



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Diseño de un material
sustentable para
aplicaciones en membranas
flexibles**

TESIS

Que para obtener el título de

Ingeniero Mecánico

P R E S E N T A

Jesus Neill Reyes Morales

DIRECTORA DE TESIS

Magdalena Trujillo Barragán



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2019

Agradecimientos

Se agradece al proyecto: PAPIIT IG 400517 "*Diseño y construcción de estructuras ligeras hacia una arquitectura e ingeniería sustentables*". Y al proyecto: PAPIME PE112916 "*Desarrollo de los apuntes de procesamiento de plásticos para el campo del conocimiento en manufactura de la Facultad de Ingeniería*", por el apoyo financiero para la realización de este trabajo.

Al Dr. Juan Gerardo Oliva Salinas, y a los miembros dentro del Laboratorio de estructuras por su ayuda y cooperación para la realización de este proyecto.

A la Dra. Magdalena Trujillo Barragán, por el apoyo durante la realización del trabajo en sus diferentes etapas.

A la Dra. Alba Covelo Villar, por el préstamo del espacio, material, equipo a utilizar y las asesorías para la realización de las experimentaciones pertinentes para el conformado de biopolímeros fundamentales para este trabajo.

Al Dr. Alfredo Maciel Cerda, por la ayuda prestada para la realización de experimentos diversos, además del préstamo de instalaciones, material y equipo para realizarlos.

Al Ing. Adolfo Altamirano Meza, por su ayuda en la realización de los ensayos de tracción, préstamo del equipo, operación del mismo y en la interpretación de resultados.

Al M.C. Jorge Luis Romero Hernández, por su ayuda en la realización de pruebas de microscopía electrónica de barrido, tanto en el préstamo del equipo utilizado para realizarlas cómo en la operación del equipo.

Al Dr. Filiberto Rivera Torres, por su ayuda en la realización de pruebas de fotometría, préstamo del equipo y espacio para realizar las pruebas.

Al Dr. Arturo Barba Pingarrón, por su colaboración en la revisión y recomendaciones para el presente escrito.

Al Arq. Marcos Javier Ontiveros Hernández, por su colaboración en la revisión y recomendaciones para el presente escrito.

Al Laboratorio de Procesamiento de Plásticos, así como a sus integrantes de distintas generaciones, que apoyaron para el desarrollo del proyecto del presente escrito.

Contenido

Introducción	1
Objetivo General	1
Objetivos Particulares	2
Metas.....	2
Hipótesis.....	2
1. Antecedentes	3
1.1 Tenso-estructuras y cubiertas ligeras	3
1.2 Nacimiento y antecedentes de las estructuras velarias	4
1.3 Tipos de Velarias	6
1.4 Materiales de construcción para velarias	7
1.5 Sistemas de anclaje	7
1.6 Tendencias	8
1.7 Justificación de la investigación.....	12
2. Marco Teórico	13
2.1 Sustentabilidad o sostenibilidad.....	13
2.2 Yute	13
2.3 Nopal <i>Opuntia Ficus-Indica</i>	15
2.4 Almidón.....	19
2.5 Bioplástico	20
2.6 Plastificación utilizando fécula de maíz.....	22
2.7 Utilización del nopal como agregado	23
2.8 Ensayo de tracción mediante norma ISO-1421	25
2.9 Fotometría	27
2.10 Estereoscopía	29
2.11 Microscopía electrónica.....	29
3. Desarrollo Experimental	33
3.1 Descripción de equipo utilizado para los distintos experimentos	33
3.2 Estudio y elección del tipo de Yute a utilizar para la matriz del material compuesto	36
3.2.1 Obtención de resistencia de los tipos de yute mediante ensayos de tracción	38
3.3 Elaboración de propuestas para material compuesto de la membrana.....	39
3.3.1 Elaboración de un biopolímero realizado a partir del almidón de maíz (BP1).....	39
3.3.2 Elaboración de un biopolímero realizado con fécula de maíz y polvo de nopal (BP2)	40
3.3.3 Modificación del biopolímero BP2 mediante la utilización de CaO (BP3)	41
3.3.4 Recubrimiento en telas de yute con Biopolímero BP1	43
3.3.5 Recubrimiento a telas de yute con Biopolímero BP3	44

3.3.6	Recubrimiento con resina a muestras con Biopolímero BP3	47
3.3.7	Recubrimiento del yute tipo "C" con resina estireno-acrítica	48
3.3.8	Recubrimiento del yute tipo "C" con resina estireno-acrítica y nopal	48
3.4	Caracterización del material compuesto	49
3.4.1	Ensayos mecánicos de tracción.....	49
3.4.2	Fotometría.....	50
3.4.3	Observación mediante estereoscopia	51
3.4.4	Observación mediante microscopía electrónica de barrido (SEM)	52
4.	Resultados y Análisis	53
4.1	Conformado de materiales compuestos.....	53
4.1.1	Conformado del biopolímero BP1	53
4.1.2	Conformado de BP2.....	53
4.1.3	Conformado de BP3.....	55
4.1.4	Recubrimiento del yute tipo "C" con BP1.....	58
4.1.5	Recubrimiento del yute tipo "C" con BP3.....	59
4.1.6	Recubrimiento del yute tipo "C" con BP3 y resina estireno-acrítica	60
4.1.7	Recubrimiento del yute tipo "C" con resina estireno-acrítica	61
4.1.8	Recubrimiento del yute tipo "C" con resina estireno-acrítica y polvo de nopal	61
4.2	Nomenclatura para los materiales compuestos realizados y textiles utilizados	62
4.3	Ensayos mecánicos de tracción	63
4.3.1	Resultados promedio de los diferentes textiles.....	63
4.3.2	Resultados promedio de los materiales compuestos.....	65
4.4	Resultados de fotometría	67
4.5	Resultados de observación estereoscópica y microscópica	68
5.	Conclusiones	71
<i>Anexos</i>	73
Ensayos de mecánicos de tracción		73
Elaboración de Materiales Compuestos		82
Composición másica.....		83
Resultados de fotometría		87
Imágenes microscópicas.....		90
Imágenes estereoscópicas.....		95
<i>Índice de Figuras</i>		98
<i>Índice de Tablas</i>		100
<i>Índice de Anexos</i>		101

Introducción

El presente escrito contiene una investigación acerca de los materiales para cubiertas ligeras, utilizadas en el campo de la construcción arquitectónica. Así mismo, se describen los orígenes y las tendencias sobre materiales sostenibles en esta área de estudio.

En la actualidad están avanzando los conocimientos en distintos campos de la ciencia, lo cual permite que se desarrollen proyectos innovadores, en este caso enfocados en las áreas de la construcción y del diseño de los nuevos materiales compuestos.

El presente trabajo tuvo su origen en la necesidad de crear una cubierta ligera fabricada con materiales sustentables, con el propósito de dar paso a materiales que puedan servir como alternativa a los tradicionales, para aplicaciones específicas. Las cubiertas ligeras pueden trabajar en conjunto con estructuras que utilicen recursos naturales, como por ejemplo el bambú, dando cabida a la creación de un nuevo tipo de arquitectura.

El principal reto del proyecto descrito en este trabajo es el conformado de un material compuesto con el cual sea posible generar la cubierta ligera que se requiere, cumpliendo con los requerimientos del proyecto, entre los que se encuentran la sustentabilidad y el bajo costo.

De esta manera, se optó por desarrollar un material compuesto a base de un textil natural recubierto. El textil seleccionado para este trabajo fue el yute, que tiene su origen de la planta que lleva el mismo nombre, la cual es cultivada en México, principalmente en el estado de Guerrero. Esta se recubrió con material plástico a base de resina estireno-acrílico.

Es importante destacar que el presente trabajo presenta varias alternativas de componentes para formar el material compuesto adecuado. Así mismo, se realizaron pruebas de tensión y ópticas para valorar las propiedades de resistencia mecánica y obstrucción de la luz respectivamente.

Este trabajo consta de cinco capítulos que describen el desarrollo del proyecto, desde el conocimiento básico sobre cada componente hasta la conclusión de las metas descritas.

Objetivo General

Diseñar, generar y caracterizar un material compuesto del tipo biodegradable para determinar sus propiedades mecánicas, estéticas y ópticas para su posible utilización en la fabricación de membranas flexibles, las que cubrirán una tenso-estructura arquitectónica sustentable.

Objetivos Particulares

Identificar y seleccionar materiales textiles disponibles en el país, para hacer una posterior selección del adecuado para la elaboración del material y así aprovechar recursos de origen nacional.

Mediante ensayos mecánicos, observación microscópica y ensayos ópticos, se determinará la capacidad del material compuesto para su utilización en una cubierta ligera.

Implementar un proceso de manufactura que sea sencillo de aplicar con características económicas para su uso en estructuras arquitectónicas de carácter temporal.

Metas

Realizar la investigación y experimentación sobre materiales compuestos para la selección de un yute con buenas propiedades para una aplicación en tenso-estructuras.

Obtener un material compuesto formado por el textil natural “yute” con un recubrimiento plástico.

Determinar las propiedades mecánicas y ópticas del material compuesto elaborado para definir sus propiedades.

Implementar una metodología sistemática de aplicación *in-situ* del material compuesto sustentable en un prototipo arquitectónico.

Hipótesis

Es posible obtener un material compuesto sustentable cuya materia prima sea de origen natural.

Es posible desarrollar un biopolímero a base de fécula de maíz para recubrir el textil de yute.

Se puede alterar la resistencia del yute mediante la adición de fibras naturales y al aplicar un material polimérico como recubrimiento, con la finalidad de proteger las fibras naturales.

Es factible utilizar el material diseñado como cubierta para una tenso-estructura arquitectónica específica.

El material generado, de acuerdo con el origen de sus componentes, podrá ser sustentable en su mayor parte.

1. Antecedentes

1.1 Tenso-estructuras y cubiertas ligeras

Una tenso-estructura es una forma arquitectónica que ha sido diseñada y construida mediante la utilización de membranas sometidas a tensión para lograr geometrías específicas son usadas para cubrir un espacio determinado. Logran una gran estabilidad haciendo una combinación equilibrada entre la fuerza de elementos rígidos (tales como postes, arcos, etc.) junto con la versatilidad y adaptabilidad de elementos flexibles (velarias y cables) (Arquigrafiko, 2018). En la *Figura 1* se observa una tenso-estructura diseñada por Günter Behnisch, contando con la asesoría sobre la estructura tensada de Frei Otto.



Figura 1. Tenso-estructura de Günter Behnisch en Munich, Alemania¹

Existen distintos tipos de sistemas estructurales utilizados en las construcciones arquitectónicas; uno de ellos es el que sirve para la realización de las llamadas cubiertas ligeras. Estas son aquellas que ayudan a cubrir un espacio determinado utilizando la menor cantidad de recursos disponibles (ya sean materiales, energéticos, económicos, etc.), y que obtiene la rigidez mediante la forma. Dentro de los sistemas de cubiertas ligeras, se destacan las llamadas velarias (Salinas, 2014).

Se ha hecho un gran avance en el desarrollo de las tenso-estructuras como cubiertas, lo cual ha logrado un mejoramiento de espacios, debido a diversos factores estructurales que presentan una ventaja sobre estructuras rígidas. El diseño depende de las necesidades y características de un proyecto arquitectónico específico a desarrollar (Ezael Pedroza, 2015).

Las tenso-estructuras, dentro de la industria del diseño arquitectónico y de la construcción, pueden referirse a ellas como: tenso-formas, membranas arquitectónicas, membranas

¹ Tenso-estructura realizada para los Juegos olímpicos del 75 en Alemania

Autor de figura: Jorge Royan

Fuente: Wikipedia

textiles, tensostáicas, envolturas textiles; aunque todas las formas convergen en la forma de Arquitectura Textil (Arquigrafiko, 2018).

1.2 Nacimiento y antecedentes de las estructuras velarias

Desde épocas antiguas en dónde las civilizaciones han necesitado protegerse de las condiciones que se puedan presentar a la intemperie, el hombre ha buscado protección del medio. Han existido a lo largo de la historia distintos métodos que se han utilizado para cubrir la necesidad de refugio.

Lo que siempre ha gustado en estructuras de este tipo es su practicidad, la movilidad que poseen y el aprovechamiento de diversos materiales.

En la antigüedad se construían refugios y se desarrollaban sistemas propios de construcción, todos obtenidos de forma empírica. Los conocimientos para realizar las estructuras en ese tiempo se obtenían con los conocimientos transmitidos por generaciones, utilizando el método de ensayo y error. Es por ello por lo que no se tiene un origen determinado, ni un fin establecido, ya que simplemente se encontraban en un cambio constante (Ezael Pedroza, 2015).

Los diseños realizados por los nómadas para poder resguardarse de las condiciones adversas de clima a las que se enfrentaban debían ser ingeniosos. Algunas culturas utilizaban el concepto básico de cubierta cónica, como se muestra en la *Figura 2*. En esta figura se presenta un ejemplo de vivienda conocida como tiendas 'tipis', las cuales eran comunes en Norteamérica, utilizadas por los indios (Arquigrafiko, 2018).

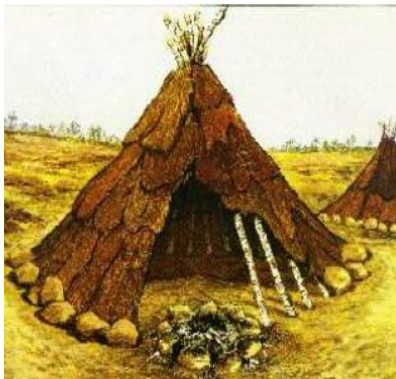


Figura 2. Vivienda de la antigüedad²

Las estructuras velarias también tuvieron su presencia en la cultura Romana, en dónde se utilizaban para la realización de actividades cotidianas, tales como el circo romano, en dónde se realizaban los combates de gladiadores, por ejemplo.

² Imagen obtenida del artículo: “Tenso-estructuras de cubierta” de E. Pedroza, Dr. S. Tulio De la Cruz, Mtro. A. Rodríguez, Mtro. Eduardo Aguilera.

Una de las obras más sobresalientes que se tienen de la cultura romana es el velario del coliseo, es un inmenso telón que se desplegaba en una arriesgada maniobra. Lo hacía una escuadra de marineros de la flota imperial de Miseno, para proteger a los espectadores contra el calor del sol. En la *Figura 3* se muestra una imagen del coliseo romano cubierto por el velario.



Figura 3. Velario del Coliseo Romano³

En la *Figura 4* se muestra la forma en la que se desplegaba el telón para dar la cobertura sobre el coliseo.

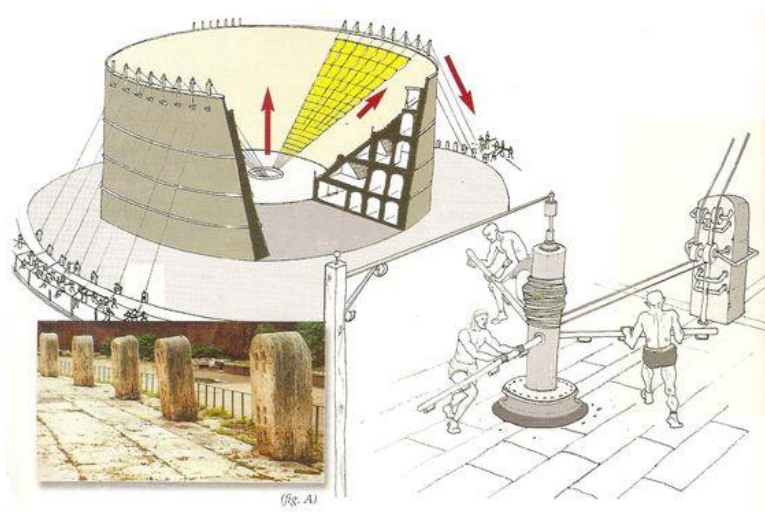


Figura 4. Mecánica del Velario del Coliseo Romano⁴

³ Imagen obtenida mediante la página web Wikipedia

⁴ Imagen obtenida mediante el sitio web: <https://sites.google.com/site/analisiscriticodearquarte/unidad-2/roma/coliseo-romano>

1.3 Tipos de Velarias

Este tipo de estructuras pueden ser clasificadas respecto a su forma geométrica, la cual varía dependiendo del anclaje y los soportes que éstas presentan (Ezael Pedroza, 2015).

Debido a la forma que pueden conseguir estas estructuras pueden distinguirse entre dos tipos: la sinclástica y la anticlástica. La superficie superior, en la *Figura 5*, es anticlástica y la inferior es sinclástica.

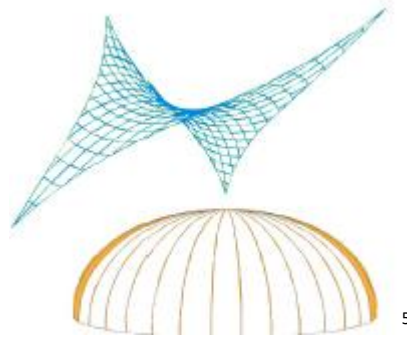


Figura 5. Formas anticlásticas y sinclásticas

En las superficies anticlásticas los centros de curvatura en direcciones ortogonales de las membranas se encuentran en los lados opuestos de la superficie. Un ejemplo puede ser un paraboloides hiperbólico.

Para las superficies sinclásticas los centros de las curvaturas se encuentran en el mismo lado de la superficie. Por ejemplo, las esferas.

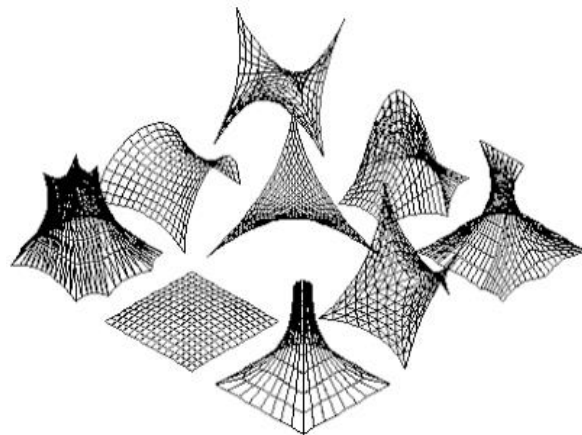


Figura 6. Ejemplos de geometrías alcanzables para la cubierta textil⁶

⁵ Imagen obtenida del artículo: “Tenso-estructuras de cubierta” de E. Pedroza, Dr. S. Tulio De la Cruz, Mtro. A. Rodríguez, Mtro. Eduardo Aguilera.

⁶ Imagen obtenida de la página web: <http://soy-arquitectura.blogspot.mx/2013/11/arquitectura-textil-o-velarias.html>

1.4 Materiales de construcción para velarias

Con el paso de los años han sido descubiertos nuevos materiales con los cuales ahora se trabaja para el diseño y construcción de las tenso-estructuras. Los materiales ayudan para la creación de nuevas estructuras que cumplan requerimientos más específicos y lo que hace que se utilicen en una mayor cantidad de lugares y ayuda al incremento de la eficacia de las estructuras de cubierta.

Uno de los cambios más sobresalientes en la evolución de los materiales es la implementación de textiles no provenientes de materiales orgánicos, ya sea de las pieles de los animales o de los tejidos naturales, ya que debido al descubrimiento de nuevos materiales fácilmente moldeables como lo es el plástico, se ha logrado implementar una serie de diversos tejidos a base una gran diversidad de materiales. La razón principal es que la gran mayoría de las estructuras de cubiertas tensadas son de fácil construcción y su ligereza y practicidad de esta son grandes ventajas.

La gran mayoría de los textiles que se utilizan para las cubiertas, están hechas de compuestos de fibras y polímeros; cómo el PVC, el nylon, politetrafluoroetileno, fibra de vidrio con teflón, poliéster y en algunos casos fibra de carbono y/o kevlar (Ezael Pedroza, 2015).

El componente de la estructura que cumple con la función de cubierta es la membrana o textil, puesto que estos hacen que se puedan adquirir una gran variedad de formas debido a su gran elasticidad y resistencia a la tracción.

Las membranas textiles se componen de distintas combinaciones de materiales que elevan la calidad y vida útil, por ejemplo, la combinación de capas, las cuales cuentan con diversos propósitos a la hora de su funcionamiento; en estas capas se encuentran materiales como bases de tejido, los cuales son los encargados de proporcionar la resistencia. Otras capas de PVC las cuales cubren de los rayos solares y agentes atmosféricos que puedan reducir la vida útil del material; además de también componerse de una capa impermeabilizante que permite la evacuación de las aguas de lluvia y la humedad que se pudiera presentar (Ezael Pedroza, 2015).

1.5 Sistemas de anclaje

Se pueden encontrar distintos medios de anclaje, los cuales pueden ser diferenciados por su función con respecto al comportamiento presentado en la estructura específica. En la siguiente figura podemos encontrar un ejemplo muy simple sobre un sistema de soporte.

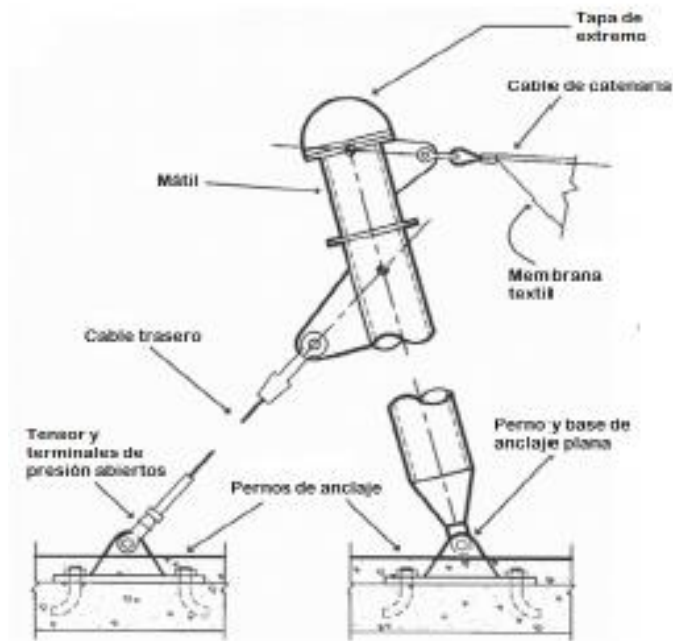


Figura 7. Ejemplo de un sistema de soporte⁷

Se pueden encontrar los sistemas estáticos o rígidos que son aquellos que impiden el movimiento en diversas direcciones y mantienen una rigidez, mientras que en algunos otros tipos hay elementos que permiten movimientos como rotación en varias direcciones o restringidos a sólo un grado de libertad (Ezael Pedroza, 2015).

En una estructura que es tensada, el principal comportamiento es basado en la tensión producida por los anclajes y mástiles. A diferencia de las estructuras convencionales donde su comportamiento se basa en su peso y su rigidez, como las estructuras de piedra, concreto, acero y madera, que son estas propiedades las que hacen posible una transmisión de cargas a las bases de éstas en las estructuras tensadas no se cuenta con estas características, debido a que el peso y la rigidez, en el área de distribución de cargas, es mucho menor (Ezael Pedroza, 2015).

1.6 Tendencias

Este tipo de estructuras pueden ser encontradas en distintas zonas del mundo, así como también en campos de aplicación completamente diferentes. A continuación, se muestran algunos ejemplos actuales de estructuras que se basan en la idea de las cubiertas ligeras. En la *Figura 8* se utiliza una velaria para cubrir una terminal de pasajeros.

⁷ Imagen obtenida del artículo: “Tenso-estructuras de cubierta” de E. Pedroza, Dr. S. Tulio De la Cruz, Mtro. A. Rodríguez, Mtro. Eduardo Aguilera.



Figura 8. Terminal Pasajeros Moll Vell Port de Mallorca (España)⁸

Se puede recurrir a este tipo de cubiertas para protección de áreas en dónde se llevarán a cabo actividades deportivas, cómo en los casos que se muestran en la *Figura 9* y en la *Figura 10*.



Figura 9. Cubierta hinchable Presostática CN Montjuic (España)⁹

⁸ Imagen obtenida del sitio: <https://www.arquitecturatextil.com/obras/?order=ASC>

⁹ Imagen obtenida del sitio: <https://www.arquitecturatextil.com/obras/?order=ASC>



Figura 10. Cubierta Pistas Padel La Cartuja (España)¹⁰

Se mencionan a continuación algunos casos de estructuras con cubiertas ligeras en México; dónde se puede resaltar el tipo de geometrías más complejas que las mostradas anteriormente, así como las aplicaciones individuales de cada estructura.

En la *Figura 11* se muestra una cubierta itinerante de rápida instalación para casos de emergencia, el diseño ha sido patentado, y es capaz de cubrir una superficie de 200 metros cuadrados. Se utiliza una estructura portante de cuatro arcos parabólicos de 14 metros de claro. Se transporta todo el sistema en una camioneta y su instalación requiere un tiempo aproximado de 24 horas. La geometría que tiene la estructura le permite hacer configuraciones individuales o articuladas para cubrir una mayor área, el textil utilizado está hecho de fibras de poliéster recubiertas con PVC.



Figura 11. MODUNAM, Cubierta Itinerante¹¹

¹⁰ Imagen obtenida del sitio: <https://www.arquitecturatextil.com/obras/?order=ASC>

¹¹ Imagen obtenida del sitio web de la Facultad de Arquitectura: <http://arquitectura.unam.mx/estructuras.html>

Para el siguiente caso, en la *Figura 12*, la aplicación no está enfocada en cubrir un área de un espacio, sino que se quiere cubrir un medio de transporte. El concepto es de Gilberto Borja y Pablo Amor. La idea está enfocada para aplicaciones en un hotel de gran turismo, en dónde en sus canales tipo cenotes se utilizará un transporte acuático, además de dejar con ello un sello cultural recordando este transporte folclórico.

Estas canoas fueron fabricadas en Xochimilco por métodos tradicionales con madera huizache y pino. Esta membrana ganó en el 2007 el premio “Outstanding Achievement Award” otorgado por la Asociación Internacional de la Industria Textil (IFAI).



Figura 12. Trajineras del Mandarin Oriental¹²

La *Figura 13* muestra una cubierta de membrana textil para el patio central universitario de teatro que forma parte del *Paseo de las estructuras*, las guías están hechas de acero. La cubierta tiene dos linternillas elípticas cubiertas con policarbonato y están soportadas por los postes flotantes arbóreos anclados a los paramentos de los edificios.



Figura 13. Patio central universitario de teatro¹³

¹² Imagen obtenida del sitio web de la Facultad de Arquitectura: <http://arquitectura.unam.mx/estructuras.html>

¹³ Imagen obtenida del sitio web de la Facultad de Arquitectura: <http://arquitectura.unam.mx/estructuras.html>

1.7 Justificación de la investigación

La evolución tanto en diseño y construcción de las estructuras de cubierta ligera, así como el descubrimiento y estudio de los nuevos materiales han hecho que este tipo de técnicas para cubrir espacios sea más popular en esta época.

Debido a que se siguen estudiando y construyendo nuevas estructuras arquitectónicas, se han desarrollado proyectos que impulsen el desarrollo de los conocimientos y técnicas concernientes a este tema y gracias a ellos se pueden dar solución a problemáticas de espacio, cobertura y tiempos de construcción.

Con las tendencias hacia lograr la sustentabilidad, se ha incrementado el uso de materia prima de bajo costo, de fuentes renovables para construir tenso-estructuras con materiales naturales en su mayoría, combinados con polímeros sintéticos para alcanzar los requerimientos de una arquitectura incipiente para el aspecto sostenible.

2. Marco Teórico

2.1 Sustentabilidad o sostenibilidad

Un concepto aplicado a esta palabra que da una gran idea de su significado es el siguiente: “Sustentable es algo que se puede sostener a lo largo del tiempo sin agotar sus recursos o perjudicar el medio ambiente” (Significados, 2018).

Puede entenderse entonces que es una cualidad aplicada por un conjunto de personas dentro de una misma sociedad para realizar un uso inteligente de sus recursos, de tal manera que no se agoten.

2.2 Yute

El yute mejor conocido como “fibra dorada”, cuyo nombre científico es *Corchorus Capsularis*, es una planta de origen tropical con una humedad del 60% al 90% (FAO, 2018), la que se extrae principalmente de la India, aunque también existen partes de México dónde se cultiva, encontrándose estas zonas en el Estado de Guerrero (Martha Gual-Díaz, 2008). Ésta y el algodón son dos de las fibras naturales más utilizadas a nivel mundial. Se explotan distintas familias de esta planta, pero la *Corchorus Capsularis* y el *Corchorus Olitorius* son las más utilizadas (Deyute, 2018).



