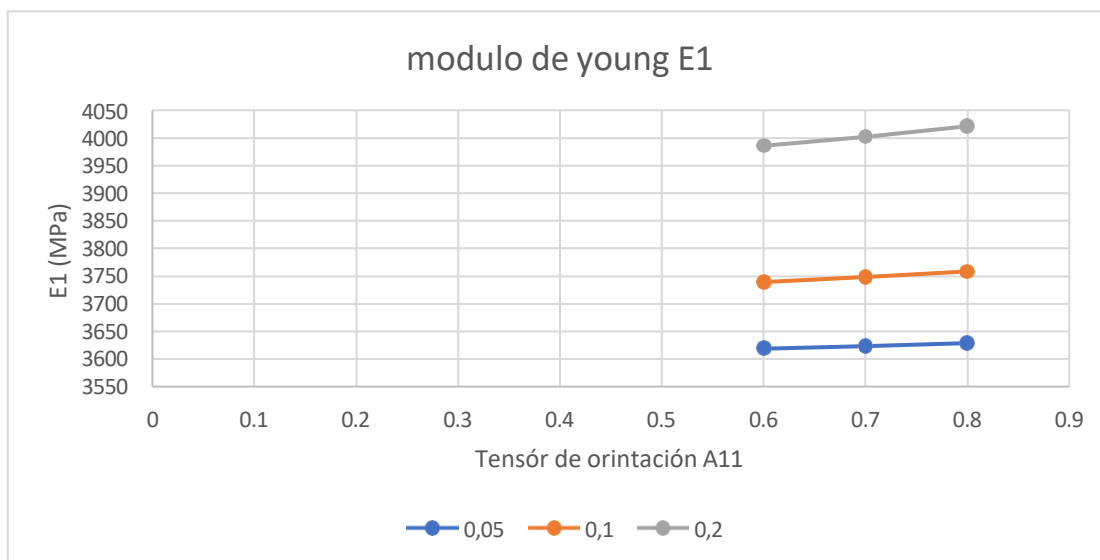
Figura 40.

Parámetros tras simulaciones del material en software ANSYS

Parameters	Value#1	Value#2	Value#3	Value#4	Value#5	Value#6	Value#7	Value#8	Value#9
Fiber Volume Fraction	0,05	0,05	0,05	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2
Orientation Tensor A11	0,8	0,7	0,6	0,8	0,7	0,6	0,8	0,7	0,6
Orientation Tensor A22	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,4
Engineering Constants									
E1 (Mpa)	3628,7	3623,3	3618,6	3758,4	3748	3739,1	4021,1	4002,1	3985,7
E2(Mpa)	3607	3608,8	3611,4	3716,5	3720	3725,1	3943,8	3950,5	3959,9
E3(Mpa)	3605,5	3605,5	3605,6	3713,7	3713,7	3713,8	3938,4	3938,5	3938,9
G12(Mpa)	1301	1301,9	1302,2	1343,9	1345,7	1346,7	1432,8	1436,1	1438
G23(Mpa)	1296,2	1296,4	1296,6	1334,7	1335,1	1335,5	1415,5	1416,6	1417,3
G31(Mpa)	1297,5	1297,3	1297,1	1337,3	1336,8	1336,4	1420,6	1419,8	1418,9
v12	0,38814	0,38806	0,38785	0,38627	0,38611	0,38573	0,38248	0,38221	0,38155
v13	0,38802	0,38818	0,38841	0,38604	0,38634	0,38678	0,3821	0,38263	0,3834
v23	0,39012	0,38959	0,38912	0,38997	0,38897	0,3881	0,38887	0,38717	0,38567
Density									
ρ (t/mm ³)	1,31E-09	1,31E-09	1,31E-09	1,32E-09	1,32E-09	1,32E-09	1,34E-09	1,34E-09	1,34E-09

Figura 41.

Datos extraídos de los resultados



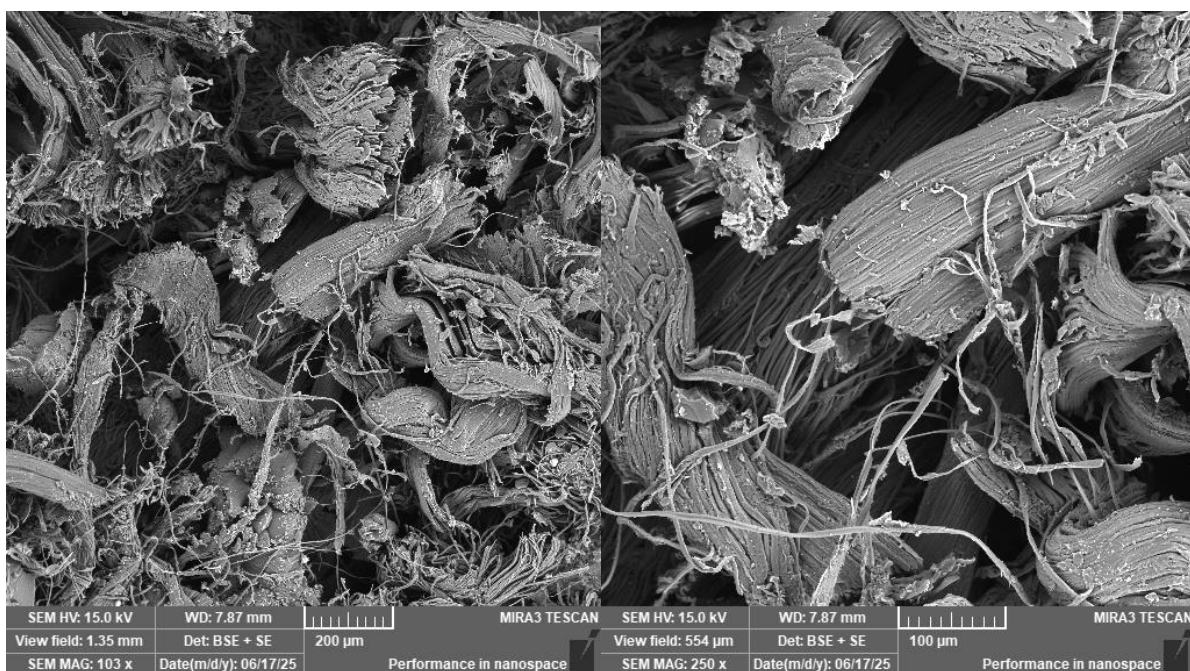
Resultados tensión en eje X (E1) del composite

Modo de ensayo

Se fabricaron probetas de tracción de PLA en resina (sin refuerzo) y de PLA+PALF a las concentraciones indicadas. Para cada caso se ensayaron varias muestras: en concreto, 3 réplicas de PLA puro y 2 muestras por cada contenido de PALF (5%, 10% y 20%). Así, se obtuvieron las curvas de tracción para PLA y una por cada compuesto PLA/PALF. Cada ensayo se llevó a cabo según normas ASTM correspondientes, midiendo carga y deformación hasta la rotura.

Figura 42.

muestra de la probeta con fibras naturales bajo microscopio de barrido electrónico



La micrografía SEM indica que no hubo una buena adhesión fibra-matriz entre las capas de impresión. La imagen revela fibras parcialmente desprendidas y espacios vacíos que evidencian una humectación insuficiente. Esto coincide con la menor resistencia observada, la carga aplicada no se pudo transferir correctamente a través de las fibras. Así, el refuerzo fibroso no mejoró la resistencia porque las fibras estaban mal alineadas y su unión con el PLA fue débil. En conjunto, estos hallazgos explican el resultado mecánico obtenido y subrayan la importancia de optimizar la orientación y el tratamiento de las fibras para lograr un verdadero refuerzo(X)

Conclusiones

El desarrollo de este proyecto permitió evidenciar los avances y las limitaciones del uso de fibras naturales de hoja de piña (PALF) como refuerzo en una matriz de PLA procesada mediante impresión 3D. A partir de los ensayos mecánicos, análisis microscópicos y la revisión del proceso de fabricación, se concluye lo siguiente:

- *Limitaciones en la impresión 3D*: El método de impresión empleado presentó restricciones importantes. El reducido tamaño de la cama limitó la posibilidad de fabricar probetas de mayores dimensiones y los tiempos de impresión resultaron elevados. Asimismo, debido al principio de funcionamiento del equipo (inmersión en resina líquida y posterior curado con luz ultravioleta), la presencia de fibras en la matriz interfirió con el paso de la luz, generando zonas con curado incompleto y dificultando la adecuada adherencia entre PLA y fibras.

- *Orientación y distribución de fibras*: Durante el proceso de impresión, las fibras tendieron a desplazarse y agruparse por efecto del movimiento de la cama, lo que originó acumulaciones en las primeras capas y escasa presencia en las posteriores. Esto generó una distribución no uniforme, afectando de manera negativa la capacidad de refuerzo de las fibras y explicando los resultados mecánicos obtenidos, donde se observaron resistencias menores en comparación con el PLA puro.