Figura 14. Planta *Corchorus Capsularis*¹⁴

El procesado del yute comienza con el sembrado de las semillas (comúnmente se realiza entre los meses de marzo a junio), después de dos o tres días germinan y la planta florece hasta después de tres o cuatro meses (Deyute, 2018). Un mes después de que comienzan a florecer y antes de que los frutos maduren, se cortan los tallos a la altura de suelo (Deyute, 2018). Después de cortarse, las plantas son atadas en haces para posteriormente ser secadas y que se les retiren las hojas y ramas. Una vez hecho se separan las partes leñosas de las fibras de yute a una temperatura de 30°. Este proceso es tardado y puede

¹⁴ Imagen de libre distribución obtenida del sitio: <https://www.flickr.com/photos/iita-media-library/6219718237>

llegar a consumir tres semanas. Una vez separadas las fibras nuevamente son secadas. Al terminar se doblan y se preparan para su distribución (Deyute, 2018).

Entre los distintos usos del yute, se destacan la arpillera, manufactura de hilo y cordeles, tejidos en cortinas, cubiertas de sillas, tapetes, tapices y forros para linóleo. También se realiza su mezclado con otras fibras, para cubiertas de cojines, juguetes, papel de colgadura, pantallas de lámparas y zapatos. También se realizan empaques rígidos, en plástico reforzado (FAO, 2018).

Una de las principales ventajas del yute es su alta resistencia, además de que sus geotextiles (tejidos permeables) son biodegradables, flexibles, aunque absorben la humedad, favoreciendo un buen drenado. Esto ayuda a prevenir erosión del suelo y los deslizamientos de la tierra (FAO, 2018).



Figura 15. Textil de Yute¹⁵

A continuación se presenta una tabla en donde se muestra el porcentaje de humedad promedio para distintos tipos de fibra utilizados en textiles (Luis Edgar Moreno M, 2007).

Tabla 1. Porcentaje de humedad para distintas fibras usadas en textiles

Tipo de fibra	% Contenido de humedad promedio
Fique	13.2
Yute	12.5
Lino	11.5
Kenaf	9.8
Cáñamo	9.5
Algodón	9
Ramio	7.5
Guadua Angustifolia	7.1

¹⁵ Obtenida de manera libre del sitio: <https://pixabay.com/es/yute-bolsa-de-yute-fibras-1003017/>

Entre las ventajas del yute tenemos (Empresas Castilla, 2018):

- Es natural al 100%, lo que lo vuelve un material biodegradable
- Es una de las fibras vegetales más baratas
- Es la segunda fibra vegetal (después del algodón) con mayor importancia en cuanto a su consumo a nivel mundial
- Tiene una alta resistencia a la tensión, comparado con otros textiles de su tipo, y posee una baja deformación, lo que facilita la transpiración de los tejidos, y gracias a ello se utiliza en empaquetado de productos agrícolas básicos.
- Es utilizado en diversas industrias, como la textil, no-textil, embalaje, agricultura y construcción
- Posee propiedades aislantes y antiestáticas
- Tienen una baja conductividad térmica
- Sirve como aislante acústico
- No genera irritaciones cutáneas
- No tiene ningún problema al combinarse con otras fibras de origen natural o sintético
- Al ser tratadas con hidróxido de sodio, aumenta su suavidad, sedosidad y flexibilidad
- Al tratarse con amoníaco se presentan características similares al ser tratadas con hidróxido de sodio, pero la ventaja que presenta este tratamiento es aumentar la resistencia a la flama, mezclándose con agentes retardantes
- Presenta una gran resistencia a las arrugas

Entre las desventajas del yute se encuentran (Empresas Castilla, 2018):

- Fragilidad
- Desprendimiento de fibras
- Cambio de tonalidad en la luz solar
- Sensible a los ácidos
- Baja su resistencia cuando se humedece
- En climas húmedos, se puede presentar un ataque microbiano hacia las fibras

Una característica de los principales textiles de la industria, cómo el algodón y el rayón por ejemplo, es que poseen una mayor resistencia en su urdimbre (sentido longitudinal) que en su trama (sentido transversal) (Escobet).

2.3 Nopal *Opuntia Ficus-Indica*

El nopal es una planta cactácea típica en zonas áridas mexicanas, su orden es *Caryophyllales*, con familia *Cactaceae* y su género es *Opuntia* (Bioenciclopedia, 2018).

Esta planta llega a medir entre 1.5 y 3 metros de altura. Los tallos son aplanados y de un color verde con tonalidad grisácea. Sus flores tienen un color amarillo y sus frutos pueden

variar entre colores amarillos, rojos y púrpuras. Estas flores contienen pequeñas semillas que se consumen generalmente junto con la carne del fruto (FAO, 2018).

La reproducción de la planta es mediante semillas, aunque pueden ser plantadas con facilidad mediante los tallos desprendidos, ya que posee una alta resistencia a la sequía, es plantado para utilizarse como cortaviento y cerca natural (FAO, 2018).



Figura 16. Nopal¹⁶

Tiene su origen y domesticación en México, aunque en la actualidad esta planta se encuentra en zonas silvestres de diversos países, como ejemplo, los países mediterráneos, Angola, Australia, los Estados Unidos de América, Kenya y Sudáfrica (FAO, 2018).

¹⁶ Fotografía de: Stan Shebs

Características del Nopal

A continuación, se presentan algunos cuadros con características del nopal (Bioplástico, 2013).

Tabla 2. Análisis bromatológico de diferentes muestras de nopal¹⁷

COMPONENTES	NOPAL XOCONOSTLE	NOPAL FORRAJERA	NOPAL VERDURA	NOPAL PRINCESA	NOPAL SILVESTRE	NOPAL CULTIVADO
Materia Seca [%]	29.9	8	7.6	14.2	7.8	7.3
Humedad [%]	64.1	92	92.4	85.8	92.1	92.7
Grasa** [%]	2	8.2	7.6	1.1	6.6	7.2
Proteína ** [%]	0.8	0.25	0.03	0.06	0.3	0.3
Cenizas ** [%]	1.8	1.8	1.4	0.6	1.4	1.5
Azúcares Red Dir (B.H) [%]	0.8	0.18	0.09	0.14	0.22	0.23
Azúcares Red Tot (B:H) [%]	0.14	0.98	0.35	0.56	0.71	0.75
Acidez (ácida cítrico) [%]	0.11	0.3	0.24	0.13	0.28	0.33
pH	4.5	4.4	4.6	0.4	4.2	4.2
Sólidos Solubles [%]	7.2	5.7	4.9	6.4	5.2	5
Pectina (B.S) [%]	6.04	12.85	13	13.31	12.69	10.23
Pectina (B.H) [%]	1.26	1.4	1.34	1.89	1	0.74

*CODAGEM (1981) **BASE SECA

Tabla 3. Composición química del nopal¹⁸

Especies	% Materia Seca	% Proteína Cruda	% Extracto Etéreo	% Ceniza	% Fibra Cruda	% *E.L.N.
Opuntia Spp.	10	20	3	12	8.1	55
Opuntia Ficus Indica	8	6.8	1	8.88	-	81.25
O. Tomentosa	7.96	4.04	1.43	19.92	8.94	65.67
O. Imbricata	10.4	5	1.8	17.3	7.8	68.1

**Lastra y Pérez (1978) *Extracto libre de Nitrógeno

¹⁷ Resultados obtenidos en la Universidad de Guanajuato, rescatados del trabajo: El plástico de nopal (una alternativa sustentable). XXI Concurso universitario feria de las ciencias, la tecnología y la innovación.

¹⁸ Rescatado del trabajo: El plástico de nopal (una alternativa sustentable). XXI Concurso universitario feria de las ciencias, la tecnología y la innovación.

Tabla 4. Complemento, composición química del nopal¹⁹

Análisis	Características	Fuente
Humedad	70-95% El agua es el principal componente de los nopales y su contenido varía con la especie, humedad del suelo, la disponibilidad del agua en éste y edad de la planta.	Villareal et al. 1963
Compuestos Nitrogenados	7.33-13.63% Este elemento se encuentra en compuestos como las proteínas, en las pencas varía de 5.2-23% en base seca.	Villareal et al. 1963
Lípidos	1.22% El contenido de lípidos es bajo. Posee proporciones variables de triglicéridos, ceras, resinas, látex, flavonoides, taninos, pigmentos clorofiloides y carotenoides.	Villareal et al. 1963, Bravo-Hollins, 1078
Carbohidratos	8.49% Los principales carbohidratos son: glucosa, fructosa, arabinosa, xilosa, galactosa y ácido galacturónico.	Mc Garvie y Párolis, 1979, 1981
Vitaminas	Presencia de ácido ascórbico, caroteno, tiamina, riboflavina y niacina.	Villareal et al. 1963
Otros Compuestos Orgánicos	Se encuentran en menor proporción: almidones, aceites, celulosa, pectinas, ceras, saponinas, aceites esenciales, resinas, látex, fenoles, pigmentos y alcaloides.	Villareal et al. 1963
Mucílago	Está formada por: ácido galacturónico, L arabinosa, D xilosa, d Galactosa, y trazas de L ramosa.	Bravo-Hollins, 1978

El nopal se compone por cladodios, los cuales son: pencas que transforman la luz en energía química por medio de la fotosíntesis, están recubiertos por una cutícula del tipo lipídica, interrumpida por la presencia de las estomas mismas que permanecen cerrados durante el día. La cutícula del cladodio evita la deshidratación provocada por las altas temperaturas del verano. La hidratación normal del cladodio alcanza hasta un 95% de agua en peso (Bioplástico, 2013).

Una propiedad aprovechada desde épocas precolombinas, es su actividad cicatrizante, la cual hace que mediante extractos de polisacáridos extraídos de la planta se acelere la formación de colágeno, lo cual permite la cicatrización de tejidos (Arauz). Este tipo de

¹⁹ Rescatado del trabajo: El plástico de nopal (una alternativa sustentable). XXI Concurso universitario feria de las ciencias, la tecnología y la innovación.

propiedades es una de las principales razones por las que se tiene la hipótesis de que es posible utilizar el nopal como un agente de refuerzo debido a que el colágeno es una proteína estructural, y si el nopal favorece el aumento de esta sustancia, como consecuencia logrará un aumento en la resistencia del conformado final.

Cómo puede observarse en la *Tabla 4*, el nopal posee pectina y celulosa. La pectina es un polisacárido que se utiliza como espesante natural (Gadgets&Cuina, 2018), además de que al estar en presencia del calcio propicia la formación de geles (Calvo, 2018). Mientras que la celulosa es un polímero lineal compuesto por unidades de glucosa. La celulosa se utiliza principalmente como un agregado para dar resistencia a papeles y cartones (Tejedor, 2018). Debido a estas características es factible utilizar el nopal debido a que tiene componentes que pueden propiciar el aumento de resistencia a tracción de un material.

Polvos o Harina de nopal

Los cladodios, poseen un alto contenido en fibra y son una fuente importante de la misma. Se obtiene mediante un secado y molienda de éstos. El polvo o harina que se obtiene se destina principalmente para la industria alimenticia. Se usa en productos naturistas, tanto alimenticios como para fines médicos. La industria farmacéutica aprovecha las propiedades de la harina, y se utiliza en cápsulas de nopal, las cuales en el mercado mexicano se venden desde hace ya muchos años. Lo utilizan principalmente para combatir o controlar la obesidad y la diabetes (Bioplástico, 2013).

En otro tipo de industrias se han hecho desarrollos e investigaciones sobre la influencia que tiene el polvo de nopal para aumentar la resistencia en el concreto, la elaboración de bioplásticos. Como se explicará a detalle en trabajos posteriores.

2.4 Almidón

Es una parte importante en la dieta del hombre desde la prehistoria, además de que se le ha dado una gran cantidad de usos industriales. Es un polisacárido de gran abundancia y su comercio es destacable. Este tipo de compuestos es obtenido de alimentos como cereales, los tubérculos y en frutas como polisacárido de reserva energética (Bioplástico, 2013).

El almidón se conforma por polímeros de glucosa unidos por enlaces glúcidos α (1-4) y α (1-6), lo que permite dar lugar a dos fracciones básicas, la amilosa y la amilopectina está conformada por cadenas de glucosa unidas por enlaces glúcidos α (1-4), así como ramificaciones que se producen cuando el enlace es α (1-6) (Bioplástico, 2013), “El almidón contiene aproximadamente un 75% de amilopectina y 25% de amilosa” (Bioplástico, 2013).

2.5 Bioplástico

Definición de Polímero

La etimología de la palabra "polímero" tiene su origen de las palabras griegas: πολυς [polys] que significa "mucho" y μέρος [meros] cuyo significado puede ser "parte" o "segmento". Para términos prácticos se utiliza la palabra para referirse a un grupo unitario de átomos o moléculas que forman un arreglo característico. Es un material constituido al combinar varios monómeros o unidades (Askeland, 2004).

Clasificación según su origen:

Naturales:

También conocidos como biopolímeros, provienen de la naturaleza, y se pueden encontrar en los seres vivos. Algunos ejemplos de estos polímeros son: la celulosa, las proteínas, el almidón, la seda, el colágeno, el ADN, entre otros (Clasificación De, 2018) (Educativo, 2018).

Semisintéticos:

Tienen un origen natural, pero fueron modificados para su proceso. Algunos ejemplos son: Nitrocelulosa y el caucho (Clasificación De, 2018).

Sintéticos:

Son aquellos que se sintetizan en un laboratorio, o en procesos de producción en industrias; como el nylon, la baquelita, el PVC y el teflón (Educativo, 2018).

Plásticos

En el diccionario se tiene que la definición para plástico es: *“Dicho de un material: Que, mediante una compresión puede cambiar de forma y conservar esta de modo permanente, a diferencia de los cuerpos elásticos”*²⁰.

Otra definición del diccionario para “plástico” y la que se considerará primordial para el trabajo es: *“Dicho de ciertos materiales sintéticos: Que pueden moldearse fácilmente y están compuestos principalmente por polímeros, como la celulosa”*²¹.

Sus principales ventajas son que productos hechos de estos materiales poseen un costo reducido de fabricación, poseen resistencia al deterioro, impermeabilidad y pueden ser presentados en distintos colores (Definición de, 2018). Comúnmente se pueden reciclar, salvo excepciones en las que su conformado sea más complejo.

²⁰ Definición de la Real Academia Española

²¹ Definición de la Real Academia Española

Mecanismos de polimerización:

Los polímeros se forman a través de un proceso conocido como “*polimerización*”, en donde un conjunto de monómeros da origen a largas cadenas, utilizando calor, luz o algún catalizador (Educativo, 2018). Los mecanismos de polimerización pueden ser:

Por Adición: Los polímeros formados mediante este proceso, se desarrollan en los monómeros que cuentan con varias conexiones, incluso se observa en la mutación de células cancerígenas (Clasificación De, 2018).

Este tipo de polimerización tiene las siguientes etapas (Educativo, 2018):

- *Iniciación:* Participa una molécula denominada iniciador, que comienza el proceso rompiendo el doble o triple enlace de un monómero para unirse a otro.
- *Propagación:* En esta etapa la cadena comienza a crecer, debido a la repetición del monómero.
- *Terminación:* La cadena deja de crecer, debido a que se interrumpe el proceso por falta de monómeros.

Por Condensación: La polimerización por condensación es una reacción química de crecimiento por pasos, en donde se hace la combinación de dos o más monómeros, en esta se forma un sub-producto cada que se unen dos monómeros. En muchos casos, este sub-producto es agua u otra sustancia simple. A esta reacción se le conoce como reacción de condensación (Todo en polímeros, 2018).

En los polímeros que se forman mediante este proceso, los monómeros que intervienen tienen más de un grupo funcional, que es capaz de reaccionar con el grupo funcional de otro monómero, en donde, por cada nuevo enlace que se forma entre los monómeros, se da la liberación de una molécula más pequeña.

Los polímeros de condensación tienen la diferencia con los generados por adición que pueden llegar a ser biodegradables, ya que los enlaces peptídicos o éster pueden hidrolizarse mediante catalizadores ácidos o mediante enzimas bacterianas que ayudan a romper la cadena polimérica en partes mucho más pequeñas (Todo en polímeros, 2018).

Bioplásticos

Un bioplástico es un polímero obtenido mediante materias primas provenientes de la naturaleza, cuyo proceso no ha afectado en gran medida sus características orgánicas, lo que hace que no haya cambios sintéticos notables.

Estos plásticos orgánicos pueden obtenerse mediante productos vegetales, tales como el aceite de soya, el maíz, caña de azúcar o la fécula de papa. Es una gran ventaja, ya que no se estarían utilizando componentes derivados del petróleo (SL, 2018).

Una de las ventajas destacables de este tipo de materiales es que para su composición no se utilizan ftalatos o bisfenoles, entre otros aditivos que pueden llegar a ser dañinos para la salud (SL, 2018).

La resistencia de los bioplásticos llega a ser muy similar a la de los plásticos convencionales, Uno de sus tipos, conocidos como PHA, son poliésteres obtenidos mediante la fermentación de una materia prima vegetal con bacterias que han sido manipuladas y sometidas a estrés y, mediante matricería, pueden ser diseñadas piezas de automóviles, así como realizar bioimplantes e ingeniería de tejidos (SL, 2018).

La principal característica de estos plásticos es que pueden degradarse sin ningún problema, todo gracias a su origen orgánico, fabricados por materias primas renovables, cómo pueden ser el maíz, la yuca, las papas o el trigo. Estas sustancias al ser consumidas por organismos vivos (principalmente microorganismos y hongos) se pueden transformar en elementos químicos naturales (Vivir sin plástico, 2018).

Aunque pareciera un tema reciente, lo cierto es que no lo es del todo, ya que el primer plástico obtenido de origen vegetal es el celofán. Este material tiene sus orígenes a principios del siglo XX (UMICH, 2018). Uno de los bioplásticos más conocidos y utilizados actualmente es el políácido láctico (PLA).

2.6 Plastificación utilizando fécula de maíz

La fécula o almidón de maíz, es un almidón que puede ser utilizado para la elaboración de un bioplástico. Los biopolímeros pueden ser sintetizado utilizando moléculas provenientes de los seres vivos, como la celulosa, el almidón o los aceites vegetales (Malajovich, 2017).

Un biopolímero de almidón se realiza mediante la polimerización de una molécula básica proveniente de una fuente renovable, un ejemplo de ello es el ácido láctico. “La alteración de la estructura de un biopolímero mediante un agente dispersante lo transforma en un bioplástico” (Malajovich, 2017). En Figura 17 se observa una estudiante universitaria replicando bioplásticos a partir de la fécula de maíz, utilizando la metodología de D.M. Malajovich (Malajovich, 2017).



Figura 17. Elaboración de Bioplástico²²

2.7 Utilización del nopal como agregado

Elaboración de bioplástico utilizando mucílago

En un proyecto presentado para el *XXI Concurso Universitario FERIA de las Ciencias, la Tecnología y la Innovación* de la UNAM, presentado por la Escuela Preparatoria Oficial Anexa a la Normal de Teotihuacán, se realizó un plástico a partir del almidón de maíz, utilizando el mucílago del nopal y el glicerol como plastificantes.

En esta investigación, la concentración de mucílago y almidón fueron variadas de 5, 10 y 15 mL y .1 a .3 % respectivamente, con variaciones de pH entre 3.4 y 8.5 (Bioplástico, 2013). Los resultados reportados denotan cambios en la carga de ruptura desde 12.5 a 27.1 N, gracias a la influencia del nopal como agregado (Bioplástico, 2013).

Aumento de resistencia a compresión de cemento Portland mediante la adición de polvos de nopal

En esta investigación, se llevó a cabo la combinación de polvo de nopal con cemento Portland para aumentar su resistencia a la compresión (Montes, 2005). Se prepararon distintas mezclas para la elaboración de probetas y realización de ensayos de compresión cómo se muestran en la *Tabla 5*, cuyos resultados en la resistencia a la compresión a un tiempo de duración de 28 días se notaron en aumento respecto a la resistencia del cemento Portland, ya que con el agregado de nopal el cemento Portland aumentó su resistencia en un 105.27%, como se observa en la *Figura 18*.

Tabla 5. Dosificación de las mezclas de concreto hidráulico²³

Materiales	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3
Cemento [kg]	10.00	10.00	10.00
Arena [kg]	19.90	19.90	19.90
Grava [kg]	24.00	24.00	24.00
Agua [mL]	6,250	6,250	6,150
Polvo de Nopal [g]	0	35	35

²² Imagen obtenida de la guía Bioplásticos flexibles de almidón de la Dra. María Antonia Malajovich

²³ Tabla obtenida del Artículo: "Aprovechamiento total del nopal en cemento Portland".

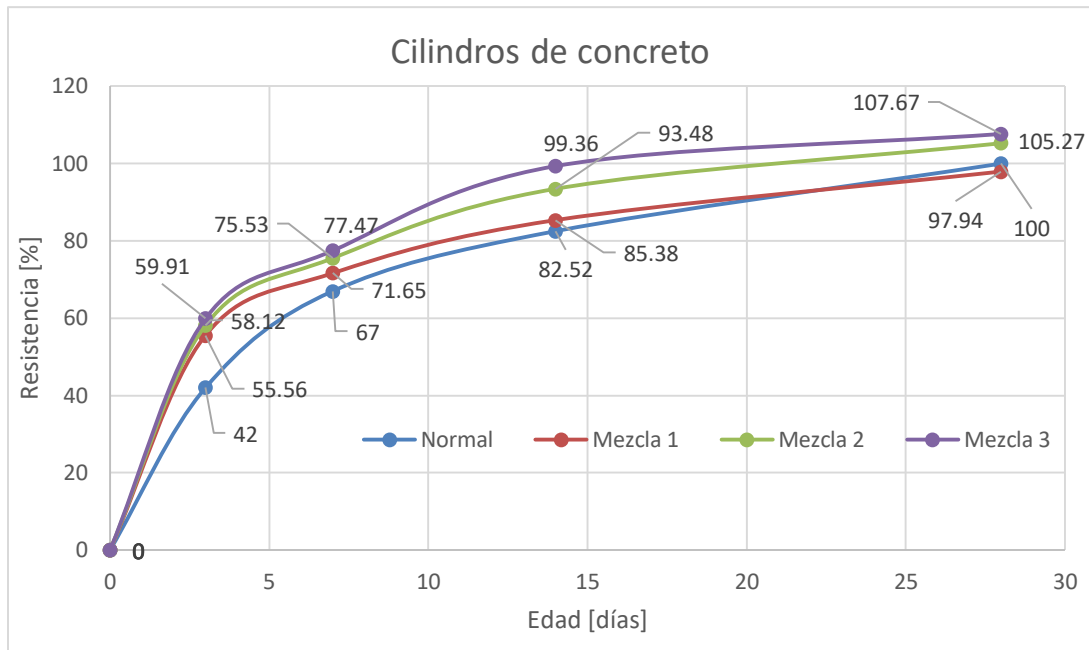


Figura 18. Resistencia en porcentaje de diferentes mezclas de cilindro variando el tiempo

Nanocompuestos termoplásticos a partir de microfibras del nopal (Mohamed E. Malainine, 2005).

Los nanocompuestos termoplásticos han sido producto de un trabajo destacado que sirvió de inspiración en la utilización de fibras de nopal para termoplásticos. En este trabajo, se realizaron suspensiones acuosas de microfibrillas de celulosa a partir de cladodios de *Opuntia Ficus-Indica*. Los nanocompuestos termoplásticos fueron sometidos a ensayos de tracción para comparar sus comportamientos en una curva de esfuerzo-deformación verdadera en función del porcentaje en peso de las microfibras de celulosa que se agregaron.

En la *Figura 19*, se observa que la variación en peso del contenido de componentes de nopal aumentan su rigidez y resistencia a medida que aumentaba la cantidad en peso de nanofibras hasta 10 wt% encontraron benéfico el uso de este componente base nopal.

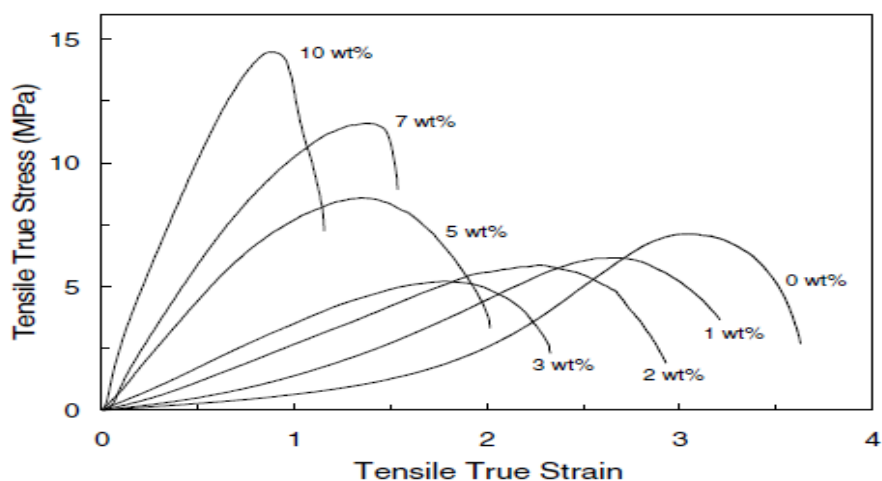


Figura 19. Gráfica de la resistencia a la tracción variando porcentaje en peso de microfibras²⁴

2.8 Ensayo de tracción mediante norma ISO-1421

La norma ISO-1421 tiene por título “Tejidos recubiertos de plástico o caucho. Determinación de la resistencia a la tracción y la deformación en la rotura”.

En esta norma se describen dos métodos que se utilizan para la determinación de la resistencia a la tracción de los tejidos recubiertos de caucho o de plástico.

El primer método mencionado en la norma es el *Método de ensayo sobre banda preparada*, con este se determina la resistencia a la tracción y del alargamiento en la rotura.

El segundo método es el *Método de ensayo grab*, el cual determina la resistencia a la tracción como único resultado.

Por facilidad en cuanto a metodología, y ya que es un ensayo más completo, se describirá y utilizará el primer método de la norma.

Para ambos métodos es indispensable que las mordazas no sean de menor dimensión que la anchura de la pieza de ensayo y deben tener, preferiblemente, una anchura de al menos 60 mm.

²⁴ Figura obtenida del Artículo: “Aprovechamiento total del nopal en cemento Portland”.

Método de ensayo de tracción sobre banda preparada:

Para el primer método se deben preparar muestras de la siguiente manera, se cortarán dos conjuntos de piezas de prueba en la dirección longitudinal y la otra en la dirección transversal. Cada conjunto estará compuesto por no menos de cinco piezas de ensayo.

Las probetas deberán ser de $50 \text{ mm} \pm 0.5 \text{ mm}$ de anchura y una longitud que sea suficiente para que permita una distancia de $200 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ entre las mordazas de la máquina de prueba. Si el alargamiento es superior al 75%, se tiene que reducir la longitud de $100 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$. El número de probetas mínimas indicadas para realizar este método según la norma es de 5 probetas para cada sección, longitudinal y transversal, según se muestra en la *Figura 20*.

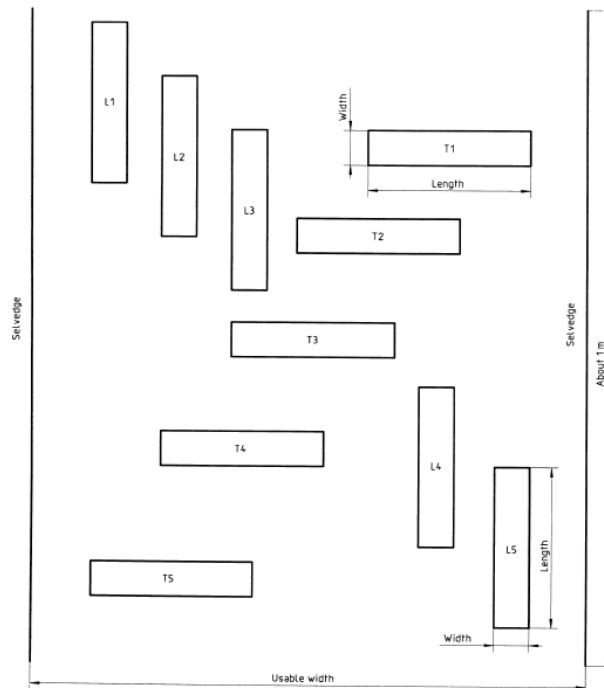


Figura 20. Ejemplo de corte para muestras textiles con método 1²⁵

Se debe de ajustar una tensión previa, la cual se determinará según las siguientes condiciones:

- 2 N para tejidos recubiertos hasta $200 \frac{\text{g}}{\text{m}^2}$
- 5 N para tejidos recubiertos más de $200 \frac{\text{g}}{\text{m}^2}$ hasta $500 \frac{\text{g}}{\text{m}^2}$
- 10 N para tejidos recubiertos más de $500 \frac{\text{g}}{\text{m}^2}$

La velocidad de operación tiene que ser constante y deberá tener el valor de 100 mm/min.