- *Adhesión fibra-matriz*: El análisis mediante SEM evidenció deficiencias en la humectación y adherencia de las fibras dentro de la matriz polimérica. La presencia de cavidades y fibras parcialmente desprendidas confirma que la transferencia de esfuerzos entre PLA y PALF fue limitada. Esta falta de cohesión estructural influyó directamente en la disminución de la resistencia a la tracción.

- *Impacto ambiental y sostenibilidad:* El proyecto demuestra la importancia de explorar materiales alternativos de origen natural. El uso de fibras como las de piña no solo contribuye a valorizar residuos agroindustriales, sino que también impulsa prácticas sostenibles al sustituir parcialmente polímeros derivados del petróleo por recursos renovables. Esto representa un avance en la reducción del impacto ambiental asociado a los empaques plásticos tradicionales y abre la puerta a un modelo de economía circular.

Recomendaciones

Optimización del proceso de impresión: Se recomienda seguir explorando tecnologías de impresión adecuadas, como la extrusión por filamento (FFF/FDM), que permitiría un mayor control sobre la orientación y distribución de las fibras, mejorando así la adhesión fibra-matriz.

Evaluación de fibras alternativas: Para futuros trabajos se sugiere ampliar el espectro de fibras naturales empleadas, considerando opciones como la cascarilla de café, pasilla o incluso fibras de banano, las cuales podrían ofrecer una mejor compatibilidad con la matriz polimérica y propiedades mecánicas comparables o superiores.

Referencias

- Ananas-anam (s.f.) *From pineapples to Puma Carmen Hijosa*. www.ananas-anam.com
- Arib, R. M. N., Sapuan S. M., Ahmad M. M. H. M., Paridah M. T., y Khairul Zaman H. M. D. (2006) Mechanical properties of pineapple leaf fibre reinforced polypropylene composites. *Mater Des*, 27 (5), 391–396, doi: 10.1016/j.matdes.2004.11.009.
- Corporación de Promoción de Exportaciones e Inversiones de Ecuador[CIC – CORPEI], (2003). *Perfil producto: Piña*. Quito, Ecuador
- Estrada M., Luis D., Segrera L., y Ramirez F. (s.f.) *Relación entre el modelo de Mori-Tanaka y la teoría de mezclas para la homogenización de materiales compuestos reforzados con fibras*. <https://www.researchgate.net/publication/281294600>
- Gómez Martínez A. y Giner Soler C. (s.f.) *La técnica de la joyería - Google Books*. https://www.google.com.co/books/edition/La_t%C3%A9cnica_de_la_joyer%C3%ADa/azlEAAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&dq=impresora%20de%20resina&pg=PA221&printsec=frontcover
- Granados Pérez W. y Aguillón Mayorga D. M. (2019) *Cadena de la Piña*”, <https://sioc.minagricultura.gov.co/Pasifloras/Documentos/2019-06-30%20Cifras%20Sectoriales%20PI%C3%91A.pdf>
- Hellbot Academia. (s.f.) *Introducción a la impresión con resinas*. <https://academia.hellbot.xyz/lecciones/que-necesito-para-iniciar/>
- Kouznetsova V. (2002) *Computational homogenization for the multi-scale analysis of multi-phase materials*, [Phd Thesis 1 (Research TU/e / Graduation TU/e), Mechanical Engineering]. Technische Universiteit Eindhoven. <https://doi.org/10.6100/IR560009>

- Liu W., Tingting C., Ming-en F., Renhui Q., Demei Y., Tengfei F. y Jianhui Q. (2019). Properties of natural fiber-reinforced biobased thermoset biocomposites: Effects of fiber type and resin composition. *Compos B Eng.*, 171, 87–95, doi: 10.1016/j.compositesb.2019.04.048
- Mora Ayala, D. M. (2019) *Máquina universal de ensayos destructivos: sistema estático*.
- Ordenador S. (s.f.) *Propiedades mecánicas de compuestos biodegradables elaborados a base de ácido poliláctico reforzados con fibras de abacá*.
- Rodríguez F. J., Dardati P. M., Godoy L. A., y Celentano D. J., (2015) Derivation of nodular cast iron elastic properties via computational micromechanics. *Revista Internacional de Metodos Numericos para Calculo y Diseno en Ingenieria*, 31 (2), 91–105, doi: 10.1016/j.rimni.2014.01.003.
- Universidad Rey Juan Carlos (s.f.) “Introducción a los materiales compuestos ¿Qué es un material compuesto?”, Madrid, España.
- Younes R., Hallal A., Fardoun F., y Hajj F., (2012) Comparative Review Study on Elastic Properties Modeling for Unidirectional Composite Materials, *Composites and Their Properties*, InTech,. doi: 10.5772/50362.