²⁵ L: Sentido Longitudinal

T: Sentido Transversal

Imagen obtenida de ISO 1421:1998

Una vez realizado el ensayo se obtendrá la resistencia a la tracción y el alargamiento a la ruptura del textil a probar.

2.9 Fotometría

Luz

El concepto de “luz” es referido a la radiación electromagnética que se encuentra en la banda estrecha de frecuencias desde 3.84×10^{14} Hz hasta aproximadamente 7.69×10^{14} Hz. Esta es producida por una nueva disposición de los electrones exteriores que se encuentran en los átomos y en las moléculas (Hecht, 2017).

Luz Blanca

La luz blanca es una mezcla de todos los colores del espectro visible (Hecht, 2017).

Fotometría

Es la ciencia que se encarga del estudio de la capacidad de la radiación electromagnética, únicamente dentro del rango del espectro visible (Montserrat, 2018).

Flujo Luminoso

El flujo luminoso o cómo también se le conoce, potencia luminosa, es el flujo emitido hacia todas las direcciones posibles desde fuente de luz, durante un tiempo determinado (Montserrat, 2018). Las unidades del flujo luminoso manejadas por el Sistema Internacional de Unidades es el lumen [lm] (Montserrat, 2018).



Figura 21. Flujo Luminoso²⁶

²⁶ Imagen obtenida de: <https://grlum.dpe.upc.edu/manual>

Intensidad Luminosa

Se refiere al flujo luminoso emitido en una dirección dada por una fuente de luz durante un tiempo determinado, para un ángulo sólido de valor un estereorradián. Su unidad para el Sistema Internacional es la candela [cd] (Montserrat, 2018).

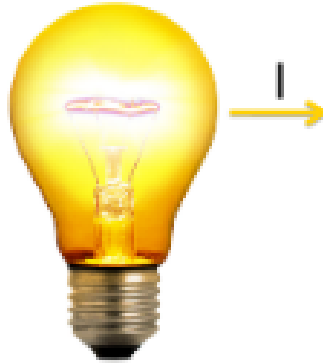


Figura 22. Intensidad Luminosa²⁷

Iluminancia

La iluminancia, o también conocida como nivel de iluminación, es la incidencia de un flujo luminoso sobre una superficie. Para el Sistema Internacional de Unidades se utiliza como unidad del lux [lx]. El lux se define como la iluminación que produce un lumen que incide sobre una superficie de un metro cuadrado. Se mide con un luxómetro (Montserrat, 2018).

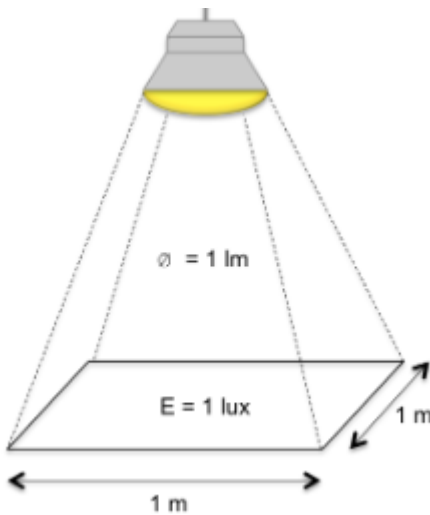


Figura 23. Iluminancia²⁸

Es posible calcular la intensidad lumínica a través de la iluminancia, mediante el uso de la siguiente ecuación (RapidTables.com, 2018).

²⁷ Imagen obtenida de: <https://grlum.dpe.upc.edu/manual>

²⁸ Imagen obtenida de: <https://grlum.dpe.upc.edu/manual>

$$I [cd] = E [lx] \times (d [m])^2$$

Figura 24. Ecuación de la Intensidad Lumínica

En dónde I se refiere a la intensidad luminosa en candelas, la E es la iluminancia expresada en lux, y la distancia a la cual se encuentra la fuente de la superficie en metros.

2.10 Estereoscopía

Es una técnica utilizada desde 1838, Sir Charles Wheatstone inventó el estereoscopio (EcuRed, 2018). La técnica consiste en recoger información visual tridimensional y con ello dar la sensación de profundidad, esto se logra mediante el uso de un estereoscopio (Castro, 2018). Un estereoscopio es un aparato capaz de permitir al usuario la observación de una imagen tridimensional a partir de la presencia de una doble imagen que es mezclada en el cerebro como una sola imagen estereoscópica (EcuRed, 2018).



Figura 25. Ejemplo de estereoscopio²⁹

2.11 Microscopía electrónica

Un microscopio óptico tiene una potencia amplificadora limitada por la longitud de onda de la luz visible, mientras que el electrónico utiliza electrones para iluminar un objeto. Gracias a que los electrones poseen una longitud de onda inferior a la de la luz visible, es posible observar estructuras más pequeñas. Haciendo una comparación en cuanto a las longitudes de onda, para la luz visible, la longitud de onda más pequeña es de 4 angstroms, mientras que para los electrones que ocupan el microscopio electrónico es de aproximadamente 0.5 angstroms (Gonzalez, 2018).

Los microscopios electrónicos disponen de elementos básicos para su correcto funcionamiento. El primer elemento es el cañón de electrones, ya que gracias a éste se podrán emitir los electrones que chocaran con la muestra de estudio y, de esta manera, se crea una imagen aumentada. También se compone de lentes magnéticas, los cuales crean campos que hacen el direccionamiento y enfoque del haz de electrones

²⁹ Obtenido de EcuRed.cu

(sustituyendo de esta manera los lentes ópticos). Es necesario también un sistema de vacío, ya que los electrones pueden sufrir una alteración en su trayectoria ocasionado por el contacto de moléculas del aire. El último componente del microscopio electrónico es un sistema que lleva a cabo el registro o muestra la imagen que producen los electrones (Gonzalez, 2018).

Microscopio Electrónico de Barrido (MEB):

Este tipo de microscopio crea una imagen ampliada de la superficie de un objeto. Explora la superficie de la imagen punto por punto, al contrario que el MET, puesto que este examina una parte extensa de la muestra cada vez. Este microscopio recorre la muestra con un haz muy concentrado de electrones, de tal manera que asemeja al barrido de un haz de electrones por la pantalla de una televisión.

Los electrones pueden dispersarse o provocar la aparición de electrones secundarios. Los electrones son contados en las distintas zonas en las que son dispersados, y el número de electrones contados por el instrumento, hace que el brillo aumente en la imagen de la pantalla.

Este tipo de microscopios pueden ampliar los objetos 200,000 veces o más. La mayor ventaja de este equipo es que puede producir imágenes tridimensionales realistas de la superficie del objeto (Gonzalez, 2018).

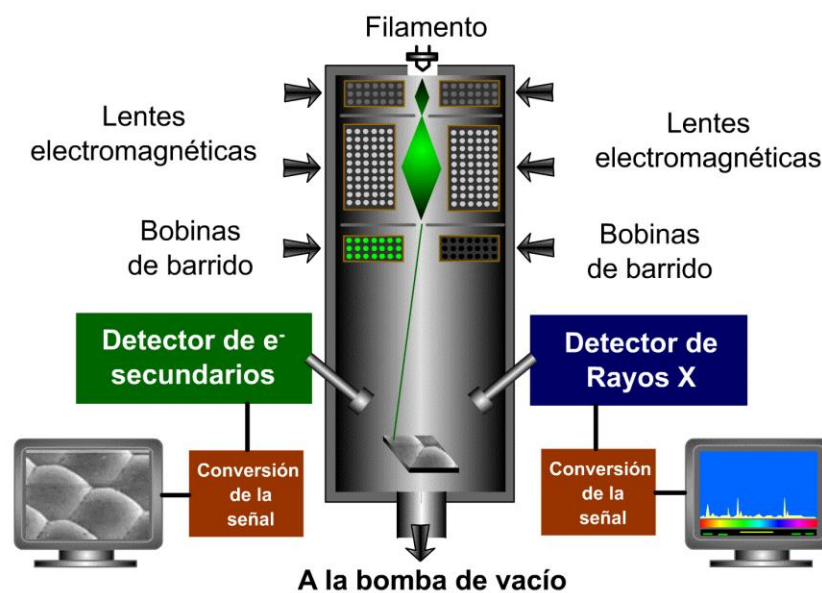


Figura 26. Partes del Microscopio Electrónico de Barrido³⁰

³⁰ Obtenida de: <http://quimica.unab.cl/laboratorio-de-analisis-de-solidos-las/informacion/fundamentos-teoricos/microscopia-electronica-de-barrido-con-detector-eds-sem-eds/>

Detector de electrones secundarios (SE):

Sirve para poder identificar la topografía de la superficie de la muestra a examinar. La imagen que muestra es en escala de grises, y es la señal más adecuada para realizar la observación de la muestra, ya que cuenta con mayor resolución (Universitat Politècnica de València, 2018). Este es el tipo de detector que se utilizará para la observación microscópica debido a que es el que presenta la topografía de los materiales con una resolución más adecuada.

Detector de electrones retrodispersados (BSE):

Tiene una menor resolución a la anteriormente mencionada, pero tiene una ventaja contra el mismo, ya que es sensible a las variaciones en el número atómico de los elementos presentes en la superficie. Si se tiene una superficie lisa, se observará distintas tonalidades de gris en función de que existan distintas densidades, con distintos elementos (Universitat Politècnica de València, 2018).

Se utiliza principalmente para determinar la densidad del material de la muestra, ya que entre más oscuro se encuentre, menos denso será el material y, en caso contrario, si es más claro será más denso.

Detector de rayos X (EDS):

Es el encargado de recibir los rayos X que proceden de cada uno de los puntos de la superficie sobre los que pasa el haz de electrones. Gracias a que la energía de cada rayo X es característica de cada elemento, es posible que se obtenga información analítica cualitativa y cuantitativa de áreas del tamaño que deseemos de la superficie. A esta técnica se le conoce como microanálisis por EDS (Universitat Politècnica de València, 2018).

Detector de rayos X (WDS):

Es similar al detector anterior, sólo que en lugar de recibir y procesar la energía de todos los rayos X a la vez, éste sólo mide la señal que genera un solo elemento, lo cual hace que el análisis sea mucho más sensible. La desventaja que tiene es que es más lenta debido a la sensibilidad y precisión que tiene.

Es complementario al EDS, pues el EDS logra ofrecer una buena información de todos los elementos presentes en la superficie de la muestra y el WDS es capaz de resolver los picos de los elementos cuyas energías de emisión estén muy cercanas, así como detectar concentraciones mucho más pequeñas de cualquier elemento y, sobre todo, de los ligeros (Universitat Politècnica de València, 2018).

Es utilizado para determinar mediante la difracción de fotones la composición química del material a observar.

Detector de electrones retrodispersados difractados (BSED):

En éste sólo son recibidos aquellos electrones difractados por la superficie de la muestra que cumplen la ley de Bragg en el punto que son generados, lo que significa que se trata de una señal que nos aporta información de la estructura cristalina de la muestra. Si se conoce previamente la o las fases cristalinas presentes en la muestra, el sistema es capaz de procesar la señal que recibe en forma de “líneas de Kikuchi” y ofrecer una variada información cristalográfica: orientación de granos, orientaciones relativas entre ellos, textura, identificación de fases, evaluación de tensión, fronteras de grano, etc (Universitat Politècnica de València, 2018).

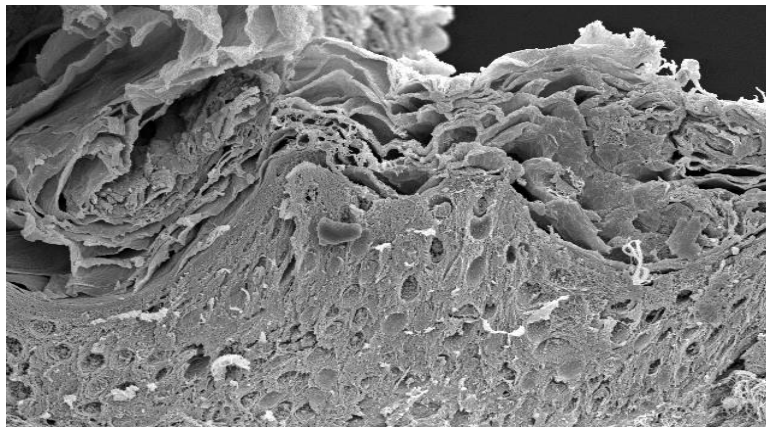


Figura 27. Ejemplo de imagen tomada de un microscopio MEB³¹

³¹ Imagen obtenida de : <http://www.biologia.edu.ar/microscopia/meb.htm>

3. Desarrollo Experimental

La experimentación que se describe dentro del presente trabajo se realizó con la finalidad de hacer un análisis del comportamiento de los materiales propuestos para la elaboración de la membrana flexible que se utilizará para una tenso-estructura. Esta consiste en un análisis de las propiedades mecánicas y ópticas para conseguir la determinación de variables de interés cuantitativas y cualitativas, como por ejemplo la resistencia mecánica, luminosidad y la descripción de la topografía de las superficies.

Este proceso de evaluación a los materiales se divide en tres etapas las que son: estudio y elección del tipo de yute a utilizar, elaboración del material compuesto y la caracterización del material compuesto.

En la primera parte, *3.1 Descripción de equipo utilizado para los distintos experimentos*, se hará una breve descripción acerca de los distintos instrumentos y dispositivos necesarios que fueron empleados en el conformado de los distintos experimentos realizados para el conformado de los materiales compuestos.

En la segunda parte, *3.2 Estudio y elección del tipo de Yute a utilizar para la matriz del material compuesto*, se realizó la descripción de los diferentes tipos del textil yute que se lograron obtener, tanto para su aspecto, textura, entramado y tonalidad.

En la tercera parte, *3.3 Elaboración de propuestas para material compuesto de la membrana*, se da a conocer la formulación y conformación de las distintas propuestas para el material de la membrana flexible. Se realiza la descripción de la metodología a seguir para cada uno de los materiales, las cantidades utilizadas, material y equipo.

En la cuarta parte, *3.4 Caracterización del material compuesto*, se lleva a cabo la realización de las distintas pruebas utilizadas para hacer la evaluación del material en cuanto a su resistencia, análisis óptico y morfológico.

3.1 Descripción de equipo utilizado para los distintos experimentos

3.1.1 Equipo para ensayos mecánicos de tracción

Para las secciones en las que se describen ensayos mecánicos, de las cuales se obtendrán resultados de resistencia a la tracción y la deformación de materiales, se realizarán con la ayuda de una máquina de ensayos universales *INSTRON 4206*. En la *Figura 28* se muestran los componentes de esta máquina.



Figura 28. Máquina de ensayos universales INSTRON 4206

La primera parte mostrada en la figura anterior, es la de la máquina en la figura anterior es la parte encargada de realizar la tracción de las probetas, con los brazos y mordazas. El segundo elemento de la imagen, es el controlador de la máquina. La tercera parte de la figura, comprende a la computadora que funciona como interfaz para poder obtener los resultados de prueba, además de ingresar valores de operación.

3.1.2 Equipo para la elaboración de biopolímeros

El primer equipo a utilizar para hacer el registro del peso de los diferentes agregados de las fórmulas, es una balanza analítica marca Ohaus modelo CP413, En la *Figura 29* se muestra una fotografía del equipo en cuestión.



Figura 29. Balanza Ohaus utilizada para el pesaje de muestras

Así mismo se utilizó una parrilla calefactora IKA modelo C-MAG HS7, la cual posee un control de temperaturas (superior a 300°C) y agitación magnética regulada.



Figura 30. Parrilla calefactora eléctrica IKA modelo C-MAG HS7

3.1.3 Equipo para Fotometría

El equipo principal utilizado para estas pruebas Sper Scientific medidor LUX/FC modelo 840020. En la siguiente imagen se muestra una fotografía del equipo.



Figura 31. Luxómetro

3.1.4 Equipo para observación estereoscópica

Para esta observación macroscópica fue utilizado un estereoscopio utilizado fue de marca Zeiss modelo Stemi 508 con una cámara Axiocam ERc 5s como se muestra en la Figura 32.



Figura 32. Estereoscopio Zeiss con cámara AxiocamERc 5s

3.1.5 Equipo para observación microscópica SEM

Para la observación microscópica de barrido (SEM), se utilizó el microscopio electrónico de barrido marca Philips modelo XL20.

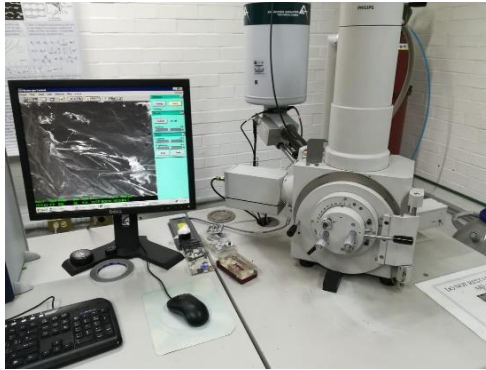


Figura 33. Equipo del microscopio electrónico de barrido

3.2 Estudio y elección del tipo de Yute a utilizar para la matriz del material compuesto

Ya que el yute es uno de los textiles más utilizados y económicos de conseguir en el país, además de ser un material en su totalidad de origen natural y después de que los investigadores de la Facultad de Arquitectura decidieran utilizarlo como el textil para la cubierta; se buscaron las mejores características de éste en cuanto a su entramado y resistencia.

A continuación se hace la descripción detallada de los textiles de yute. Por facilidad, se les asignará una letra para tener el control de cada uno, además de poder hacer mención más adelante a los yutes por medio de la misma.

Muestras de yute

Yute tipo "A":

Es una tela flexible y blanda cuyo entramado es pequeño. Tiene una tonalidad clara y sus fibras se ven tejidas de manera adecuada. Tiene un grosor muy pequeño, que en promedio sus hilos tienen un diámetro promedio de 0.62 mm y un entramado rectangular cuyas dimensiones son: 1 mm x 1.5 mm. Es el tipo más delgado de textil de yute dentro de los estudiados en el presente trabajo.

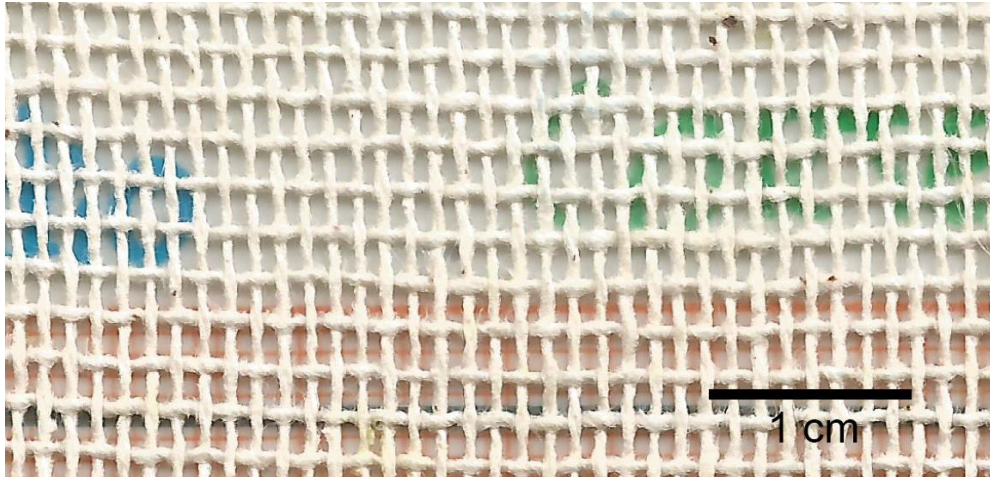


Figura 34. Imagen de yute tipo "A"

Yute tipo "B":

Es una tela más oscura que la de tipo A, su sensación al tacto es diferente, más áspera, parece que es más resistente comparada con la anterior. Tiene un entramado similar al textil anterior, pero su fibra es un poco más gruesa, tiene un diámetro de hilo promedio de 0.67 mm y un entramado cuadrado cuya distancia entre hilos es de 1 mm. Su flexibilidad sigue siendo muy buena. De igual manera que con el textil de tipo A, el tejido se ve uniforme a lo largo del textil.

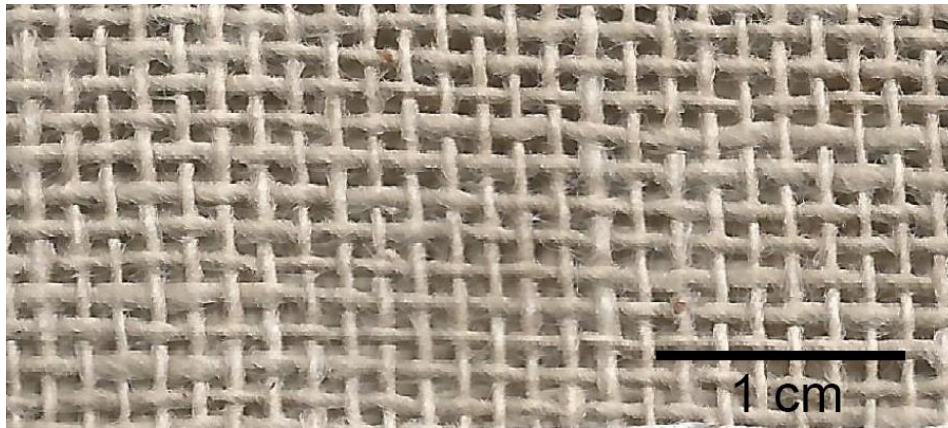


Figura 35. Imagen de Textil tipo "B"

Yute tipo "C":

Es una tela cuyas fibras son más gruesas que para los tipos anteriores, su entramado es un poco más grande. Se siente más áspero al tacto que las dos telas anteriores. Tiene una sensación al tacto rasposa y este textil en particular muestra un desprendimiento de pequeñas fibras de yute. Su tonalidad es más oscura que para los tipos A y B. Debido al desprendimiento pareciera que no tiene tan buen tejido como para los casos anteriores. El diámetro promedio presentado del textil es más irregular, debido a que hay secciones con mayor cantidad de fibras, además de estar más compactas que las anteriores. Tiene

un diámetro de hilo promedio aproximado de 1.05 mm, espesores de fibra entre 0.06 y 0.08 mm. El espacio entre fibras es de aproximadamente 0.03 y 0.08 mm (valores medidos mediante observación al microscopio). Tiene un entramado rectangular cuyas dimensiones son: 0.8 mm x 1 mm.



Figura 36. Imagen de Textil tipo "C"

3.2.1 Obtención de resistencia de los tipos de yute mediante ensayos de tracción

Por ser una fibra natural, el textil no podía utilizarse sin un recubrimiento previo de protección para el uso en una cubierta de la tenso-estructura; por lo tanto, se decidió buscar la manera de proteger al textil con elementos que aportaran la menor cantidad de material petroquímico.

Debido a que se elaboró un material compuesto, se obtuvo la resistencia a la tracción bajo la norma específica de textiles recubiertos con plástico. Se utilizó el método 1 de la norma ISO 1421. En esta norma se establecen las características de las probetas, así como velocidades de operación y precargas.

Las dimensiones de área de estudio de la probeta fueron de 200 x 50 mm, además de contar con un largo extra en las probetas lo suficientemente grandes para poderse sujetar a las mordazas de la máquina de tracción Instron modelo 4206. Por ello, el tamaño total de las probetas fue de 300 x 50 mm.

Es requerido para la norma que se tengan un mínimo de 5 probetas por sección; longitudinal y transversal. La velocidad a la que se realizó el ensayo fue de 100 mm/min. La norma marca que se aplique una precarga de 2N.

Se realizó un total de 10 ensayos de tracción por cada tipo de yute, 5 longitudinales y 5 transversales.

3.3 Elaboración de propuestas para material compuesto de la membrana

En esta sección se tiene el registro de las diferentes formulaciones propuestas para el recubrimiento del textil. La descripción del equipo utilizado para su elaboración, así como las justificaciones de elección para los recubrimientos con base en aspectos importantes para el proyecto, como sustentabilidad, durabilidad, resistencia, costo, protección del telar y la facilidad de conformado.

Dentro de esta sección se tienen especificados los experimentos realizados para la elaboración de bioplásticos que se utilicen como recubrimiento para el textil.

3.3.1 Elaboración de un biopolímero realizado a partir del almidón de maíz (BP1)

Mediante el experimento se pretende obtener un biopolímero para utilizar como recubrimiento del yute mediante un procedimiento aplicado en la *Universidad Federal de Río de Janeiro* (Malajovich, 2017), tomando como base el experimento original de plastificación con almidón o fécula de maíz, variando la cantidad de glicerol, la cual fue obtenida del artículo “*Estudio del procesamiento de almidones en moldeo por extrusión-soplo*” (Castellanos, 2014).

Materiales y Equipo

Parrilla eléctrica, soporte universal con pinzas, recipiente para realizar el baño maría, agitador de vidrio, balanza, termómetro, vaso de precipitados de 50 mL, 1 probeta de vidrio de 100 mL, 3 probetas de 10 mL, almidón de maíz, agua destilada, glicerina, disolución de ácido clorhídrico 0.1 M y disolución de hidróxido de Sodio 0.1 M.

Procedimiento

En un vaso de precipitados se agregaron 5 g de fécula de maíz, 40 mL de agua destilada, 2.5 mL de glicerina, 6 mL de HCl 0.1 M y 6 ml de NaOH 0.1 M. Se hizo el arreglo para hacer un baño maría utilizando la parrilla eléctrica, la que fue calentada a 300°C para elevar la temperatura rápidamente. El arreglo del baño maría se muestra en la *Figura 37*, La temperatura del agua alcanzó los 92°C, ya que es la indicada para la ebullición del agua a la presión atmosférica de la Ciudad de México. Cuando se alcanzó la temperatura del agua, se procedió a introducir el vaso de precipitados dentro del contenedor de agua para poner en baño maría al biopolímero. Se mantuvo la mezcla de los componentes con agitación controlada durante 5 min. En la *Figura 29* se muestra la balanza utilizada para el experimento, mientras que en la *Figura 30* se muestra la parrilla eléctrica en la que se calentó la mezcla. Durante la agitación se buscó lograr la homogeneidad de la mezcla eliminando la presencia de grumos dentro de la sustancia. Pasando el tiempo se depositó

la sustancia dentro de una caja de Petri y se dejó secar el material formado durante 24 hrs.



Figura 37. Parrilla calefactora IKA C-MAG HS7 con agitación para incorporación de elementos

3.3.2 Elaboración de un biopolímero realizado con fécula de maíz y polvo de nopal (BP2)

Gracias a la teoría presentada en este trabajo acerca de los componentes del nopal, se teoriza la posibilidad de lograr una combinación exitosa entre la fórmula de biopolímero con base en almidón agregando el polvo de nopal, debido a que dentro del mismo se tiene la presencia de celulosa y pectina, lo cual puede dar pie a una unión más fuerte, además de un posible aumento de su resistencia.

Materiales y Equipo

Parrilla eléctrica, soporte universal con pinzas, recipiente para realizar el baño maría, agitador de vidrio, balanza, termómetro, vaso de precipitados de 50 mL, 1 probeta de vidrio de 100 mL, 3 probetas de 10 mL, almidón de maíz, polvo de nopal, agua destilada, glicerina, disolución de ácido clorhídrico 0.1 M y disolución de hidróxido de Sodio 0.1 M y tiras medidoras de pH.

Procedimiento

Este paso es la continuación del punto anterior, puesto que una vez confirmada la síntesis del biopolímero BP1 a partir del almidón de maíz, se procedió a dar inicio a la elaboración del bioplástico BP1 con la diferencia que para este caso se hizo el agregado del polvo de nopal en diferentes cantidades para encontrar la concentración adecuada.

El agregado de polvo de nopal a la formulación se realizó con la finalidad de observar el comportamiento de plastificación con este. Para el material fue importante comprobar las características y apariencias presentadas.

El inicio de este experimento consistió en realizar el biopolímero BP1 de la misma manera que para el punto 3.3.1 *Elaboración de un biopolímero realizado a partir del almidón de*

maíz (BP1), pero con la diferencia que se utilizaron las cantidades descritas dentro de esta sección. Se preparó un total de 6 veces, para poder hacer diferentes formulaciones con distintas cantidades de polvo de nopal.

En la *Tabla 6* se describe la cantidad de agregado de nopal en proporción a la fécula de maíz presente.

Tabla 6. Proporciones de fécula de maíz y nopal

Experimento	Fécula de maíz [g]	Polvo de Nopal [g]	% Granulo Nopal
1	5	0	0
2	4	1	20
3	3	2	40
4	2	3	60
5	1	4	80
6	0	5	100

El polvo de nopal se agregó junto con el almidón de maíz a las distintas preparaciones. Salvo este detalle, la realización de las sustancias es exactamente el mismo que para el biopolímero BP1.

Al terminar utilizó una tira medidora de pH para hacer lectura del mismo para cada una de las diferentes sustancias preparadas.

3.3.3 Modificación del biopolímero BP2 mediante la utilización de CaO (BP3)

Debido a la necesidad de que el material posea una mejor resistencia a la humedad se propuso utilizar el óxido de calcio (CaO), debido a que este material se utiliza en impermeabilizantes, además de cumplir una función como bio-insecticida natural (OXICAL, 2017), además de propiciar una formación de gel en conjunto a la pectita dentro del polvo de nopal (Calvo, 2018).

Materiales y Equipo

Parrilla eléctrica, soporte universal con pinzas, recipiente para realizar el baño maría, agitador de vidrio, balanza, termómetro, vaso de precipitados de 50 mL, 1 probeta de vidrio de 100 mL, 3 probetas de 10 mL, almidón de maíz, polvo de nopal, agua destilada, glicerina, disolución de ácido clorhídrico 0.1 M, disolución de hidróxido de Sodio 0.1 M, óxido de calcio, tiras medidoras de pH.

Procedimiento

Fue necesario para este experimento encontrar la concentración adecuada de CaO para compatibilizarlo con el bioplástico en desarrollo, de tal manera que la apariencia y flexibilidad no se vieran afectadas.

Utilizando el procedimiento dado en BP2 se determinó una disolución de CaO al 0.5 M, de tal forma que:

El peso molecular del óxido de calcio (CaO) es de 56.0774 [g/mol]. Calcular un litro de disolución.

La concentración fue de $M=0.5$ [mol/L].

Se tiene que:

$$m = M \times PM \times V$$

Dónde:

$m \rightarrow$ masa del CaO [g]

$M \rightarrow$ Concentración molar $\left[\frac{g \text{ mol}}{L}\right]$

$PM \rightarrow$ peso molecular del CaO $\left[\frac{g}{g \text{ mol}}\right]$

$V \rightarrow$ Volúmen de la disolución [L]

Sustituyendo los valores:

$$m = 0.5 \left[\frac{g \text{ mol}}{L}\right] \times 56.0774 \left[\frac{g}{g \text{ mol}}\right] \times 1 [L]$$

$$m = 28.0387 [g]$$

$$m = \mathbf{28.04 [g]}$$

Por lo que se consideraron 28.04 g de CaO, en un vaso de precipitados se agregó el CaO, y agua destilada poco a poca hasta 992.82mL, necesarios para completar el volumen total de 1 L de la disolución de CaO, la agitación fue controlada mediante agitadores magnéticos.



Figura 38. Disolución de CaO a temperatura de 18°C Durante 5 min

En la Figura 39 se muestra la disolución de CaO obtenida de manera homogénea.



Figura 39. Disolución de CaO

La variación de CaO 0.5 M dada en mL se presenta en la *Tabla 7*. Cabe mencionar que las muestras obtenidas desde el BP1 hasta estas últimas muestras fueron vertidas en cajas Petri para obtener muestras de tamaño similar. Todas las muestras se dejaron secar a temperatura ambiente.

Tabla 7. Cantidades de CaO para reformulación

Prueba	CaO 0.5 M [mL]
1	0
2	2
3	4
4	5
5	6
6	7
7	8
8	10
9	30
10	50

3.3.4 Recubrimiento en telas de yute con Biopolímero BP1

Para conseguir la protección de las fibras y cerrar el entramado del textil, se procedió a recubrir las telas de yute del tipo “C” con el biopolímero BP1; mediante el uso de rodillos fue esparcida la resina para su impregnación en el yute.

Materiales y Equipo

Parrilla eléctrica, soporte universal con pinzas, recipiente para realizar el baño maría, agitador de vidrio, balanza, termómetro, vaso de precipitados de 50 mL, 1 probeta de vidrio de 100 mL, 3 probetas de 10 mL, almidón de maíz, polvo de nopal, agua destilada, textil tipo “C”, rodillo, película plástica, glicerina, disolución de ácido clorhídrico 0.1 M y disolución de hidróxido de Sodio 0.1 M, pinzas de plástico.

Procedimiento

De acuerdo a lo marcado por la norma ISO-1421, se trazaron 10 probetas de 300 mm x 50 mm, 5 en sentido longitudinal y 5 en sentido transversal. En la tela de yute se marcaron las direcciones mencionadas procediendo a cortarlas. Sobre una mesa de trabajo, se colocó una película plástica para protegerla del desperdicio de material. Se consideró utilizar 4 veces las cantidades de la formulación encontrada, de tal manera que fuera suficiente para cubrir 5 de las probetas.

Una vez esparcido sobre las probetas, se secaron tendidas mediante el uso de una pinza plástica a un tendedero, con pesos colgantes de 12 gr (3 piezas de 4 gr), con la finalidad de mantenerlas estiradas.

Se dejaron secar por 24 horas, una vez secas se repitieron los pasos hasta tener un total de 3 capas en la tela de yute.

3.3.5 Recubrimiento a telas de yute con Biopolímero BP3

Dentro de este experimento se repite el procedimiento para los recubrimientos de biopolímeros anteriores, con la variante de que se utiliza para este caso en específico el biopolímero BP3.

Materiales y Equipo

Parrilla eléctrica, soporte universal con pinzas, recipiente para realizar el baño maría, agitador de vidrio, balanza, termómetro, vaso de precipitados de 50 mL, 1 probeta de vidrio de 100 mL, 3 probetas de 10 mL, almidón de maíz, polvo de nopal, agua destilada, textil tipo "C", rodillo, película plástica, glicerina, disolución de ácido clorhídrico 0.1 M y disolución de hidróxido de Sodio 0.1 M, disolución CaO 0.5 M, pinzas de plástico.

Procedimiento

Se obtuvieron muestras textiles recubiertas por el biopolímero de almidón y nopal, para tener un comparativo contra las muestras que se realizaron del BP1 que únicamente tiene el almidón.

Terminadas las muestras de BP1, se procedió con aplicación del biopolímero BP3 sobre las telas de yute tipo "C". Con esto se pudo analizar el comportamiento del polímero sobre el textil.

En la *Figura 40* se muestran los trazos realizados sobre la tela de yute para su posterior recubrimiento. Así mismo, en la *Figura 42* se muestra como se aplicó el recubrimiento polimérico y su posterior secado mostrado en la *Figura 43*.

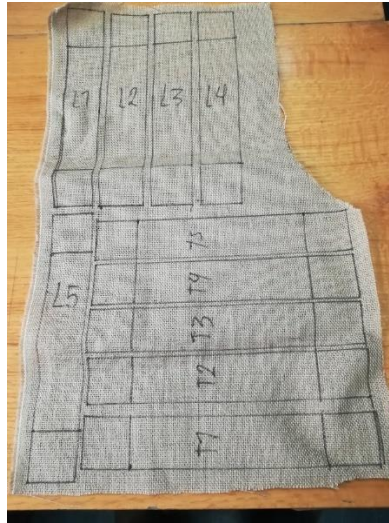


Figura 40. Marcado de probetas sobre textil yute tipo "C"

Para el biopolímero BP3, se procedió a aplicar el mismo procedimiento que en los casos BP1 y BP2. Se registró el peso de las diferentes muestras obtenidas, tal como se muestra en la *Figura 41*.



Figura 41. Báscula Ohaus para obtener el peso de las probetas textiles tipo "C"

Ya listo el bioplástico, se procedió a hacer la impregnación del mismo sobre las probetas. También se colocó una película sobre las probetas para evitar el contacto directo con el rodillo.

Se comenzó el esparcimiento por la acción del rodillo, se esparció de tal manera que todo el bioplástico se distribuya en todas las probetas.



Figura 42. Forma correcta de utilización de rodillo para recubrimiento de BP3

Como se realizó en los casos anteriores, una vez esparcido el biopolímero sobre las probetas, cuyo número de capas fue de 3, se procedió a secarlas como se muestra en la Figura 43. En este caso se decidió utilizar un peso de 12 gr (3 piezas de 4 gr) colocado en las probetas para evitar cualquier tipo de distorsión geométrica como se muestra en la Figura 44.



Figura 43. Probetas recubiertas por bioplástico BP3



Figura 44. Probetas cubiertas con plástico BP3 con peso

Se dejaron secar por 24 horas. Después se realizó el registro del peso de todas las probetas secas.

3.3.6 Recubrimiento con resina a muestras con Biopolímero BP3

Para ayudar a la impermeabilización del biopolímero, sobre las muestras BP3 se agregó un recubrimiento adicional de resina estireno-acrítica.

Este último recubrimiento sirvió para dar el sellado de los poros que pudieran presentarse como imperfecciones de la tela o de la adhesión del biopolímero. De acuerdo a la literatura, ésta resina protege al textil mientras que se conserva la flexibilidad y elasticidad de las muestras.

Materiales y Equipo

Resina estireno-acrítica, brocha, película plástica, probetas recubiertas con biopolímero BP3.

Procedimiento

Para la elaboración de las muestras necesarias para este experimento, se siguieron los pasos descritos dentro de la sección de nombre 3.3.5 *Recubrimiento a telas de yute con Biopolímero BP3*. En la siguiente figura se muestra la resina estireno-acrítica que se utilizó para hacer la impermeabilización del material compuesto.



Figura 45. Resina Estireno-Acrítica³²

El primer paso fue preparar una superficie plana con una película plástica para evitar ensuciar la misma. Posteriormente, se registró el peso de las probetas antes de aplicar la resina para tener la referencia del peso original.

Se utilizó una brocha para realizar la aplicación de la resina. Se aplicaron dos capas por lado de la probeta. En la *Figura 46* se muestra una probeta siendo recubierta con la resina estireno-acrítica mediante el uso de una brocha.

³² Resina comprada a la empresa MAXIMA NACIONAL DE ADHESIVOS CERAMICOS, S.A. DE C.V.



Figura 46. Probeta sobre el plástico

3.3.7 Recubrimiento del yute tipo “C” con resina estireno-acrítica

Fue necesario también comparar cómo influye la resina estireno-acrítica al yute de manera natural. Es por esto que se decidió recubrir el textil virgen con esta sustancia.

Materiales y Equipo

Resina estireno-acrítica, brocha, película plástica, tela de yute tipo “C”.

Procedimiento

Para este caso, se cortaron las probetas tal como la marca la norma ISO 1421 y únicamente se procedió a cubrir el yute con resina estireno-acrítica.

Se comenzó utilizando la resina estireno-acrítica, aplicada con una brocha igual que en la sección 3.3.6 *Recubrimiento con resina a muestras con Biopolímero BP3*. En este caso, se aseguró obtener un textil con la cantidad necesaria de resina asegurando el sellado de los entramados del yute.

Se sujetaron las muestras de tal forma que quedaran suspendidas durante 24 horas para asegurar su completo secado.

3.3.8 Recubrimiento del yute tipo “C” con resina estireno-acrítica y nopal

Ya que se analizó el comportamiento de la resina estireno-acrítica en yute de manera natural, se procedió a observar cómo reaccionaba la resina estireno-acrítica y el yute con el agregado de polvo de nopal.

Materiales y Equipo

Resina estireno-acrítica, brocha, película plástica, tela de yute tipo “C”, polvo de nopal.

Procedimiento

El proceso de conformado de este material compuesto se realizó de manera similar que para la parte descrita del trabajo en la sección 3.3.6 *Recubrimiento con resina a muestras con Biopolímero BP3*, se preparó la mezcla de la resina con el polvo de nopal, con 4 gramos de polvo de nopal y 45 gramos de resina. Ya preparada la mezcla se esparció y aplicó con una brocha igual que en la sección 3.3.6 *Recubrimiento con resina a muestras con Biopolímero BP3*. Las muestras recubiertas se suspendieron mediante un cable durante 24 horas para asegurar su completo secado

3.4 Caracterización del material compuesto

Esta sección del capítulo se divide en tres partes, llamados: 3.4.1 *Ensayos mecánicos de tracción*, 3.4.2 *Fotometría* y 3.4.3 *Observación mediante estereoscopía*. Dentro de ellas se describen cuáles son los ensayos y pruebas realizadas para la obtención de las propiedades mecánicas, ópticas y la topografía de cada uno de los distintos materiales compuestos que se propusieron y elaboraron descritos en la sección anterior mediante el uso de técnicas como la estereoscopía, microscopía, ensayos de tracción y fotometría.

En la primera parte, 3.4.1 *Ensayos mecánicos de tracción*, se utilizó la norma de obtención de resistencia a la tracción para textiles recubiertos por plásticos o caucho ISO-1421.

En la segunda parte, 3.4.2 *Fotometría*, se describirá la realización de las pruebas pertinentes para determinar el impedimento o interferencia a la luz va a variar dependiendo del material a estudiar. Esta variación permitirá saber la iluminación final que dará cada uno de los materiales usándose de cubierta y de manera indirecta saber si el entramado del yute fue sellado y en qué proporción.

En la tercera parte, 3.4.3 *Observación mediante estereoscopía*, se describe el proceso realizado para poder tener imágenes de la superficie de las muestras. Todo haciendo la utilización de un microscopio electrónico de barrido marca *PHILIPS* modelo XL20 y de esta manera observar su topografía. La topografía de los materiales también será estudiada mediante el uso de un estereoscopio marca Zeiss modelo Stemi 508.

3.4.1 Ensayos mecánicos de tracción

En esta sección se describen los ensayos de tracción realizados para cada uno de los distintos materiales que se conformaron. De manera general se puede decir que todos los ensayos realizados fueron regidos por la norma ISO 1421, por lo que las muestras fueron realizadas con dimensiones 300 mm x 50 mm”.

Materiales

Telas de distintos tipos de yute a estudiar.

Procedimiento

Se utilizó de nueva cuenta la máquina de ensayos universales INSTRON 4206, utilizando los parámetros descritos en la sección 3.2.1 *Obtención de resistencia de los tipos de yute mediante ensayos de tracción*.

Los ensayos hechos para la obtención de resistencia fueron para los siguientes materiales compuestos propuestos: el textil recubierto con BP1, el textil recubierto con BP3, el textil recubierto con resina estireno-acrítica, el textil recubierto con BP3 y resina estireno-acrítica y el textil recubierto con resina estireno-acrítica y polvo de nopal.

3.4.2 Fotometría

El propósito de la fotometría es el caracterizar las distintas iluminancias e intensidades lumínicas de los materiales propuestos, para poder determinar si existe una interferencia apreciable de la luz por parte de las diferentes muestras. Con esta información se puede determinar la ventaja lumínica que ofrecen los distintos materiales compuestos de estudio y compararlos contra los valores originales del textil yute utilizado para los materiales sin recubrimiento. Con éste método de caracterización se pretendió tener una evaluación cualitativa de la cantidad de entramados que se encuentran abiertos.

Materiales

Para este experimento se utilizó una fuente de luz blanca de 120 V a 150 W, 4 soportes universales con sus respectivas pinzas de sujeción, tubo de PVC negro de 0.46 m, muestras de distintos materiales compuestos.

Procedimiento

Para el experimento se utilizó el luxómetro indicado en la *Figura 31*. Con este equipo se pudo medir la iluminancia en unidades de lux. Mediante un arreglo, se utilizaron 4 soportes universales, con 4 pinzas de sujeción para poder sujetar el tubo de PVC de manera horizontal. El arreglo quedó de tal forma que el sensor del luxómetro quedó en uno de los extremos del tubo y las muestras de los materiales compuestos fueron colocadas uno por uno en el extremo contrario. El arreglo puede apreciarse en la *Figura 47*.

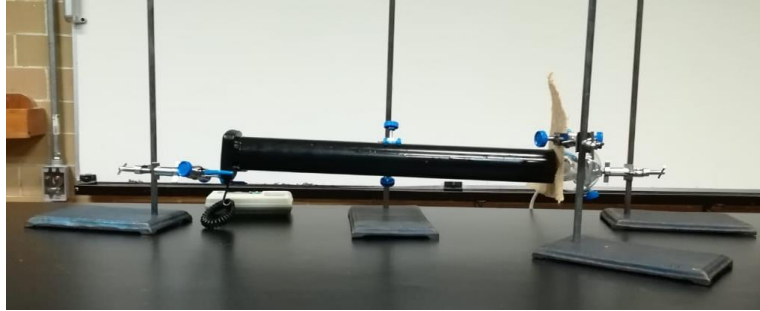


Figura 47. Arreglo para experimento de fotometría

De un lado del tubo fue colocado el receptor del luxómetro, y del lado opuesto la fuente de luz blanca. Entre la fuente y la entrada del tubo fueron colocadas cada una de las muestras a probar de manera independiente, comenzando por el yute sin recubrimiento.

Fue necesario, para comenzar, que la realización del experimento fuera en un espacio oscuro, para que la luz natural o artificial del entorno no afectara los resultados del experimento. La fuente tuvo que estar apagada para hacer la primera medición de la intensidad lumínica con el luxómetro. Una vez completado, se procedió a encender la fuente para tomar el registro con la fuente encendida y se tomó la lectura. Estos dos pasos de tomar lectura durante el encendido y apagado se repitió 5 veces, 5 lecturas apagadas y 5 encendidas. Si el valor tuviera una variación es posible realizar más lecturas.

Cuando se tuvieron completadas las 10 lecturas totales del textil sin recubrimiento, se repitieron todos los pasos para cada una de las diferentes muestras de textiles recubiertos que se obtuvieron.

3.4.3 Observación mediante estereoscopia

La superficie del material fue observada con un estereoscopio, para examinar imperfecciones en el aplicado de los recubrimientos descritos, defectos o fallas que pudieran presentar, además de poder observar con detenimiento el entramado recubierto del yute.

Materiales

Muestras de las distintas muestras de los materiales compuestos obtenidas de las probetas realizadas para los ensayos de tracción.

Procedimiento

Se cortó un cuadro de cada material con una dimensión aproximada de 2 cm x 2 cm. Se utilizó el estereoscopio mostrado en la *Figura 32* y se utilizó el aumento de 1.25X para la lente del mismo.

Las pequeñas muestras fueron colocadas bajo el estereoscopio y mediante el uso del software de la computadora utilizada como interfaz, se capturaron las distintas imágenes de la superficie para cada muestra.

3.4.4 Observación mediante microscopía electrónica de barrido (SEM)

Para tener una observación más profunda de la superficie de las muestras en estudio, así como la topografía más fina de las distintas muestras de los materiales propuestos, se recurrió al uso del microscopio electrónico de barrido marca Philips modelo XL20 para obtener distintos puntos de la observación microscópica, se utilizaron diferentes aumentos. En la *Figura 33* se observa el SEM utilizado para este trabajo. Para observación de topografía de los materiales compuestos se utilizó el detector de electrones secundarios (SE).

Materiales

Muestras de las distintas muestras de los materiales compuestos obtenidas de las probetas realizadas para los ensayos de tracción.

Procedimiento

Se procedió a hacer el encendido de las unidades del microscopio. Con ayuda del software se pudieron realizar distintas mediciones de espacios entre las fibras del yute, deterioros del material además de zonas dónde faltaba recubrimiento y quedaban las fibras expuestas. Se determinaron también los espesores de las fibras observadas, zonas de ruptura de material y cúmulos en las zonas del entramado. Se tomaron las fotografías a las imágenes de zonas con mayor interés de los materiales.

4. Resultados y Análisis

Dentro de este capítulo se hará el registro de los resultados obtenidos de las distintas pruebas para evaluar sus propiedades mecánicas, ópticas y de observación microscópica y estereoscópica para determinar la topografía de los distintos materiales.

A lo largo del capítulo se describen cuáles fueron las observaciones hechas de cada uno de los experimentos y así determinar lo que está sucediendo en las distintas etapas del conformado de los materiales compuestos. Esta información es complementaria a los valores cuantitativos que pudiéramos obtener para las propiedades de interés, dando así un criterio mucho más amplio para hacer las consideraciones pertinentes y con esto tomar futuras decisiones sobre los materiales propuestos.

En este capítulo, se presentan los resultados más importantes obtenidos de los experimentos, en la sección de anexos, se muestran gráficas y tablas realizadas con los valores completos obtenidos de los resultados realizados de la experimentación.

4.1 Conformado de materiales compuestos

4.1.1 Conformado del biopolímero BP1

Durante el conformado del biopolímero con fécula de maíz (BP1), se observó que un mezclado homogéneo elimina aglomeraciones de material. De manera cualitativa se apreció que después de 5 minutos, la mezcla aumentaba su viscosidad, por lo que se notaba que el material estaba plastificando. El biopolímero era básico, debido a que el pH presentado tuvo un valor de 13.



Figura 48. Biopolímero con fécula de maíz

4.1.2 Conformado de BP2

Con respecto al conformado del biopolímero con fécula de maíz y polvo de nopal, BP2, donde se tuvieron distintas concentraciones de polvo de nopal, se observó el aspecto de la plastificación de acuerdo a la *Tabla 8*. Así mismo, en la *Figura 50* se muestra el cambio de pH conforme se incrementaba la cantidad de polvo de nopal.

Tabla 8. Resultados de plastificación a distintas concentraciones de polvo de nopal y fécula de maíz

Prueba	Tiempo de plastificación [días]	Observaciones
1	1	Buena consistencia de plastificado y aspecto
2	1	Buena consistencia de plastificado y aspecto
3	2	Consistencia blanda y frágil, buen aspecto
4	3	Consistencia blanda y mal aspecto.
5	N/A	Plastificación no concluida
6	N/A	Plastificación no concluida

Para la *Tabla 8*, dentro de las observaciones se considera buena consistencia, el que el bioplástico no presente una unión débil y que sea capaz de quebrar el plástico fácilmente. Se considera también haber conseguido la plastificación y no haberse quedado como una sustancia viscosa como consistencia. Para las muestras 5 y 6 además de no haber concluido la plastificación, se tuvo presencia de grupos e impurezas dentro de la sustancia.

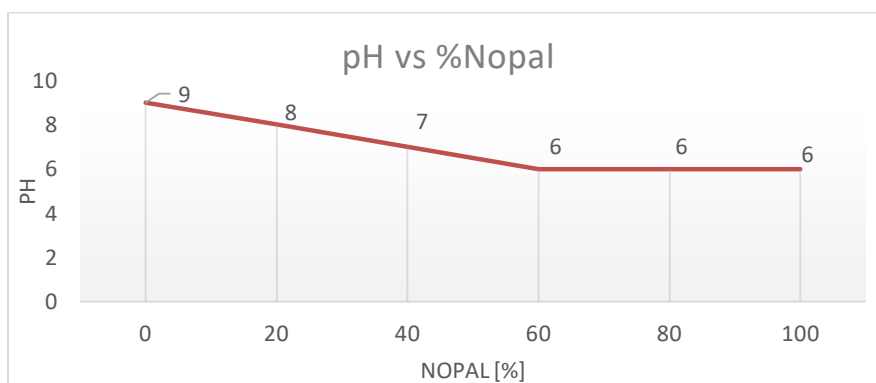


Figura 50. Gráfica de comportamiento de pH con respecto a la concentración de polvos de Nopal³³



Figura 49. Muestras de formulaciones preparadas variando el granulo de nopal

La mezcla que únicamente tiene fécula de maíz muestra un valor de pH de 9, al aumentar al 20% disminuye a un valor de 8. Del 60% en adelante el valor del pH permanece constante en 6. En la *Figura 49* se observa la textura y color de las distintas composiciones de BP2 que se formularon.

³³ El porcentaje de polvo de nopal se considera con respecto a la cantidad total de polvo (fécula de maíz y nopal) que se utiliza en la fórmula

El realizar un agregado de polvos de nopal a la mezcla hace que el pH se vuelva más bajo, lo que indica que se está aumentando el nivel de acidez de la sustancia.

La medición de pH tuvo como finalidad asegurarse de que no se tenga una mezcla demasiado ácida, ya que podría afectar su futura interacción con las telas de yute.

Un pequeño fragmento del biopolímero originado de la prueba 2, fue introducido en agua para ver su comportamiento, lo que se obtuvo de ese proceso es que el plástico se ablanda y si se toca puede sentirse como poco a poco el material comienza a mezclarse con el agua para formar una pequeña sustancia tipo gel.

De los resultados obtenidos se decidió que la mezcla recomendada para realizar la síntesis del biopolímero es la que se utilizó en la fórmula de la prueba 2, ya que presenta las mejores características visuales y al tacto; además de que, durante una semana, ésta no presentaba cambios de flexibilidad cuando se le manipulaba manualmente. De esta manera, la proporción *fécula de maíz – nopal* de la prueba 2 fue la que se utilizó para posteriores experimentos.








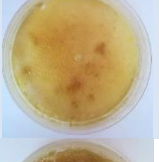


4.1.3 Conformado de BP3

Para el BP3 surge de la necesidad de volver más resistente el bioplástico con agregado de nopal, mediante la utilización del óxido de calcio.

Después de la variación de las cantidades hechas para encontrar la cantidad adecuada para la elaboración del biopolímero, se obtuvieron distintas muestras plásticas (para el caso de las que lograron plastificar) con las cuales se pudo realizar la comparativa para analizar el o las muestras más viables de utilización para continuar con las etapas posteriores, que ayudaron a la conformación de los materiales compuestos.

A continuación se muestran los resultados encontrados de las diferentes pruebas plastificadas de fécula de maíz y nopal con la utilización del óxido de calcio (CaO).

Tabla 9. Tabla comparativa de muestras de propuesta para BP3³⁴

Muestra	CaO 0.5 M [mL]	Imagen
1	0	
2	2	
3	4	
4	5	
5	6	
6	7	
7	8	
8	10	
9	30	
10	50	

³⁴ Las imágenes aumentadas de la tabla, se presentan en la sección de anexos

Los resultados obtenidos de las distintas muestras, se presentan contenidos en la siguiente tabla.

Tabla 10. Descripción muestras de propuesta para BP3

Muestra	Plastificación	Superficie	Observaciones
1			Repetición de BP2, no cuenta con CaO
2			Muestra más resistente al tacto que la muestra 1, superficie homogénea, tono más opaco que muestra 1
3			Muestra más resistente al tacto que la muestra 2, superficie homogénea, tono más opaco que muestra 2
4			Muestra más resistente al tacto que la muestra 3, superficie homogénea, tono más opaco que muestra 3
5			Muestra más resistente al tacto que la muestra 4, superficie homogénea, tono más opaco que muestra 4
6			Muestra más frágil y opaca que las muestras anteriores
7			Muestra más frágil y opaca que las muestras anteriores
8			Exceso de CAO, cuerpo viscoso, plastificación inconclusa, muestra quedó adherida a la caja de Petri.
9			Exceso de CAO, sin plastificación, consistencia terrosa, muestra quedó adherida a la caja de Petri.
10			Exceso de CAO, sin plastificación, consistencia terrosa, muestra quedó adherida a la caja de Petri.

4.1.4 Recubrimiento del yute tipo “C” con BP1

Se obtuvieron las 10 muestras plastificadas que se requieren para el ensayo de tracción del textil recubierto por el bioplástico BP1, como se observa en la siguiente imagen.



Figura 51. Probetas de yute recubiertas con BP1

La aplicación de pequeñas cargas en la parte inferior de las distintas probetas textiles hace que la tensión creada durante la suspensión de las mismas elimine contracciones notables del material compuesto durante su secado.

Cada aplicación tuvo que realizarse de manera individual, ya que entre el término de una aplicación y el comienzo de la siguiente, debe de presentarse una espera, para completar el secado y que la capa quede adherida al yute.

Cada capa funciona como base para la siguiente aplicación del recubrimiento y de esta manera el material presentó una consistencia uniforme a lo largo del textil.

El material tiene un tiempo de secado elevado, ya que cada capa aplicada en el textil tarda en solidificar 24 horas. La tercera capa es la que más tiempo requirió para su solidificación, por lo que se deduce que al requerir un número mucho mayor de capas, el tiempo de secado deberá extenderse, para este caso se necesitaron 96 horas de secado para completar las 3 capas sobre el textil. De igual manera se espera que pase lo mismo con cada uno de los materiales compuestos que involucren el bioplástico basado en el almidón de maíz.

El material obtenido recibirá el nombre de *Material compuesto A* y su composición másica se muestra en la siguiente gráfica.



Figura 52. Gráfico de composición másica del material compuesto A

4.1.5 Recubrimiento del yute tipo “C” con BP3

El experimento tiene una similitud con el recubrimiento de BP1, ya que también se realizan probetas recubiertas por un biopolímero, pero este tiene la diferencia que se recubrirá con BP3, por lo que el nombre a recibir será el de *Material compuesto A-N*. Se obtuvieron las 10 muestras plastificadas que se requieren para el ensayo de tracción del textil recubierto por el bioplástico BP3.

El tiempo de secado del material, de igual manera llega a ser de 24 hrs por cada capa aplicada del material. La tercera capa requirió 24 horas más para su última aplicación, fue un total de 96 horas de secado. A continuación se muestra la composición másica del material compuesto A-N.



Figura 53. Gráfico de composición másica del material compuesto A-N

4.1.6 Recubrimiento del yute tipo “C” con BP3 y resina estireno-acrítica

Se logró recubrir completamente las probetas realizadas en el experimento de 3.3.5 *Recubrimiento a telas de yute con Biopolímero BP3*.

El material logra recubrirse de manera rápida, no se presentaron inconvenientes durante el esparcimiento.

El secado de la resina es casi inmediato, no se necesita de esperar más de una hora para lograr ver el secado del total de probetas.

La apariencia de las probetas mejora, ya que se presenta un brillo del mismo material. Además de que puede observarse una cobertura total del entramado faltante en las telas.

El material conserva una flexibilidad considerable ya que no se cristalizó o endureció la probeta como si se hubiera utilizado una resina acrílica.

El nombre asignado a este material es *Material compuesto A-N-R*. La composición másica se muestra en el siguiente gráfico.

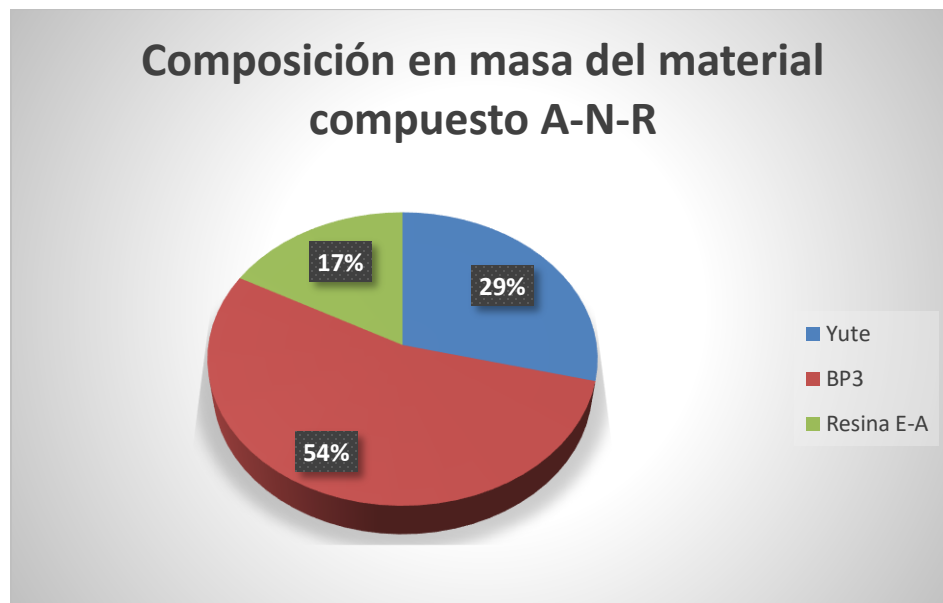


Figura 54. Gráfico de composición másica del material compuesto A-N-R

4.1.7 Recubrimiento del yute tipo “C” con resina estireno-acrítica

El material logró recubrirse de manera satisfactoria sellando en mayor medida los entramados del textil.

El tiempo de secado de la resina estireno-acrítica se da desde los primeros minutos de aplicación, ya que esta comienza a solidificar. Para el secado total de las probetas se verificó el tiempo transcurrido, y se determinó que el tiempo de secado fue de una hora.

El nombre del material elegido para este material fue *Material compuesto R*. La composición másica se muestra en el siguiente gráfico.



Figura 55. Gráfico de composición másica del material compuesto R

4.1.8 Recubrimiento del yute tipo “C” con resina estireno-acrítica y polvo de nopal

Al igual que en el experimento en el que se recubrió el textil con la resina estireno-acrítica, se consiguió un sellado del material con la mezcla de resina y polvo de nopal. El mezclado se dio con dificultad, debido a que la viscosidad de la resina impide un mezclado rápido con el polvo de nopal.

De igual manera, el tiempo de secado, gracias a la resina estireno-acrítica, fue menor a una hora.

El nombre seleccionado para este material, fue *Material compuesto N-R*. La composición másica del material compuesto se muestra en el siguiente gráfico.

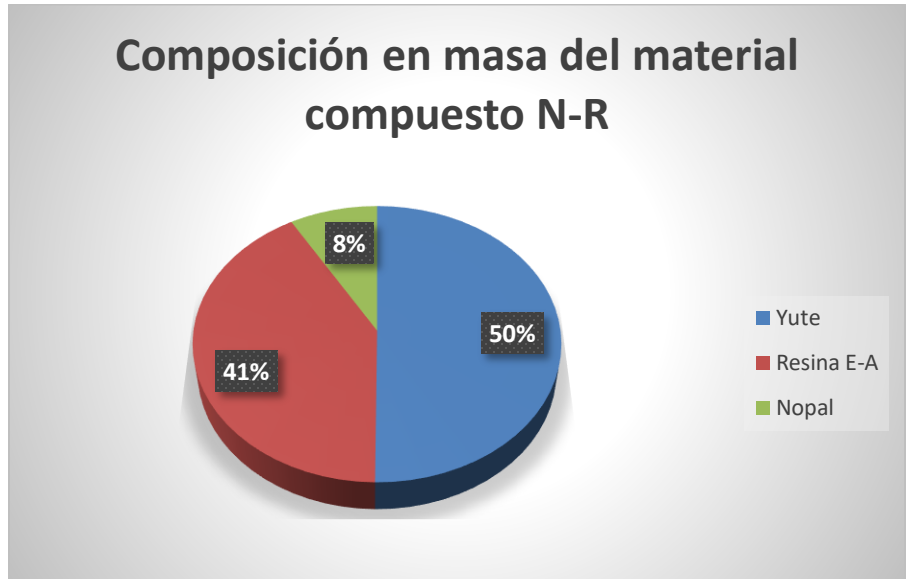


Figura 56. Gráfico de composición másica del material compuesto N-R

4.2 Nomenclatura para los materiales compuestos realizados y textiles utilizados

Para los distintos materiales compuestos conformados, se les reconocerá con la siguiente nomenclatura mostrada en a la tabla siguiente. En esta se describe cual es el contenido de cada material por su abreviatura.

Tabla 11. Nomenclatura de las probetas para determinar el tipo de material de estudio

Nomenclatura	Definición
Natural	Yute Natural tipo "C"
A	Yute + Almidón
R	Yute + Resina Estireno-Acrílica
A-N	Yute + Almidón + Nopal
N-R	Yute + Nopal + Resina
A-N-R	Yute + Almidón + Nopal + Resina

4.3 Ensayos mecánicos de tracción

4.3.1 Resultados promedio de los diferentes textiles

En esta sección se muestran los resultados promedio de los ensayos de tracción realizados a los distintos tipos de yute. En la siguiente tabla se muestran los valores de interés para cada sentido de los diferentes textiles estudiados.

Tabla 12. Resultados promedio de los ensayos de tracción para distintos tipos de yute

Tipo de Yute	Desplazamiento Rotura [mm]	Deformación Rotura [%]	Carga Máxima [kN]	Esfuerzo Máximo [MPa]	Esfuerzo Máximo [kgf/m ²]	Módulo de Young [MPa]
Longitudinal						
A	15.36	7.68	0.31	9.95	1,014,641.79	174.54
B	14.83	7.42	0.40	12.33	1,257,110.82	242.28
C	23.07	11.53	0.76	14.77	1,506,126.44	417.40
Transversal						
A	27.32	13.66	0.19	6.11	623,293.65	61.72
B	32.01	16.00	0.22	6.46	658,739.12	57.06
C	21.49	10.74	0.64	12.05	1,228,579.05	493.56

Cómo se logra apreciar de la *Tabla 12*, la resistencia máxima más alta la tiene el textil de tipo “C”. Gracias a esto sabemos que el material de la membrana debe hacerse con una matriz de este tipo de textil, debido a que si la matriz soporta la mayor carga, el material compuesto se verá beneficiado en sus propiedades mecánicas utilizando esta tela.

De manera gráfica se muestra a continuación los resultados individuales³⁵ de las probetas sometidas a tracción. Son las muestras de yute tipo “C”, puesto que son las que presentaron una resistencia más grande con respecto a los otros tipos ensayados. En la *Figura 57* se muestra el sentido de la urdimbre (longitudinal) y en la *Figura 58* se muestra los resultados de la trama (transversal).

³⁵ Las gráficas de los textiles tipo “A” y tipo “B” se muestran en la sección de anexos

Yute tipo "C"

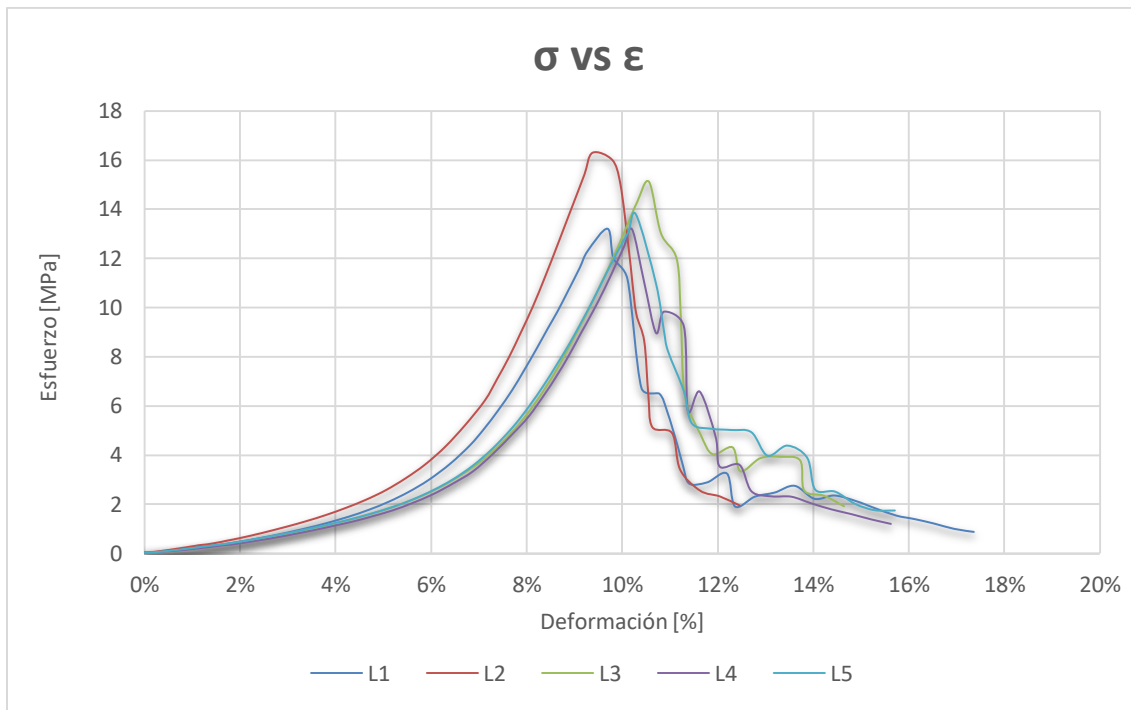


Figura 57. Gráfica Esfuerzo-Deformación longitudinal para textil "C"

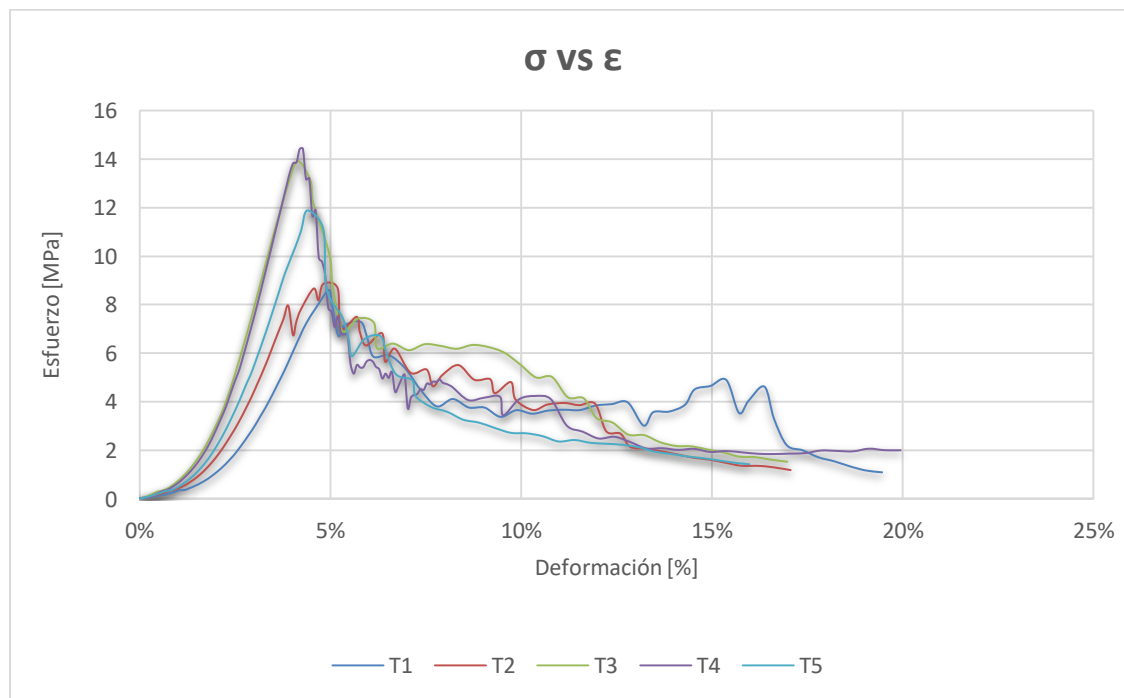


Figura 58. Gráfica Esfuerzo-Deformación transversal para textil "C"

4.3.2 Resultados promedio de los materiales compuestos

En la siguiente tabla se muestran resultados promedio obtenidos de las 5 probetas analizadas para cada tipo de material compuesto estudiado. Se dividen para cada material, los resultados de cada sentido del tejido.

Tabla 13. Resultados promedio de los ensayos de tracción para los materiales compuestos

Recubrimiento	Desplazamiento Rotura [mm]	Deformación Rotura [%]	Carga Máxima [kN]	Esfuerzo Máximo [MPa]	Esfuerzo Máximo [kgf/m ²]	Módulo de Young [Mpa]
Longitudinal						
Natural	23.07	11.53	0.76	14.77	1,506,126.44	417.40
A	17.39	8.69	0.52	6.63	676,053.97	171.36
R	27.45	13.73	1.13	15.25	1,554,818.07	254.55
A-N	32.46	16.23	0.85	10.26	1,046,334.69	176.42
N-R	27.44	13.73	1.10	12.96	1,321,557.12	212.68
A-N-R	36.99	18.49	0.73	7.90	805,803.14	109.12
Transversal						
Natural	21.49	10.74	0.64	12.05	1,228,579.05	493.56
A	27.45	13.73	1.13	10.48	1,554,818.07	254.55
R	12.21	6.10	1.09	14.57	1,485,324.15	404.80
A-N	18.75	9.38	0.70	7.38	752,369.81	216.30
N-R	12.40	6.20	0.94	11.12	1,133,969.43	334.28
A-N-R	23.57	11.79	0.52	6.04	616,176.01	144.58

Cómo logra observarse dentro de la misma tabla, los resultados más altos para la mayoría de los materiales estudiados, se obtienen del sentido longitudinal, en concordancia con lo reportado en la literatura consultada (Escobet).

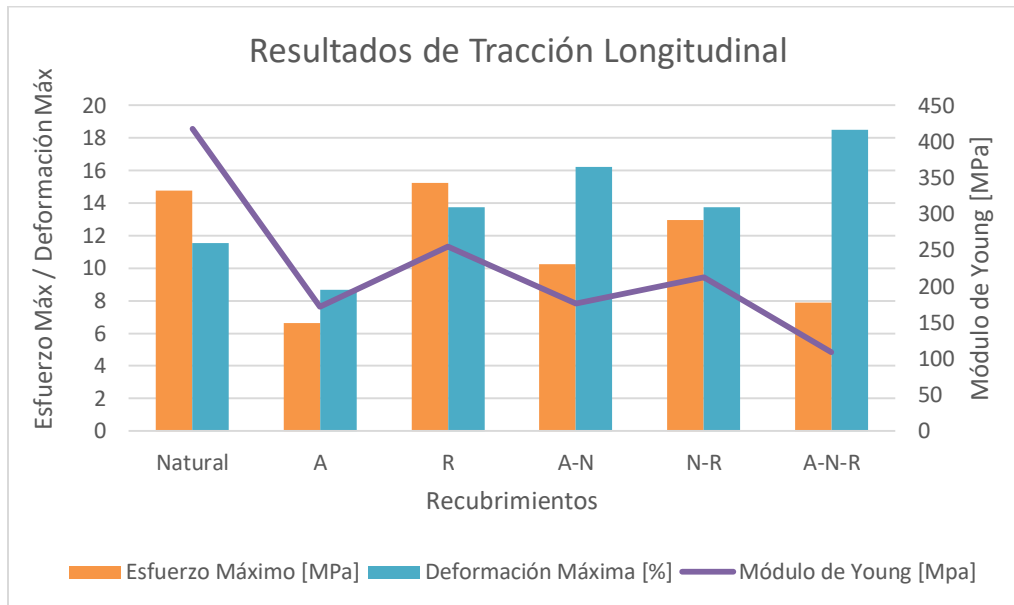


Figura 59. Gráfica comparativa de resultados para ensayos de tracción longitudinales

La Figura 59 muestra el comportamiento de las propiedades mecánicas más importantes del sentido longitudinal y cómo se comparan contra los distintos materiales compuestos elaborados. Como puede observarse el valor de Módulo de Young más alto (417.4 MPa) pertenece al textil natural, y disminuye conforme se le agrega un recubrimiento de cualquier tipo. El valor más bajo (109.12 MPa) pertenece al compuesto A-N-R, cuyo material es el que tiene la mayor cantidad de recubrimiento, aunque la deformación máxima aumenta de gran manera superando hasta el 18% cuando el valor original de deformación es de menos de 12%.

Todos los materiales compuestos que involucran la utilización del bioplástico a partir de la fécula de maíz disminuyen su resistencia, aunque cuando se le agrega nopal a esta formulación logra recuperar un poco de la misma (10.63 MPa más para el caso longitudinal). Como puede observarse, el nopal disminuyó la resistencia mecánica al agregarse a la resina estireno-acrílica. Así, se observó que la resistencia máxima fue alcanzada cuando el textil fue recubierto únicamente de resina estireno-acrílica.

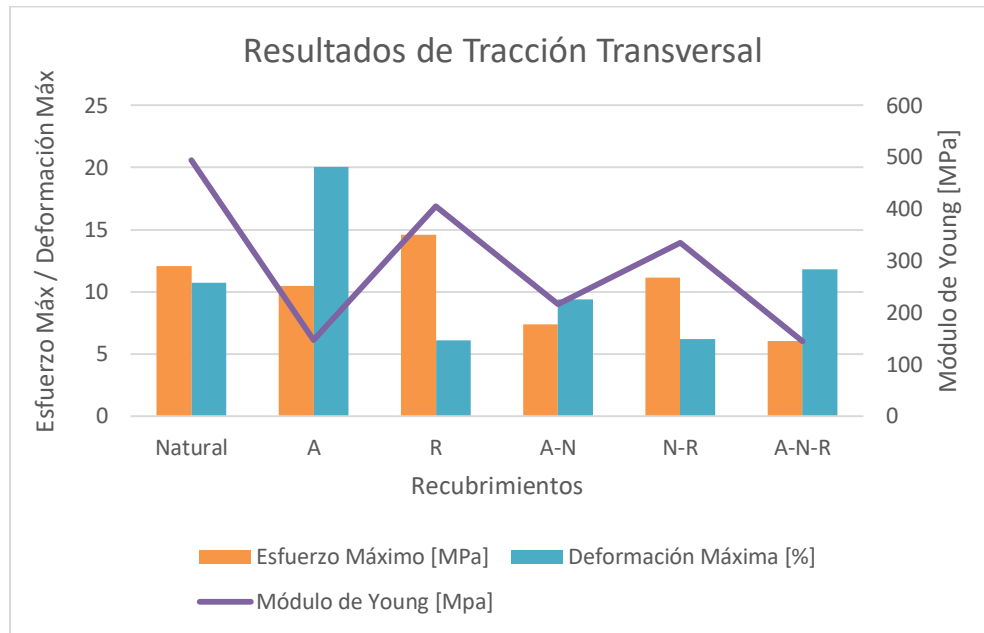


Figura 60. Gráfica comparativa de resultados para ensayos de tracción transversales

Para el sentido transversal, como se observa en la *Figura 60* se puede apreciar un comportamiento similar, ya que, de igual manera, la resistencia más alta la tiene el material cubierto con resina estireno-acrídica y la menor la tiene el material compuesto A-N-R. Para este sentido el esfuerzo máximo se alcanzó a los 14.57% y la deformación máxima alcanzada en el punto de rotura fue superior al 20%. El material con mayor deformación fue el material compuesto A.

4.4 Resultados de fotometría

Se presentan a continuación los resultados promedio de la iluminancia e intensidad luminosa de cada uno de los distintos materiales compuestos.

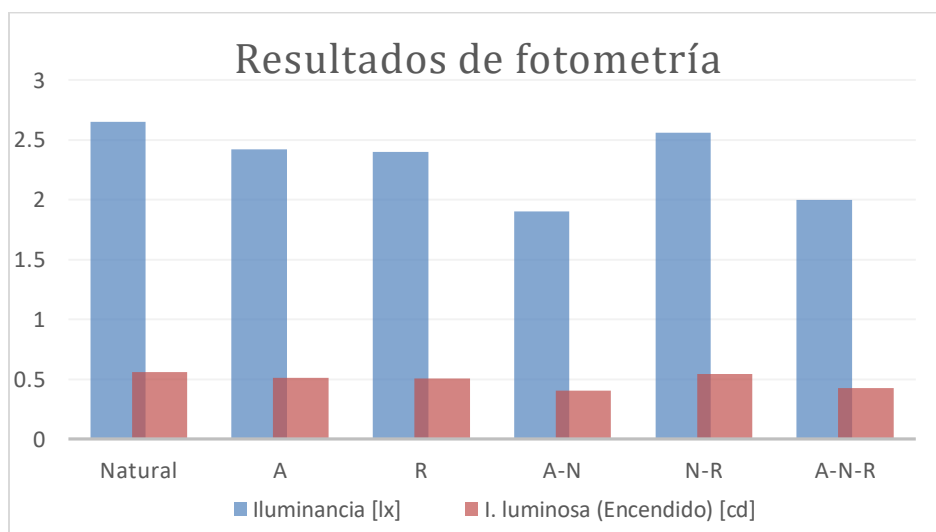


Figura 61. Resultados ópticos de iluminancia e intensidad lumínica

De la *Figura 61* se puede apreciar que el material con mayor interferencia de la luz es el A-N, lo que hace que este sea el más viable para utilizar si se toma en consideración que es el que tiene más posibilidades de oponer una resistencia al paso lumínico.

Los materiales que tienen resina tampoco son descartables, ya que tienen una diferencia muy pequeña con respecto a la iluminancia que poseen los materiales que contienen almidón de maíz.

Todos los valores son inferiores al valor original del yute en cuanto a su iluminancia, por lo tanto todos los materiales recubiertos van a tener una mejor interferencia que el textil virgen.

El material compuesto A-N-R, no fue el que presentó la mayor interferencia lumínica, esto puede deberse a que la aplicación de la resina afectó el biopolímero que recubría el textil, ya sea porque la resina esté deteriorando el recubrimiento inicial, o que mediante la aplicación de la misma, se haya dañado el recubrimiento de almidón-nopal por la acción de impregnación realizada por la brocha con la que se aplicó.







4.5 Resultados de observación estereoscópica y microscópica

Dentro de esta serie de resultados, se reportan las imágenes obtenidas de la microscopía electrónica y la estereoscopía.

Para poder hacer un mejor análisis, a continuación se presenta la *Tabla 14*, dónde se hace una descripción y comparación de la morfología observada mediante estereoscopio. Mientras que en la *Tabla 15*, dónde se describe la morfología obtenida de la microscopía electrónica de barrido. Ambos considerando también las resistencias obtenidas mediante los ensayos de tracción de los materiales³⁶.

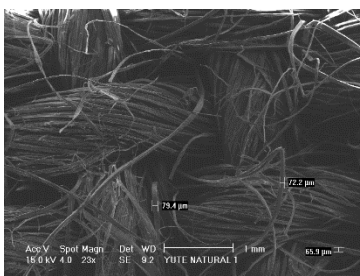
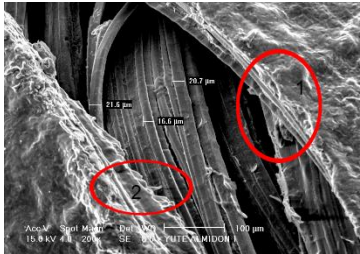
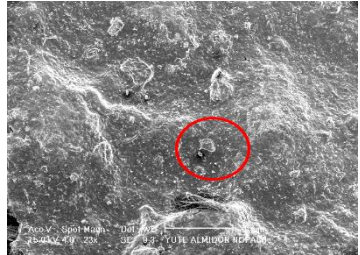

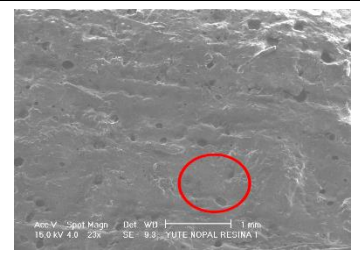
³⁶ Las imágenes aumentadas se encuentran en la sección de Anexos.

Tabla 14. Resultados de Estereoscopia³⁷

Material	Imagen	σ Máx. Long [Mpa]	σ Máx. Trans [Mpa]	Descripción
Natural		14.77	12.05	En esta imagen se logran apreciar las fibras entrelazadas del yute tipo "C". Además de observar que estas no están ordenadas en su totalidad.
A		6.63	10.48	Se observan cortes del BP1, además de que se encuentran zonas en dónde las fibras están descubiertas.
A-N		10.26	7.38	Para esta imagen, se observa los pequeños granos de nopal contenidos en el BP3, además de que las fibras ya no están expuestas.
R		15.25	13.73	Se observan burbujas en la resina, lo que puede deberse a que el aire quedo aplicado durante la aplicación de la misma. Además de aun poder ver el entramado en esta imagen. El textil parece estar recubierto en su totalidad.
N-R		12.96	11.12	La imagen es muy parecida al material R, pero en esta se pueden ver los pequeños granos del polvo de nopal.
A-N-R		7.9	6.04	Para este material, la imagen parece estar completamente recubierta por las distintas capas de recubrimientos. Se nota un brillo característico de la resina.

³⁷ Las imágenes contenidas dentro de esta tabla, se encuentran aumentadas en la sección de anexos.

Tabla 15. Resultados de Microscopía (SEM)³⁸

Material	Imagen	σ Máx. Long [Mpa]	σ Máx. Trans [Mpa]	Descripción
Natural		14.77	12.05	Las fibras de yute natural tienen un espesor de entre 60 y 80 micras y presentan un entramado con ancho diferente entre la dirección longitudinal y la transversal.
A		6.63	10.48	El biopolímero de almidón cubre los entramados del yute, notándose una superficie lisa, pero no lo hace en su totalidad ya que al recorrer la observación por distintas áreas se observan partes sin recubrir como se muestra en la micrografía presentada para la tabla. En la sección 1 se observa una fibra recubierta y en la sección 2 se aprecia una rotura del bioplástico. En referencia con el yute natural (sin recubrir), la resistencia cae 55 y 13%, longitudinal y transversal respectivamente.
A-N		10.26	7.38	Muestran una superficie rugosa, probablemente debido a la presencia del polvo de nopal añadido. También se puede apreciar que el recubrimiento presenta rasgaduras, donde, al interior de estas, las fibras se observan limpias; es decir, el recubrimiento no presenta acoplamiento de unión con el entramado. Se presentan granos de nopal dentro de la sección señalada. En este compuesto los valores de resistencia caen 30.5 y 38.7% longitudinal y transversal respectivamente.
R		15.25	13.73	Se observa que las fibras fueron recubiertas en su totalidad, las porosidades en ciertas regiones probablemente se deban al desprendimiento de gases que se pudieran haber generado al contacto con el yute. En esta combinación, cabe destacar que la resistencia del compuesto aumentó de 14.77 a 15.25 y de 12.05 a 13.73 MPa, longitudinal y transversal respectivamente. Esta fue la única combinación que aumento la resistencia del material.
N-R		12.96	11.12	El polvo de nopal inhibió la unión yute-resina del compuesto R, haciendo que varias zonas del recubrimiento presentaran varias rasgaduras apareciendo algunas fibras del yute libres de resina. Esto trajo como consecuencia una disminución en la resistencia mecánica por debajo de la resistencia del yute natural de 12.2 y 7.6% longitudinal y transversal respectivamente. También se aprecia que se los poros de la resina se ocultan como consecuencia del polvo de nopal.
A-N-R	-	7.9	6.04	Finalmente, el almidón usado en el compuesto ANR con respecto al compuesto NR, se observó que las propiedades del compuesto caían alrededor del 50%, por lo que se puede determinar que el almidón es el responsable de disminuir la resistencia de los compuestos donde se encuentra presente.

³⁸ Las imágenes contenidas dentro de esta tabla, así como imágenes adicionales de la observación, se encuentran aumentadas en la sección de anexos.

5. Conclusiones

Se logró el conformado de 5 materiales compuestos diferentes, presentados como propuestas para la elaboración de la cubierta para la tenso-estructura arquitectónica.

Cada uno de los distintos materiales fue caracterizado con éxito cumpliendo los objetivos para la determinación de su resistencia mecánica, obtención de morfología y fotometría.

Se obtuvieron materiales cuya mayor parte de su estructura son de origen natural, logrando una sustentabilidad para el material.

El polvo de nopal logró aumentar la resistencia del bioplástico basado en el almidón.

Se logró observar la influencia de los sentidos del corte de tejido, en el material textil, sobre la resistencia mecánica, además de comprobar que para algunos materiales compuestos, un sentido de corte favorece en mayor medida el aumento de las propiedades mecánicas.

Dados los resultados de resistencia obtenidos, se puede concluir que la del yute, utilizando como protección el bioplástico con base en el almidón, disminuyó la resistencia del material compuesto elaborado, lo cual puede deberse a que, como se explica en la teoría reportada en el presente trabajo, las fibras del yute son sensibles al almidón.

El polvo de nopal de manera contraria a lo que pasó con recubrimiento del biopolímero del almidón de maíz, no pudo aumentar la resistencia de la resina, lo cual se puede deber a que el mezclado entre estos dos no fue sencillo desde el comienzo ya que la viscosidad de la resina complicaba el esparcimiento adecuado del polvo de nopal dentro de esta, mostrando poca compatibilidad entre ambas sustancias.

La resina estireno-acrítica utilizada únicamente de manera natural sobre el textil, sí logra aumentar la resistencia del material, además de que este compuesto formado presentará una mayor obstrucción que los recubiertos con los biopolímeros elaborados. Cabe mencionar también, que la resina estireno-acrítica protegerá al textil interno en alguna medida, contra los rayos UV del sol. Si bien, este material, tiene un origen sintético, debido a que el porcentaje en masa del material es menor a la cantidad de yute que se agrega, sigue presentándose como una alternativa sostenible de material para la elaboración de la cubierta de la tenso-estructura.

El material compuesto, únicamente de resina estireno-acrítica y el tejido de yute, presenta muchas ventajas si se comparan contra el resto de los materiales conformados, y aunque como se menciona, tiene un elemento de origen sintético, los materiales con los que comúnmente se construyen las cubiertas, muchas veces son derivados del petróleo. Esto hace que este material en específico, sea una alternativa que presente un equilibrio más notable entre el medio ambiente y la estructura, que materiales de uso común para estas

aplicaciones de construcción. La ventaja que ofrece este material es que puede ser utilizado durante un periodo de vida mucho más largo debido a que se trata de un recubrimiento sintético, además de que el proceso de elaboración del mismo, es más rápido, debido al bajo tiempo de solidificación de la resina.

De los ensayos de fotometría se puede rescatar que todos los agregados aumentaron la interferencia al paso de luz, por lo que presentan un grado mayor de obstrucción con respecto al textil original.

La resistencia de los materiales recubiertos con biopolímero con base en el almidón de maíz disminuyó, pero mientras que a las estructuras a las que se requieran dar cobertura estén sometidas a esfuerzos inferiores a los reportados en el presente escrito, pueden utilizarse sin ningún problema de falla por resistencia.

Las estructuras que utilicen tejidos naturales en sus coberturas serán menos resistentes que las que utilicen tejidos sintéticos para su cubierta, por lo que los materiales presentados únicamente podrán ser utilizados en cubiertas pequeñas y de carácter temporal, ya que si se utilizan para cubrir estructuras de gran tamaño los esfuerzos serán mayores, y las fibras naturales no podrían resistirlas.

TRABAJOS A FUTURO

Es necesario realizar pruebas de permeabilidad para determinar la duración del material compuesto elaborado.

Si se requiere una velaria con mayor resistencia, puede ser necesario buscar otro tipo de tela como el cáñamo, o pensar en la opción de utilizar textiles compuestos de un poliéster o una poliamida, ya que estas pueden presentar mejor compatibilidad con los elementos para recubrir que fueron presentados en este trabajo, o bien que por su naturaleza sintética no se vean afectados de gran medida por el recubrimiento de biopolímero de almidón.

Se deben buscar nuevas aplicaciones para los materiales conformados, a parte de la cobertura de espacios.

Realizar pruebas de degradación, para determinar el tiempo de descomposición de los materiales conformados, además de dar un parámetro para la vida útil de los mismos.

Anexos

Ensayos de mecánicos de tracción

Resultados para distintos tipos de yute natural

Tipo de Yute	Probeta	Desplazamiento Máximo [mm]	Deformación Máxima [%]	Carga Máxima [kN]	Esfuerzo Máximo [MPa]	Esfuerzo Máximo [kgf/m ²]	Desplazamiento en la rotura [mm]	Deformación en la rotura [%]	Carga en la rotura [kN]	Esfuerzo en la rotura [Mpa]	Esfuerzo en la rotura [kgf/m ²]	Módulo de Young [Mpa]
A	Longitudinal											
	1	13.15	6.575	0.2917	9.412	959760.464	14.32	7.16	0.263	8.846	902044.312	174.7
	2	14.68	7.34	0.3219	10.39	1059489.08	14.77	7.385	0.3165	10.21	1041134.12	178.8
	3	13.94	6.97	0.3051	9.844	1003812.37	16.36	8.18	0.1267	4.088	416861.536	173.7
	4	13.75	6.87	0.3011	9.715	990657.98	15.67	7.835	0.1605	5.179	528112.988	174.9
	5	14.44	7.22	0.322	10.39	1059489.08	15.69	7.845	0.1701	5.488	559622.336	170.6
	Promedio	13.992	6.995	0.30836	9.9502	1014641.79	15.362	7.681	0.20736	6.7622	689555.058	174.54
	Transversal											
	1	27.2	13.6	0.1934	6.24	636305.28	27.29	13.65	0.1894	6.111	623150.892	59.68
	2	26.45	13.22	0.1901	6.134	625496.248	26.45	13.22	0.1901	6.134	625496.248	61.74
	3	27.22	13.61	0.2017	6.508	663633.776	27.22	13.61	0.2017	6.508	663633.776	65.91
	4	26.65	13.33	0.1797	5.798	591233.656	28.06	14.03	0.0671	2.165	220769.38	61
	5	26.24	13.12	0.1823	5.882	599799.304	27.57	13.78	0.1332	4.298	438275.656	60.28
	Promedio	26.752	13.376	0.18944	6.1124	623293.653	27.318	13.658	0.1563	5.0432	514265.19	61.722
B	Longitudinal											
	1	14.15	7.075	0.3992	12.88	1313399.36	15.32	7.66	0.3754	12.11	1234880.92	263.8
	2	13.65	6.825	0.4126	13.31	1357247.32	13.73	6.865	0.3958	12.77	1302182.44	264.5
	3	13.73	6.865	0.3936	11.25	1147185	15.48	7.74	0.3766	10.46	1066627.12	220.6
	4	13.08	6.54	0.4021	12.01	1224683.72	14.83	7.415	0.2105	6.285	640894.02	235.5
	5	14.31	7.155	0.4083	12.19	1243038.68	14.81	7.405	0.3177	9.486	967306.392	227
	Promedio	13.784	6.892	0.40316	12.328	1257110.82	14.834	7.417	0.3352	10.2222	1042378.18	242.28
	Transversal											
	1	30.34	15.17	0.2431	7.259	740214.748	30.42	15.21	0.2365	7.061	720024.292	60.12
	2	28.43	14.22	0.2114	6.042	616114.824	32.56	16.28	0.0719	2.056	209654.432	55.33
	3	27.33	13.67	0.2129	6.357	648236.004	30.46	15.23	0.0855	2.553	260334.516	61.28
	4	28.63	14.31	0.1965	5.697	580934.484	34.42	17.21	0.0605	1.755	178960.86	49.88
	5	29.42	14.71	0.2326	6.945	708195.54	32.17	16.08	0.1106	3.302	336711.544	58.68
	Promedio	28.83	14.416	0.2193	6.46	658739.12	32.006	16.002	0.113	3.3454	341137.129	57.058
C	Longitudinal											
	1	19.55	9.775	0.6958	13.26	1352148.72	24.55	12.27	0.1752	3.338	340382.536	359.7
	2	19.51	9.775	0.8279	16.9	1723326.8	20.92	10.46	0.4226	8.626	879610.472	516.7
	3	21.45	10.72	0.7694	15.71	1601980.12	22.29	11.14	0.586	11.96	1219585.12	411
	4	20.75	10.38	0.7154	13.76	1403134.72	23.83	11.92	0.3769	7.25	739297	418
	5	20.83	10.42	0.7748	14.22	1450041.84	23.75	11.87	0.2765	5.075	517507.9	381.6
	Promedio	20.418	10.214	0.75666	14.77	1506126.44	23.068	11.532	0.36744	7.2498	739276.606	417.4
	Transversal											
	1	9.92	4.96	0.4733	8.608	877774.976	31.92	15.96	0.2223	4.042	412170.824	334
	2	10.04	5.02	0.4891	9.593	978217.396	23.88	11.94	0.2001	3.925	400240.1	415.2
	3	8.53	4.265	0.8075	14.69	1497968.68	21.62	10.81	0.2764	5.026	512511.272	588.9
	4	8.48	4.24	0.7667	14.61	1489810.92	15.73	7.864	0.2581	4.918	501498.296	641.8
	5	9.21	4.605	0.6685	12.74	1299123.28	14.3	7.148	0.2568	4.892	498847.024	487.9
	Promedio	9.236	4.618	0.64102	12.0482	1228579.05	21.49	10.7444	0.24274	4.5606	465053.503	493.56

A 1. Tabla de resultados para ensayo de tracción de los tipos de yute natural

Resultados para ensayos de tracción para materiales compuestos

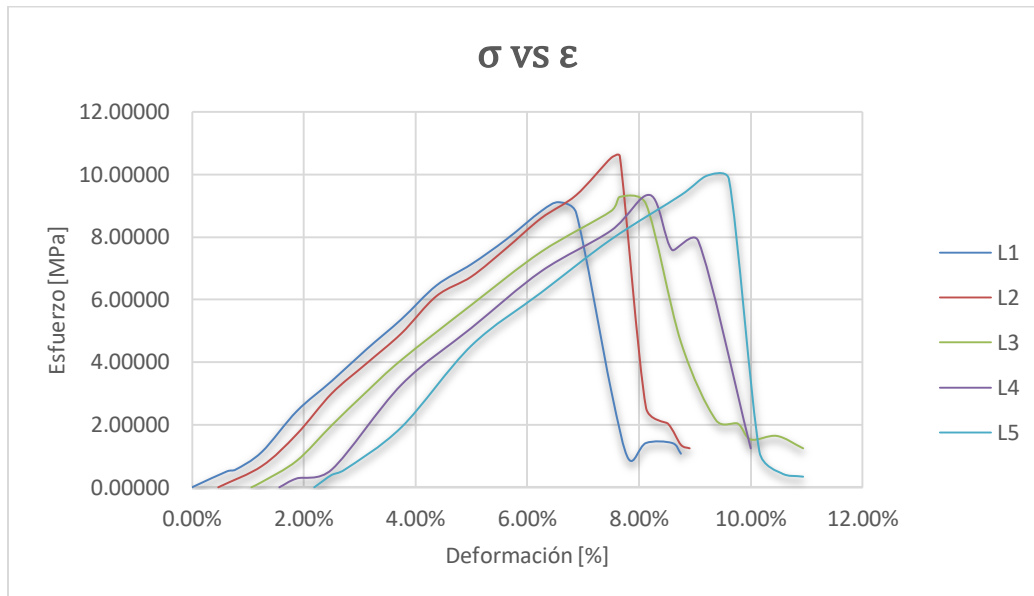
Recubrimiento	Probeta	Desplazamiento Máximo [mm]	Deformación Máxima [%]	Carga Máxima [kN]	Esfuerzo Máximo [MPa]	Esfuerzo Máximo [kgf/m ²]	Desplazamiento en la rotura [mm]	Deformación en la rotura [%]	Carga en la rotura [kN]	Esfuerzo en la rotura [MPa]	Esfuerzo en la rotura [kgf/m ²]	Módulo de Young [MPa]
A	Longitudinal											
	1	15.07	7.535	0.4776	6.327	645176.844	21.91	10.95	0.2799	3.708	378112.176	164.7
	2	14.52	7.26	0.5023	6.4	652620.8	16.1	8.052	0.2064	2.63	268186.36	171.4
	3	15.43	7.715	0.6008	7.607	775701.004	16.35	8.175	0.5887	7.454	760099.288	181.2
	4	15.02	7.51	0.5079	6.513	664143.636	16.27	8.137	0.3498	4.486	457446.392	178.7
	5	15.23	7.615	0.4977	6.302	642627.544	16.31	8.155	0.4502	5.7	581240.4	160.8
	Promedio	15.054	7.527	0.51726	6.6298	676053.966	17.388	8.6938	0.375	4.7956	489016.923	171.36
	Transversal											
	1	39.67	19.83	0.7723	9.904	1009930.69	42.42	21.21	0.7723	9.904	1009930.69	148.1
	2	37.52	18.76	0.7254	9.302	948543.544	40.52	20.26	0.7254	9.302	948543.544	134.2
	3	38.56	19.28	0.8867	10.95	1116593.4	38.89	19.45	0.8867	10.95	1116593.4	139.3
	4	38.21	19.1	0.8408	10.71	1092120.12	38.63	19.32	0.8408	10.71	1092120.12	146.8
	5	39.97	19.99	0.923	11.54	1176756.88	40.06	20.03	0.923	11.54	1176756.88	168.4
	Promedio	38.786	19.392	0.82964	10.4812	1068788.93	40.104	20.054	0.82964	10.4812	1068788.93	147.36
R	Longitudinal											
	1	21.61	10.8	0.6056	7.717	786917.924	27.94	13.97	0.2847	3.628	369954.416	164.2
	2	27.28	13.64	1.128	15.04	1533658.88	27.53	13.76	1.083	14.44	1472475.68	248.6
	3	27.3	13.65	1.167	15.67	1597901.24	27.46	13.73	1.162	15.6	1590763.2	280.6
	4	26.32	13.16	1.015	14	1427608	26.32	13.16	1.1015	14	1427608	248.9
	5	28.08	14.04	1.196	16.28	1660104.16	28.5	14.25	0.8503	11.57	1179816.04	240.1
	Promedio	27.245	13.6225	1.1265	15.2475	1554818.07	27.4525	13.725	1.03176667	13.9025	1417665.73	254.55
	Transversal											
	1	12.14	6.07	1.085	14.37	1465337.64	12.14	6.07	1.085	14.37	1465337.64	407.6
	2	12.12	6.06	0.9819	13.55	1381720.6	12.12	6.06	0.9819	13.55	1381720.6	399.3
	3	11.25	5.625	1.072	14.69	1497968.68	11.25	5.625	1.072	14.69	1497968.68	436.2
	4	12.5	6.25	1.132	15	1529580	12.5	6.25	1.132	15	1529580	400.5
	5	13.03	6.515	1.164	15.22	1552013.84	13.03	6.515	1.164	15.22	1552013.84	380.4
	Promedio	12.208	6.104	1.08698	14.566	1485324.15	12.208	6.104	1.08698	14.566	1485324.15	404.8
A-N	Longitudinal											
	1	32.48	16.24	0.9946	11.99	1222644.28	33.58	16.79	0.36	4.338	442354.536	199.5
	2	32	16	0.8121	10.55	1075804.6	33.1	16.55	0.8019	10.42	1062548.24	186.2
	3	32.75	16.38	1.001	10.71	1092120.12	33	16.5	0.9718	10.4	1060508.8	175.3
	4	30.33	15.17	0.6744	8.32	848407.04	30.92	15.46	0.5944	7.34	748474.48	147.7
	5	31.28	15.64	0.764	9.735	992697.42	31.7	15.85	0.7254	9.24	942221.28	173.4
	Promedio	31.768	15.886	0.84922	10.261	1046334.69	32.46	16.23	0.6907	8.3476	851221.467	176.42
	Transversal											
	1	20.89	10.44	0.5989	6.208	633042.176	22.89	11.44	0.262	2.716	276955.952	171.1
	2	18.19	9.095	0.7168	7.43	757651.96	18.27	9.135	0.7119	7.379	752451.388	215.6
	3	18.92	9.46	0.6671	6.915	705136.38	21.5	10.75	0.2588	2.683	273590.876	216.9
	4	15.41	7.705	0.7479	9.351	953540.172	15.41	7.705	0.7479	9.351	953540.172	276.5
	5	15.69	7.845	0.7858	6.987	712478.364	15.69	7.845	0.7858	6.987	712478.364	201.4
	Promedio	17.82	8.909	0.7033	7.3782	752369.81	18.752	9.375	0.55328	5.8232	593803.35	216.3
N-R	Longitudinal											
	1	22.95	11.48	0.7686	9.098	927741.256	25.12	12.56	0.3568	4.223	430627.756	198.9
	2	26.87	13.44	1.129	13.29	1355207.88	26.87	13.44	1.129	13.29	1355207.88	232.2
	3	27.29	13.65	1.101	12.51	1275669.72	27.95	13.98	1.023	11.63	1185934.36	200.3
	4	27.67	13.84	1.064	13.14	1339912.08	27.67	13.84	1.064	13.14	1339912.08	203.9
	5	27.02	13.51	1.103	12.9	1315438.8	27.27	13.64	1.076	12.59	1283827.48	214.3
	Promedio	27.2125	13.61	1.09925	12.96	1321557.12	27.44	13.725	1.073	12.6625	1291220.45	212.675
	Transversal											
	1	11.78	5.89	1.029	12.33	1257314.76	12.11	6.055	0.9765	11.7	1193072.4	368
	2	10.28	5.14	0.6427	7.432	757855.904	10.78	5.39	0.6277	7.258	740112.776	275.7
	3	12.91	6.455	1.099	12.64	1288926.08	12.91	6.455	1.099	12.64	1288926.08	325.9
	4	15.21	7.605	1.195	13.9	1417410.8	15.21	7.605	1.195	13.9	1417410.8	362.2
	5	9.97	4.985	0.7581	9.3	948339.6	10.97	5.485	0.4679	5.743	585625.196	339.6
	Promedio	12.03	6.015	0.94476	11.1204	1133969.43	12.396	6.198	0.87322	10.2482	1045029.45	334.28
A-N-R	Longitudinal											
	1	36.44	18.22	0.7627	8.719	889093.868	37.35	18.67	0.4588	5.245	534843.14	134.4
	2	32.75	16.38	0.5396	5.14	524136.08	36.92	18.46	0.24	2.286	233107.992	62.81
	3	35.5	17.75	0.6754	7.634	778454.248	37.17	18.58	0.3777	4.369	445515.668	108.3
	4	37.05	18.53	0.8572	9.22	940181.84	37.96	18.98	0.5941	6.39	651601.08	123.3
	5	34.72	17.36	0.818	8.798	897149.656	35.56	17.78	0.7031	7.562	771112.264	116.8
	Promedio	35.292	17.648	0.73058	7.9022	805803.138	36.992	18.494	0.47474	5.1704	527236.029	109.122
	Transversal											
	1	14.98	7.49	0.5528	6.43	655679.96	35.23	17.62	0.2349	2.732	278587.504	164.9
	2	13.82	6.91	0.5431	6.748	688107.056	18.99	9.495	0.2153	2.675	272775.1	153.2
	3	16.4	8.2	0.5232	6.23	635285.56	23.32	11.66	0.2164	2.576	262679.872	144.5
	4	16.43	8.215	0.4749	4.974	507208.728	22.68	11.34	0.1922	2.013	205269.636	113.3
	5	16.13	8.065	0.5307	5.831	594598.732	17.63	8.814	0.2754	3.078	313869.816	147
	Promedio	15.552	7.776	0.52494	6.0426	616176.007	23.57	11.7858	0.22684	2.6148	266636.386	144.58

A 2. Tabla de resultados para ensayo de tracción de los materiales compuestos³⁹

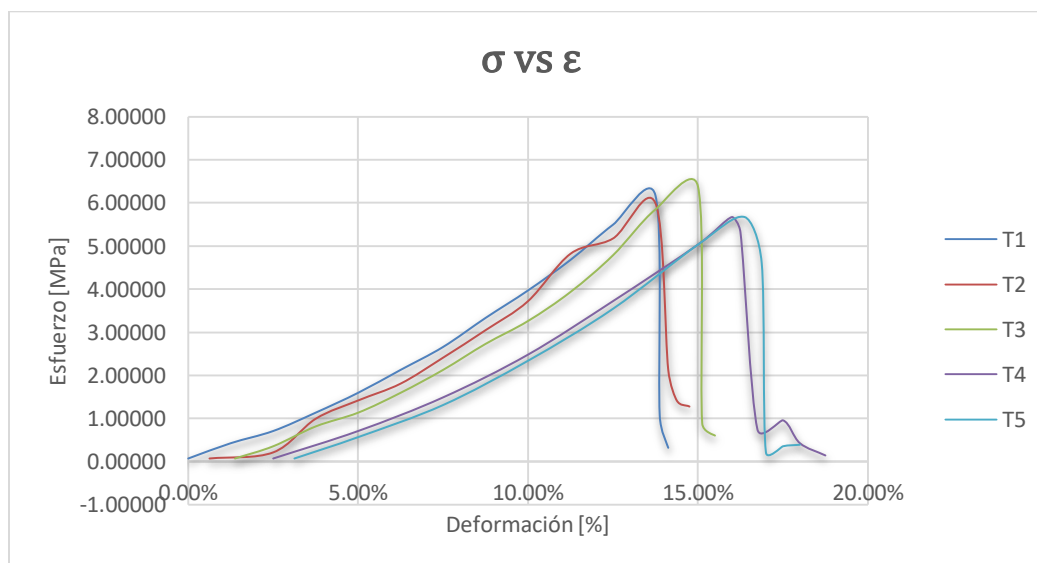
³⁹ Las filas amarillas fueron descartadas ya que su valor tiene una diferencia muy grande con respecto a las demás

Gráficas de Esfuerzo – Deformación de distintos tipos de yute

Yute tipo "A"



A 3. Gráfica Esfuerzo-Deformación longitudinal para textil "A"⁴⁰

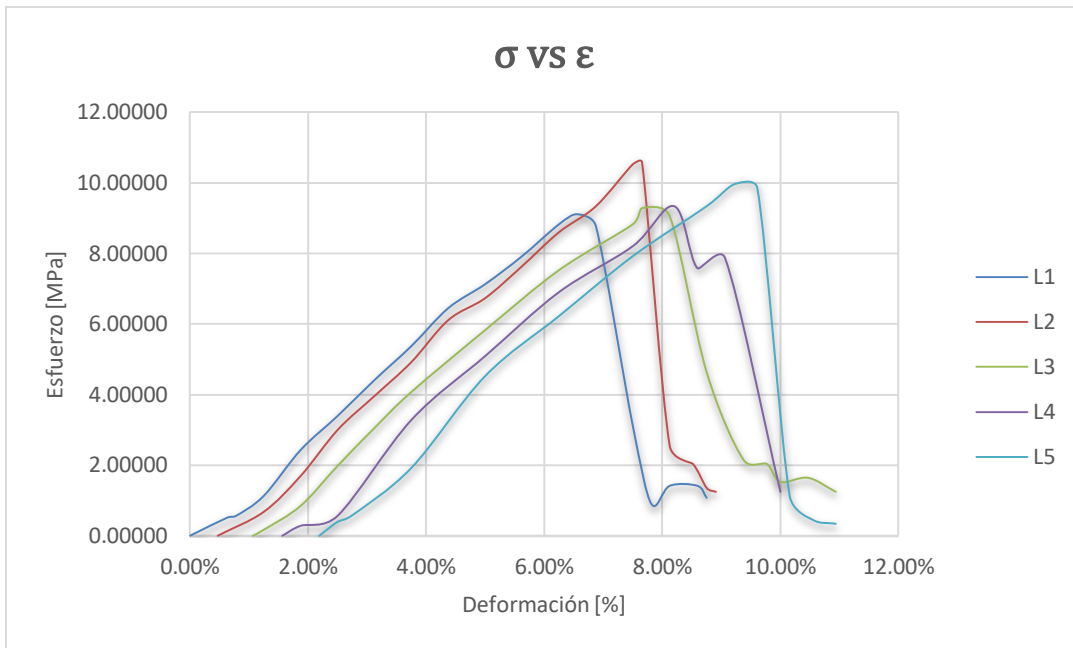


A 4. Gráfica Esfuerzo-Deformación transversal para textil "A"⁴¹

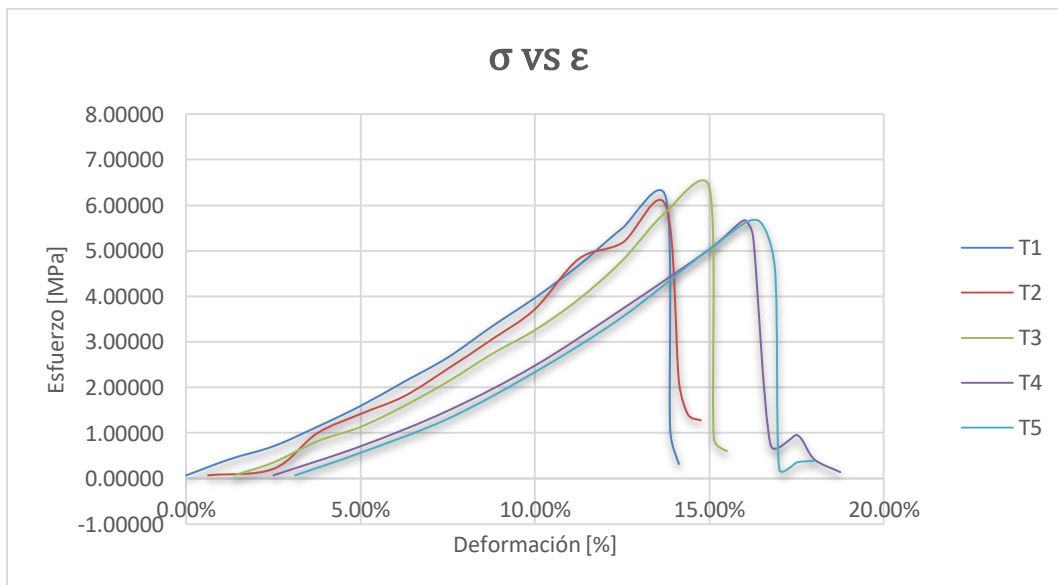
⁴⁰ Para la interpretación de esta gráfica, es necesario considerar el desfase con respecto al origen. Este únicamente se hace por facilidad visual para que no se encimen las curvas

⁴¹ Para la interpretación de esta gráfica, es necesario considerar el desfase con respecto al origen. Este únicamente se hace por facilidad visual para que no se encimen las curvas

Yute tipo "B"



A 5. Gráfica Esfuerzo-Deformación longitudinal para textil "A"⁴²



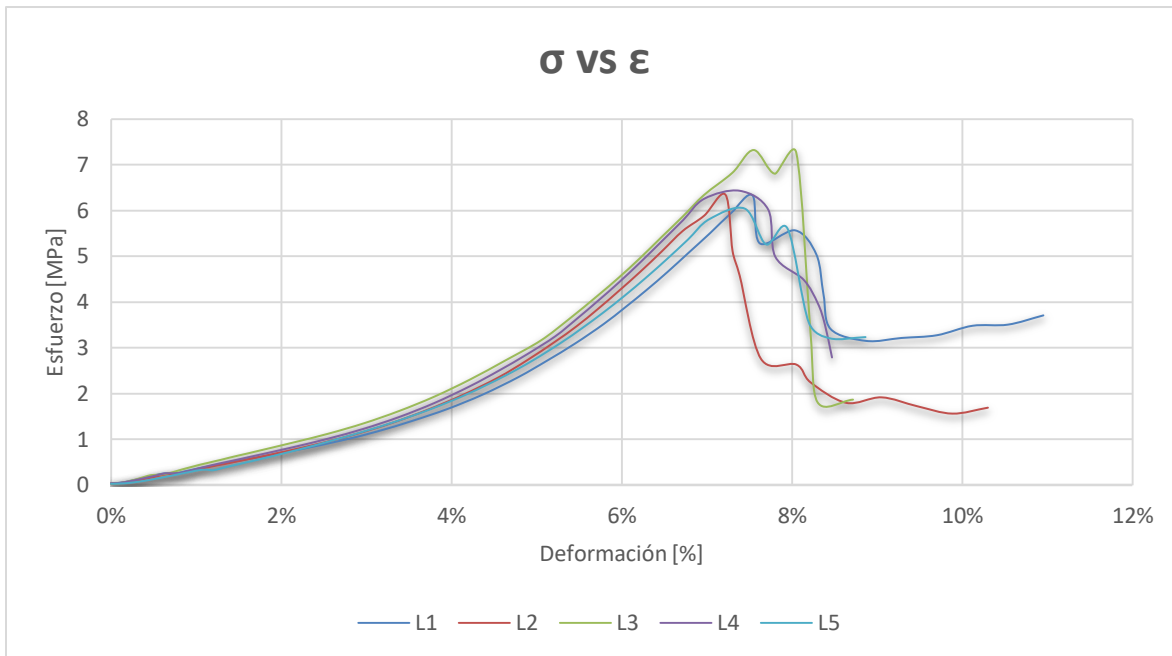
A 6. Gráfica Esfuerzo-Deformación transversal para textil "A"⁴³

⁴² Para la interpretación de esta gráfica, es necesario considerar el desfase con respecto al origen. Este únicamente se hace por facilidad visual para que no se encimen las curvas

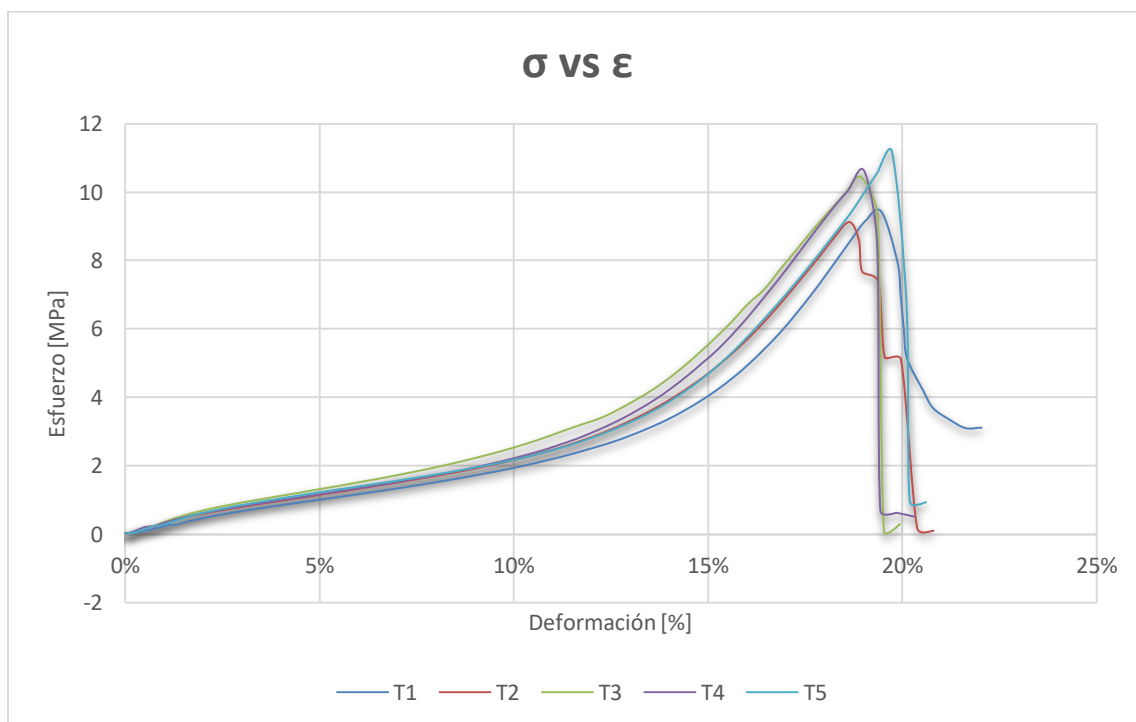
⁴³ Para la interpretación de esta gráfica, es necesario considerar el desfase con respecto al origen. Este únicamente se hace por facilidad visual para que no se encimen las curvas.

Gráficas de Esfuerzo – Deformación de materiales compuestos

Material compuesto A

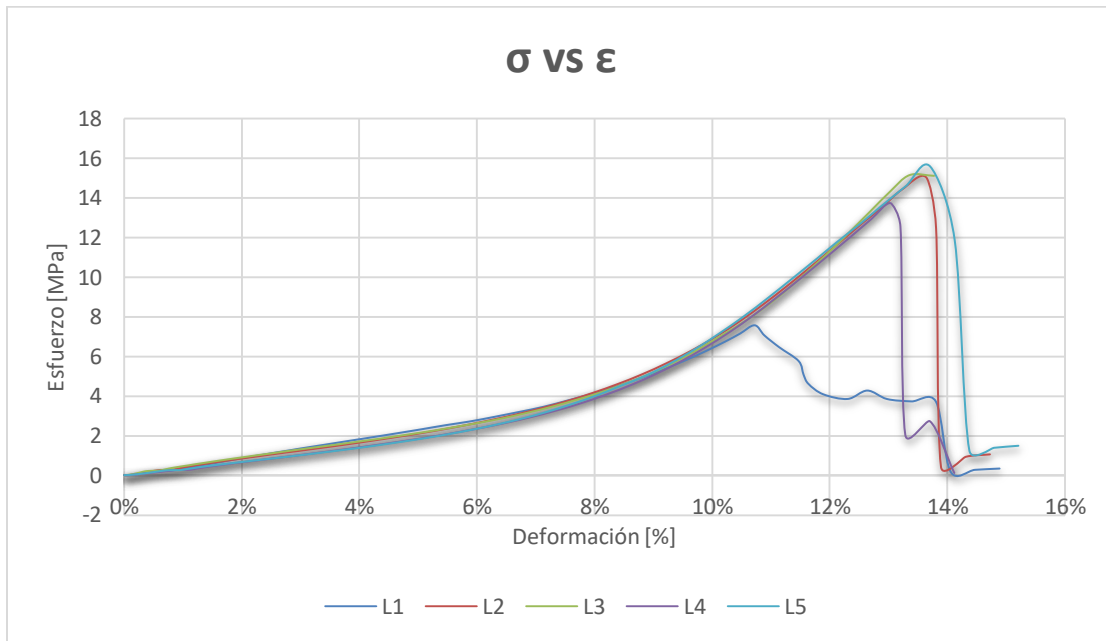


A 7. Gráfica Esfuerzo-Deformación longitudinal para material A

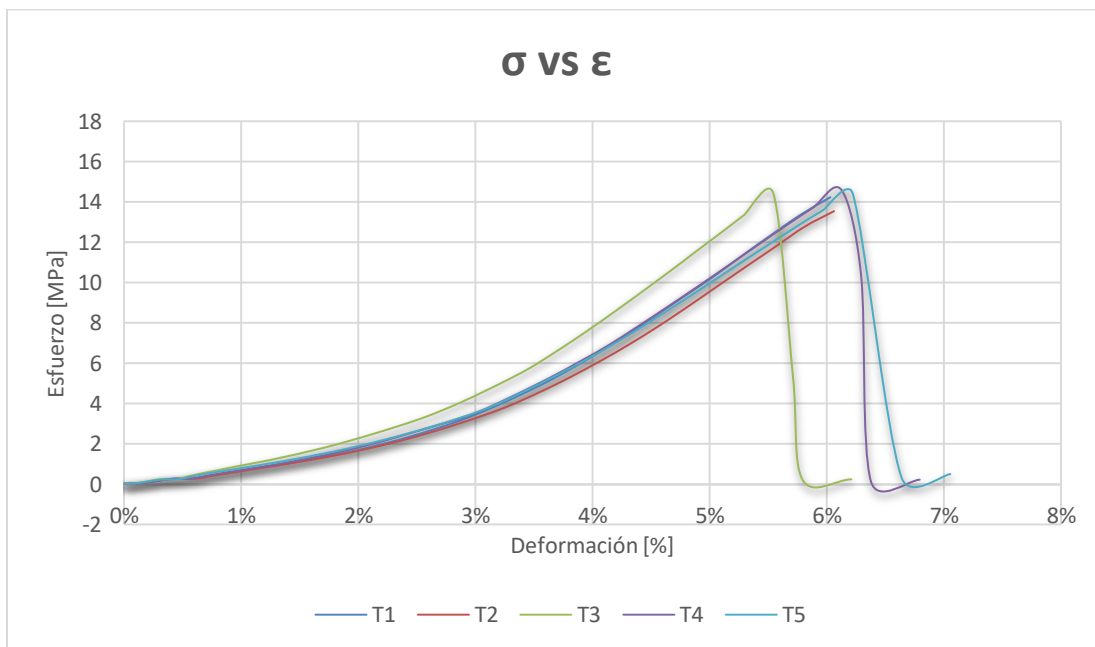


A 8. Gráfica Esfuerzo-Deformación transversal para material A

Material compuesto R

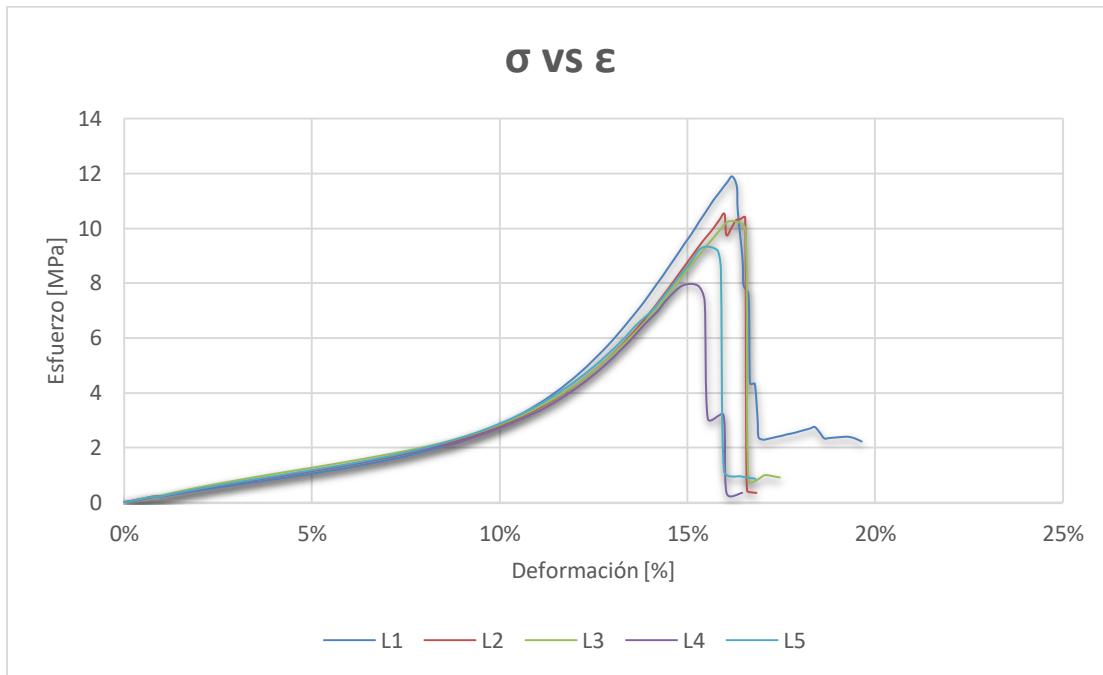


A 9. Gráfica Esfuerzo-Deformación longitudinal para material R

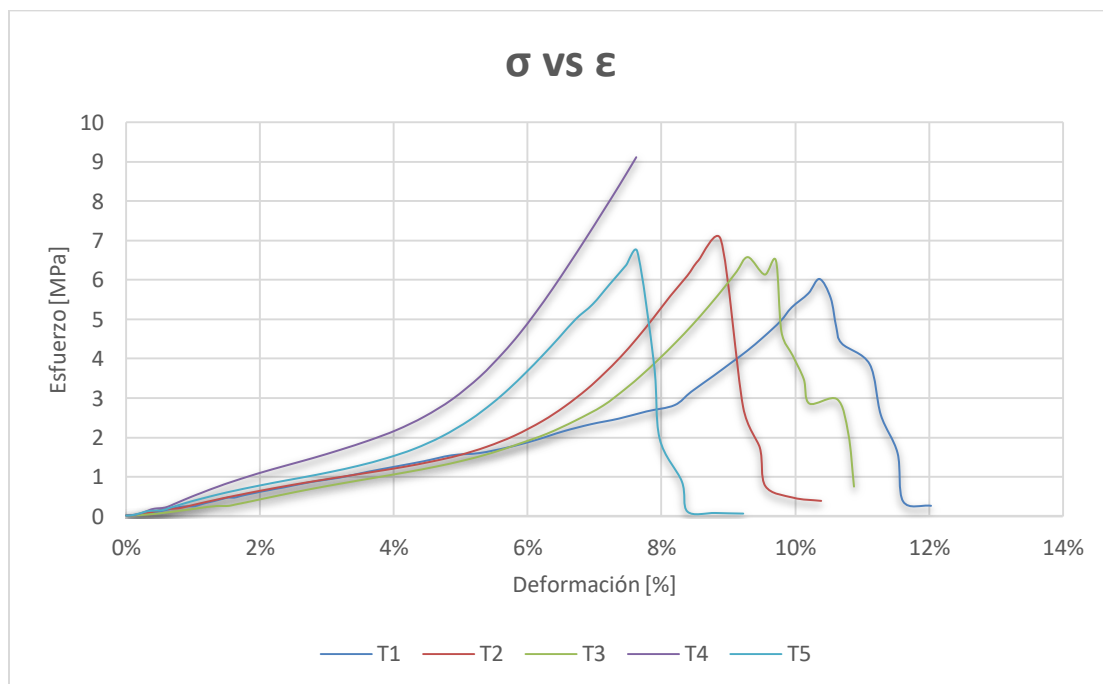


A 10. Gráfica Esfuerzo-Deformación transversal para material R

Material compuesto A-N

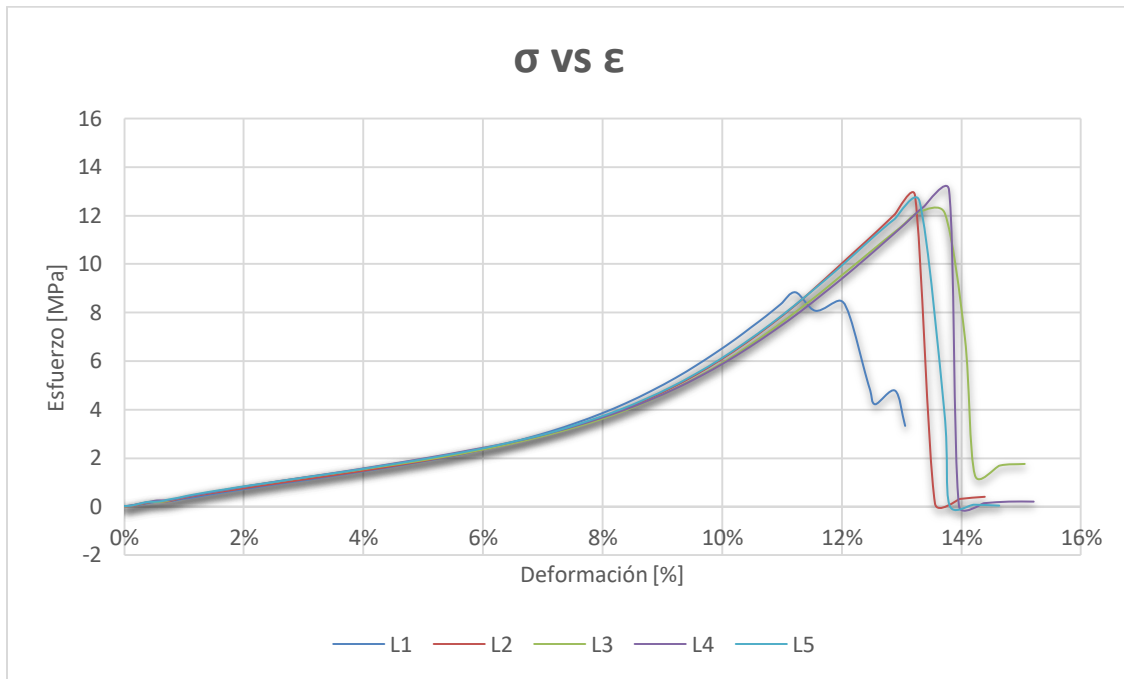


A 11. Gráfica Esfuerzo-Deformación longitudinal para material A-N

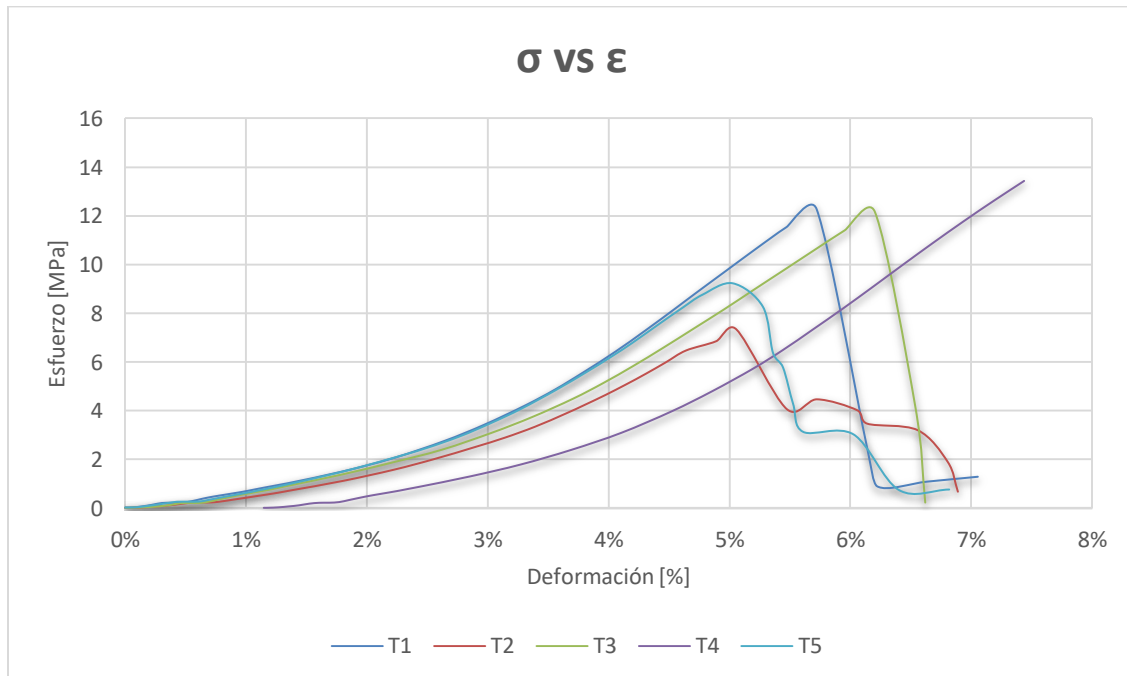


A 12. Gráfica Esfuerzo-Deformación transversal para material A-N

Material compuesto N-R

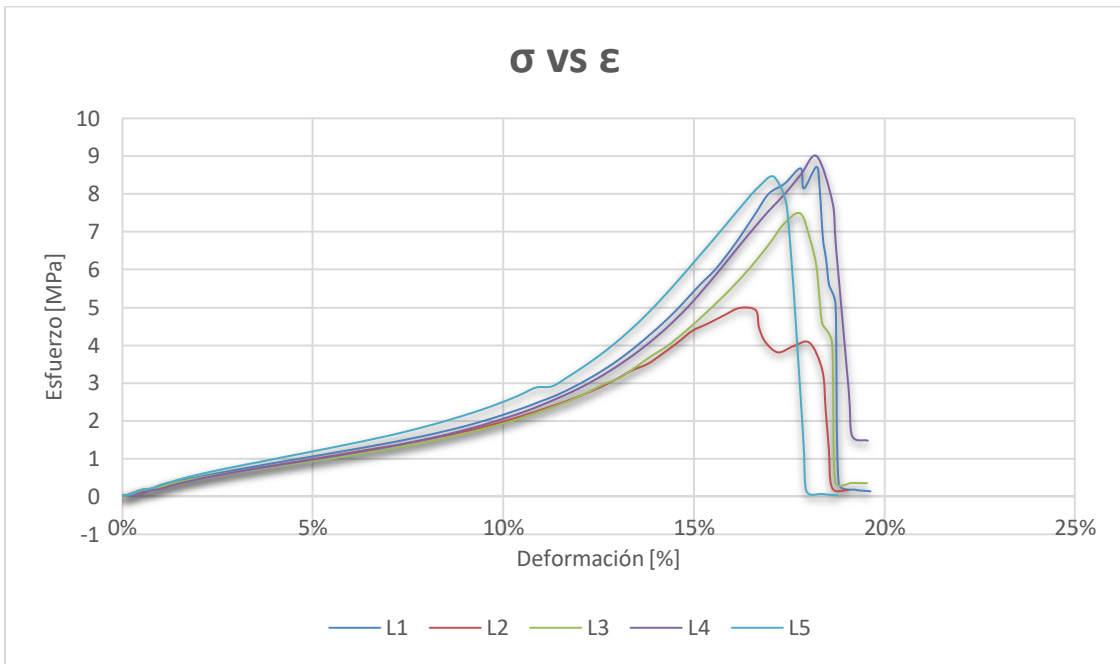


A 13. Gráfica Esfuerzo-Deformación longitudinal para material N-R

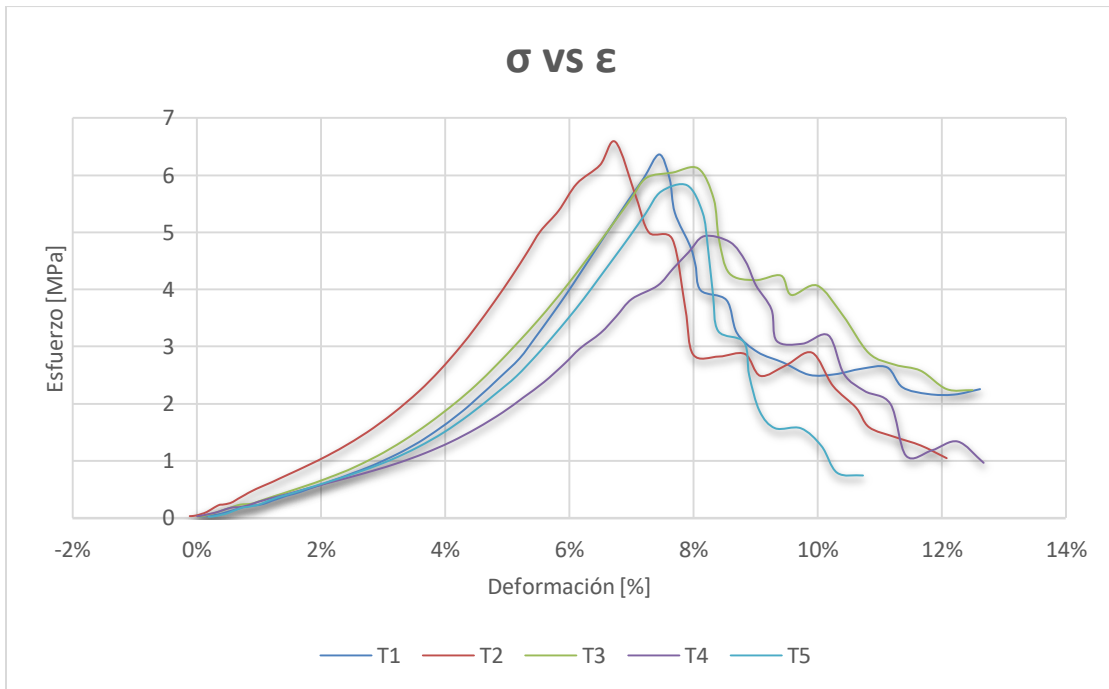


A 14. Gráfica Esfuerzo-Deformación transversal para material N-R

Material compuesto A-N-R



A 15. Gráfica Esfuerzo-Deformación longitudinal para material A-N-R



A 16. Gráfica Esfuerzo-Deformación transversal para material A-N-R

Elaboración de Materiales Compuestos

Resultados de BP3



A 17. Imágenes de propuestas para BP3

Composición másica

Resultados composición para material compuesto A

Yute "C" Virgen			
Probeta	Peso [g]	Probeta	Peso [g]
L1	4.86	T1	4.76
L2	4.8	T2	4.76
L3	4.58	T3	4.65
L4	4.75	T4	4.67
L5	4.97	T5	4.72
Promedio	4.792	Promedio	4.712
Promedio Yute Virgen			4.752
Capa de BP1			
Probeta	Peso [g]	Probeta	Peso [g]
L1	7.78	T1	7.63
L2	7.19	T2	7.13
L3	7.54	T3	7.86
L4	7.43	T4	8.13
L5	7.47	T5	8.05
Promedio	7.482	Promedio	7.76
Promedio de Capa			7.621

A 18. Tabla de resultados de composición másica para material compuesto A

Resultados composición para material compuesto A-N

Yute "C" Virgen			
Probeta	Peso [g]	Probeta	Peso [g]
L1	4.86	T1	4.76
L2	4.8	T2	4.76
L3	4.58	T3	4.65
L4	4.75	T4	4.67
L5	4.97	T5	4.72
Promedio	4.792	Promedio	4.712
Promedio Yute Virgen			4.752
Primera Capa (BP3)			
Probeta	Peso [g]	Probeta	Peso [g]
L1	8.58	T1	8.43
L2	7.99	T2	7.93
L3	8.34	T3	8.66
L4	8.23	T4	8.93
L5	8.27	T5	8.85
Promedio	8.282	Promedio	8.56
Promedio Primera Capa			8.421

Segunda Capa (BP3)			
Probeta	Peso [g]	Probeta	Peso [g]
L1	12.46	T1	10.72
L2	11.87	T2	11.12
L3	11.56	T3	11.18
L4	11.35	T4	11.59
L5	11.54	T5	11.3
Promedio	11.756	Promedio	11.182
Promedio Segunda Capa			11.469
Tercera Capa (BP3)			
Probeta	Peso [g]	Probeta	Peso [g]
L1	13.97	T1	13.74
L2	12.86	T2	13.96
L3	12.78	T3	14.33
L4	13.59	T4	14.53
L5	12.52	T5	14.16
Promedio	13.144	Promedio	14.144
Promedio Tercera Capa			13.644

A 19. Tabla de resultados de composición másica para material compuesto A-N

Resultados composición para material compuesto R

Yute "C" Virgen			
Probeta	Peso [g]	Probeta	Peso [g]
L1	4.86	T1	4.76
L2	4.8	T2	4.76
L3	4.58	T3	4.65
L4	4.75	T4	4.67
L5	4.97	T5	4.72
Promedio	4.792	Promedio	4.712
Promedio Yute Virgen			4.752
Capa de Resina			
Probeta	Peso [g]	Probeta	Peso [g]
L1	9.72	T1	7.63
L2	8.45	T2	7.13
L3	9.71	T3	7.86
L4	10.11	T4	8.13
L5	9.94	T5	8.05
Promedio	9.586	Promedio	7.76
Promedio Primera Capa			8.673

A 20. Tabla de resultados de composición másica para material compuesto R

Resultados composición para material compuesto N-R

Yute "C" Virgen			
Probeta	Peso [g]	Probeta	Peso [g]
L1	4.86	T1	4.76
L2	4.8	T2	4.76
L3	4.58	T3	4.65
L4	4.75	T4	4.67
L5	4.97	T5	4.72
Promedio	4.792	Promedio	4.712
Promedio Yute Virgen			4.752
Capa de Resina y nopal			
Probeta	Peso [g]	Probeta	Peso [g]
L1	10.52	T1	8.43
L2	9.25	T2	7.93
L3	10.51	T3	8.66
L4	10.91	T4	8.93
L5	10.74	T5	8.85
Promedio	10.386	Promedio	8.56
Promedio Primera Capa			9.473

A 21. Tabla de resultados de composición másica para material compuesto N-R

Resultados composición para material compuesto A-N-R

Yute "C" Virgen			
Probeta	Peso [g]	Probeta	Peso [g]
L1	4.86	T1	4.76
L2	4.8	T2	4.76
L3	4.58	T3	4.65
L4	4.75	T4	4.67
L5	4.97	T5	4.72
Promedio	4.792	Promedio	4.712
Promedio Yute Virgen			4.752
Primera Capa (BP3)			
Probeta	Peso [g]	Probeta	Peso [g]
L1	8.58	T1	8.43
L2	7.99	T2	7.93
L3	8.34	T3	8.66
L4	8.23	T4	8.93
L5	8.27	T5	8.85
Promedio	8.282	Promedio	8.56
Promedio Primera Capa			8.421
Segunda Capa (BP3)			
Probeta	Peso [g]	Probeta	Peso [g]
L1	12.46	T1	10.72
L2	11.87	T2	11.12
L3	11.56	T3	11.18
L4	11.35	T4	11.59
L5	11.54	T5	11.3
Promedio	11.756	Promedio	11.182
Promedio Segunda Capa			11.469
Tercera Capa (BP3)			
Probeta	Peso [g]	Probeta	Peso [g]
L1	13.97	T1	13.74
L2	12.86	T2	13.96
L3	12.78	T3	14.33
L4	13.59	T4	14.53
L5	12.52	T5	14.16
Promedio	13.144	Promedio	14.144
Promedio Tercera Capa			13.644
Sellado con resina estireno-acrítica			
Probeta	Peso [g]	Probeta	Peso [g]
L1	16.4	T1	17.25
L2	15.52	T2	17.02
L3	15.48	T3	17.1
L4	15.91	T4	17.33
L5	15.43	T5	16.97
Promedio	15.748	Promedio	17.134
Promedio Sellado			16.441

A 22. Tabla de resultados de composición másica para material compuesto A-N-R

Resultados de fotometría

Resultados promedio de iluminancia e intensidad lumínica

Material	Iluminancia (Apagado) [lx]	I. luminosa (Apagado) [cd]	Iluminancia (Encendido) [lx]	I. luminosa (Encendido) [cd]
Natural	0.1	0.02	2.65	0.56
A	0.2	0.04	2.42	0.51
A-N	0.1	0.02	1.9	0.40
R	0.1	0.02	2.4	0.51
N-R	0.14	0.02	2.6	0.54
A-N-R	0.1	0.02	2	0.42

A 23. Resultados promedio para fotometría de los distintos materiales

Resultados de iluminancia e intensidad lumínica para textil yute tipo "C" natural

Experimento	Iluminancia (Apagado) [lx]	I. luminosa (Apagado) [cd]	Iluminancia (Encendido) [lx]	I. luminosa (Encendido) [cd]
1	0.1	0.02116	2.7	0.57132
2	0.1	0.02116	2.7	0.57132
3	0.1	0.02116	2.7	0.57132
4	0.1	0.02116	2.6	0.55016
5	0.1	0.02116	2.6	0.55016
6	0.1	0.02116	2.7	0.57132
7	0.1	0.02116	2.6	0.55016
8	0.1	0.02116	2.6	0.55016
Promedio	0.1	0.02116	2.65	0.56074

A 24. Tabla de resultados de iluminancia e intensidad lumínica de yute tipo "C" natural

Resultados de iluminancia e intensidad lumínica para material compuesto A

Experimento	Iluminancia (Apagado) [lx]	I. luminosa (Apagado) [cd]	Iluminancia (Encendido) [lx]	I. luminosa (Encendido) [cd]
1	0.2	0.04232	2.5	0.529
2	0.2	0.04232	2.5	0.529
3	0.2	0.04232	2.4	0.50784
4	0.2	0.04232	2.4	0.50784
5	0.2	0.04232	2.3	0.48668
Promedio	0.2	0.04232	2.42	0.512072

A 25. Tabla de resultados de iluminancia e intensidad lumínica de material compuesto A

Resultados de iluminancia e intensidad lumínica para material compuesto A-N

Experimento	Iluminancia (Apagado) [lx]	I. luminosa (Apagado) [cd]	Iluminancia (Encendido) [lx]	I. luminosa (Encendido) [cd]
1	0.1	0.02116	1.9	0.40204
2	0.1	0.02116	1.9	0.40204
3	0.1	0.02116	1.9	0.40204
4	0.1	0.02116	1.9	0.40204
5	0.1	0.02116	1.9	0.40204
6	0.1	0.02116	1.9	0.40204
Promedio	0.1	0.02116	1.9	0.40204

A 26. Tabla de resultados de iluminancia e intensidad lumínica de material compuesto A-N

Resultados de iluminancia e intensidad lumínica para material compuesto R

Experimento	Iluminancia (Apagado) [lx]	I. luminosa (Apagado) [cd]	Iluminancia (Encendido) [lx]	I. luminosa (Encendido) [cd]
1	0.1	0.02116	2.4	0.50784
2	0.1	0.02116	2.4	0.50784
3	0.1	0.02116	2.4	0.50784
4	0.1	0.02116	2.4	0.50784
5	0.1	0.02116	2.4	0.50784
6	0.1	0.02116	2.4	0.50784
Promedio	0.1	0.02116	2.4	0.50784

A 27. Tabla de resultados de iluminancia e intensidad lumínica de material compuesto R

Resultados de iluminancia e intensidad lumínica para material compuesto N-R

Experimento	Iluminancia (Apagado) [lx]	I. luminosa (Apagado) [cd]	Iluminancia (Encendido) [lx]	I. luminosa (Encendido) [cd]
1	0.2	0.04232	2.6	0.55016
2	0.2	0.04232	2.5	0.529
3	0.1	0.02116	2.5	0.529
4	0.1	0.02116	2.6	0.55016
5	0.1	0.02116	2.6	0.55016
Promedio	0.14	0.0296	2.56	0.5416960

A 28. Tabla de resultados de iluminancia e intensidad lumínica de material compuesto N-R

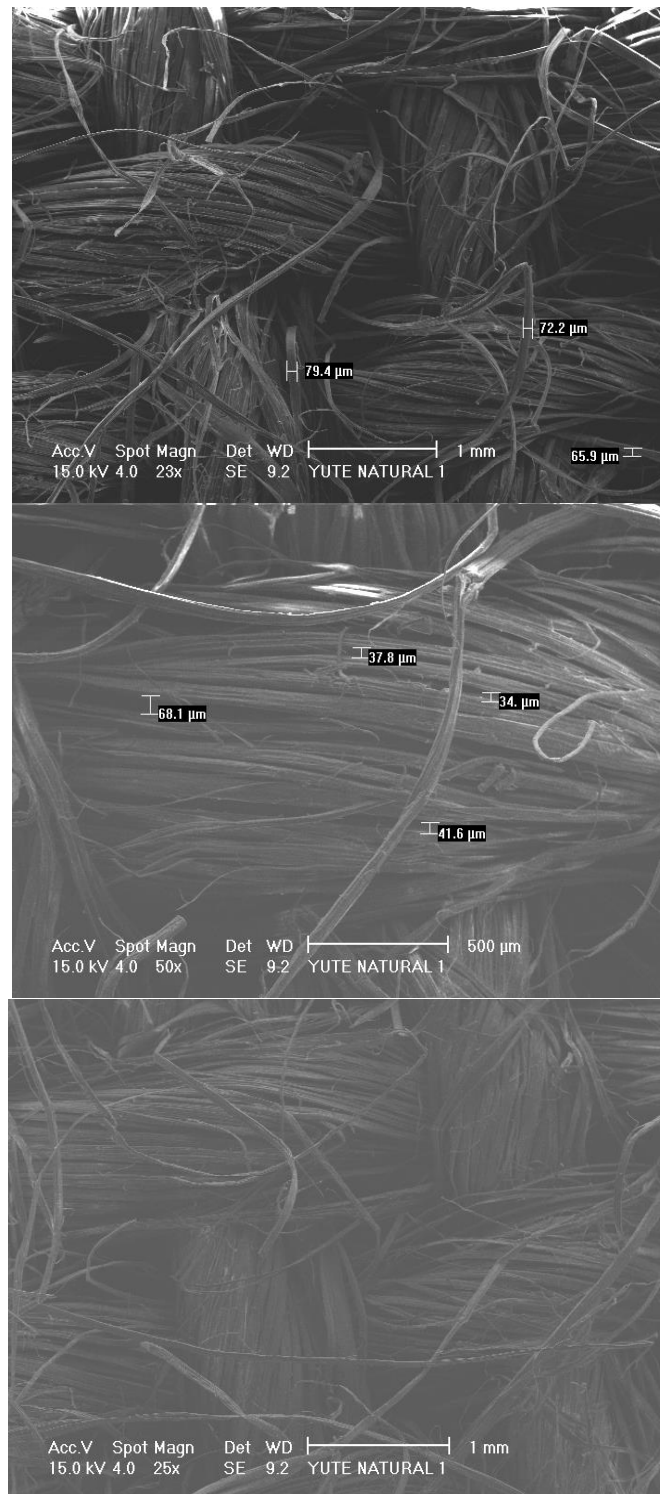
Resultados de iluminancia e intensidad lumínica para material compuesto A-N-R

Experimento	Iluminancia (Apagado) [lx]	I. luminosa (Apagado) [cd]	Iluminancia (Encendido) [lx]	I. luminosa (Encendido) [cd]
1	0.1	0.02116	2	0.4232
2	0.1	0.02116	2	0.4232
3	0.1	0.02116	2	0.4232
4	0.1	0.02116	2	0.4232
5	0.1	0.02116	2	0.4232
6	0.1	0.02116	2	0.4232
Promedio	0.1	0.02116	2	0.4232

A 29. Tabla de resultados de iluminancia e intensidad lumínica de material compuesto A-N-R

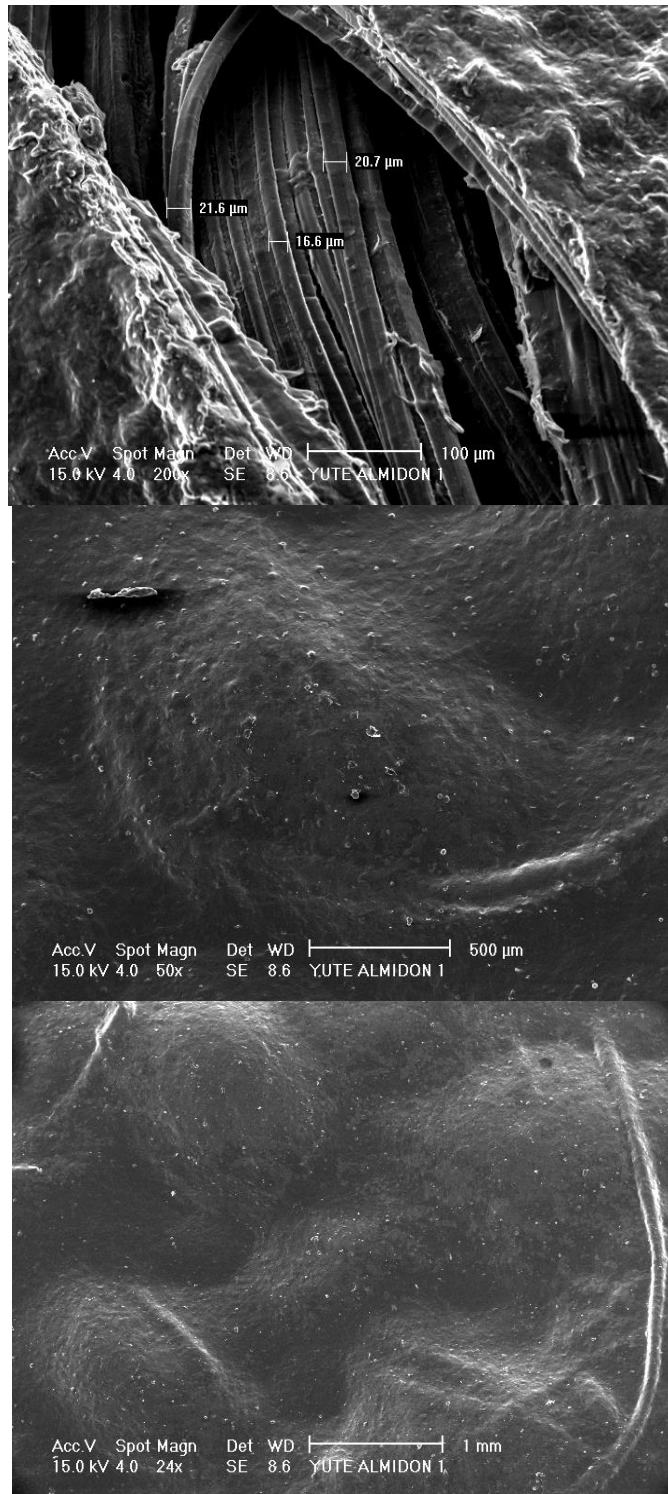
Imágenes microscópicas

Yute tipo "C"



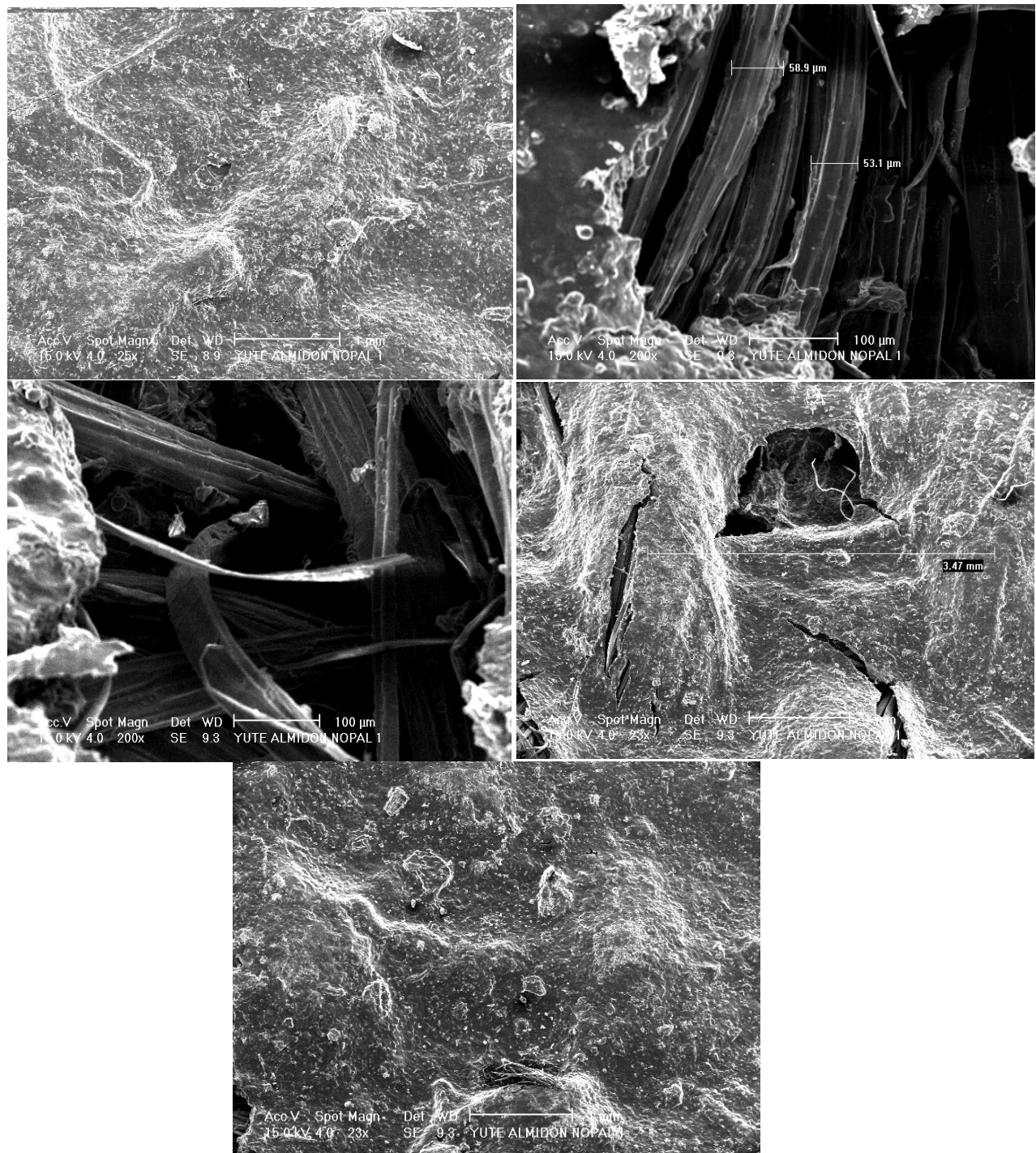
A 30. Imágenes microscópicas del Yute tipo C

Material Compuesto A



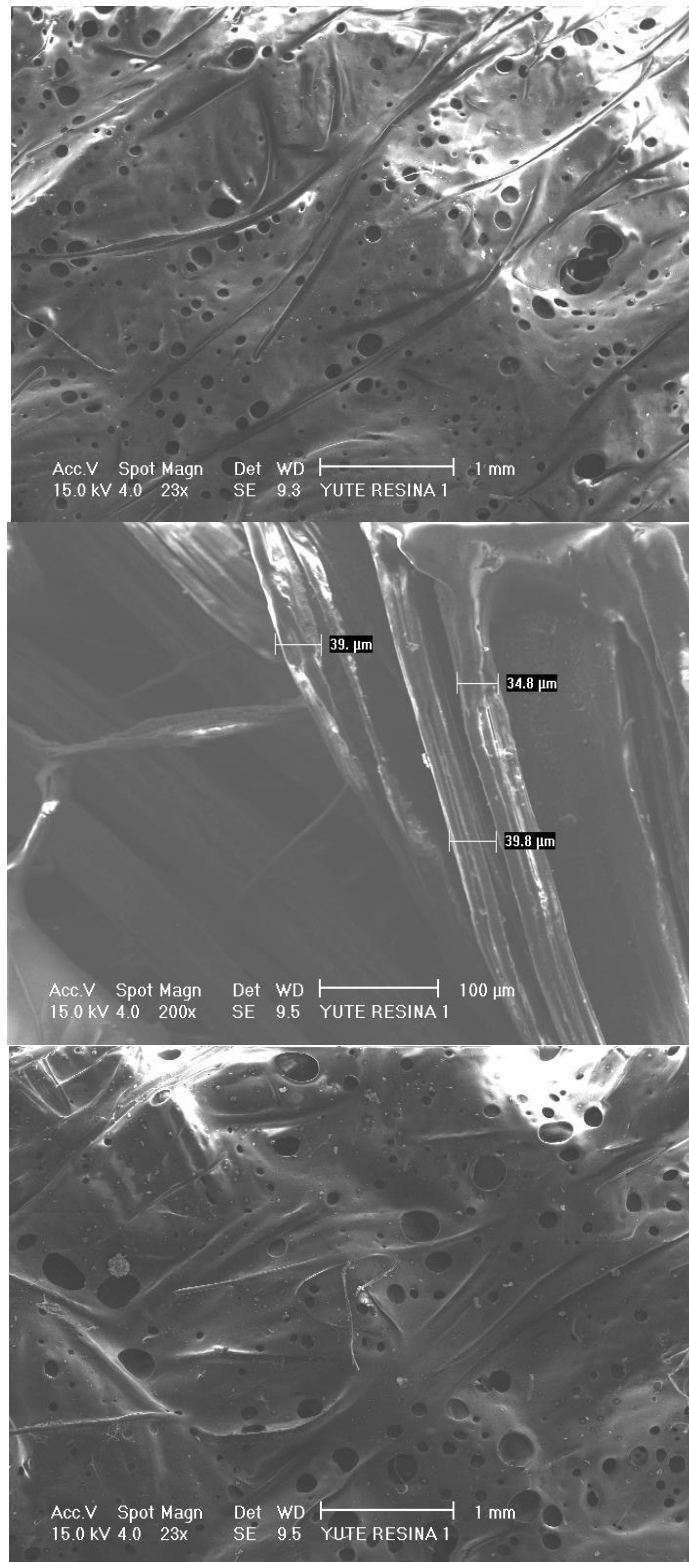
A 31. Imágenes microscópicas del material compuesto A

Material Compuesto A-N



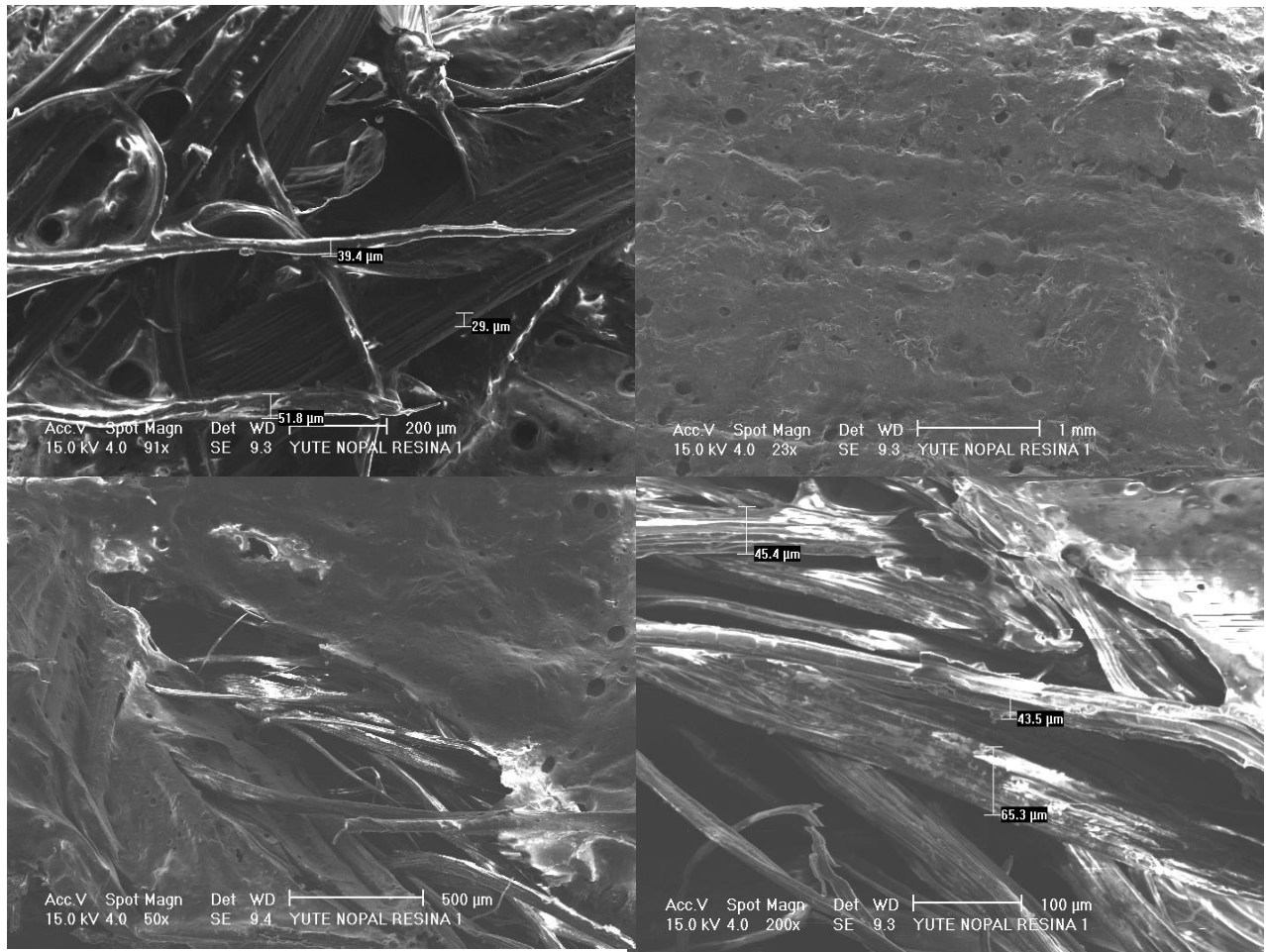
A 32. Imágenes microscópicas del material compuesto A-N

Material Compuesto R



A 33. Imágenes microscópicas del material compuesto R

Material Compuesto N-R



A 34. Imágenes microscópicas del material compuesto N-R

Imágenes estereoscópicas

Yute tipo "C"



A 35. Imagen estereoscópica del yute tipo "C"

Material Compuesto A



A 36. Imagen estereoscópica del material compuesto A

Material Compuesto A-N



A 37. Imagen estereoscópica del material compuesto A-N

Material Compuesto R



A 38. Imagen estereoscópica del material compuesto R

Material Compuesto N-R



A 39. Imagen estereoscópica del material compuesto N-R

Material Compuesto A-N-R



A 40. Imagen estereoscópica del material compuesto A-N-R

Índice de Figuras

Figura 1. Tenso-estructura de Günter Behnisch en Munich, Alemania.....	3
Figura 2. Vivienda de la antigüedad.....	4
Figura 3. Velario del Coliseo Romano	5
Figura 4. Mecánica del Velario del Coliseo Romano.....	5
Figura 5. Formas anticlásticas y sinclásticas.....	6
Figura 6. Ejemplos de geometrías alcanzables para la cubierta textil	6
Figura 7. Ejemplo de un sistema de soporte	8
Figura 8. Terminal Pasajeros Moll Vell Port de Mallorca (España).....	9
Figura 9. Cubierta hinchable Presostática CN Montjuic (España)	9
Figura 10. Cubierta Pistas Padel La Cartuja (España).....	10
Figura 11. MODUNAM, Cubierta Itinerante	10
Figura 12. Trajineras del Mandarín Oriental	11
Figura 13. Patio central universitario de teatro	11
Figura 14. Planta Corchorus Capsularis.....	13
Figura 15. Textil de Yute.....	14
Figura 16. Nopal.....	16
Figura 17. Elaboración de Bioplástico.....	23
Figura 18. Resistencia en porcentaje de diferentes mezclas de cilindro variando el tiempo	24
Figura 19. Gráfica de la resistencia a la tracción variando porcentaje en peso de microfibras.....	25
Figura 20. Ejemplo de corte para muestras textiles con método 1.....	26
Figura 21. Flujo Luminoso	27
Figura 22. Intensidad Luminosa.....	28
Figura 23. Iluminancia.....	28
Figura 24. Ecuación de la Intensidad Lumínica.....	29
Figura 25. Ejemplo de estereoscopio.....	29
Figura 26. Partes del Microscopio Electrónico de Barrido	30
Figura 27. Ejemplo de imagen tomada de un microscopio MEB.....	32
Figura 28. Máquina de ensayos universales INSTRON 4206.....	34
Figura 29. Balanza Ohaus utilizada para el pesaje de muestras.....	34
Figura 30. Parrilla calefactora eléctrica IKA modelo C-MAG HS7.....	34
Figura 31. Luxómetro	35
Figura 32. Estereoscopio Zeiss con cámara AxiocamERc 5s.....	35
Figura 33. Equipo del microscopio electrónico de barrido	36
Figura 34. Imagen de yute tipo "A"	37
Figura 35. Imagen de Textil tipo "B"	37
Figura 36. Imagen de Textil tipo "C"	38
Figura 37. Parrilla calefactora IKA C-MAG HS7 con agitación para incorporación de elementos.....	40
Figura 38. Disolución de CaO a temperatura de 18°C Durante 5 min	42
Figura 39. Disolución de CaO.....	43
Figura 40. Marcado de probetas sobre textil yute tipo "C"	45
Figura 41. Báscula Ohaus para obtener el peso de las probetas textiles tipo "C"	45

Figura 42. Forma correcta de utilización de rodillo para recubrimiento de BP3	46
Figura 43. Probetas recubiertas por bioplástico BP3.....	46
Figura 44. Probetas cubiertas con plástico BP3 con peso	46
Figura 45. Resina Estireno-Acrílica.....	47
Figura 46. Probeta sobre el plástico	48
Figura 47. Arreglo para experimento de fotometría	51
Figura 48. Biopolímero con fécula de maíz	53
Figura 49. Muestras de formulaciones preparadas variando el granulo de nopal.....	54
Figura 50. Gráfica de comportamiento de pH con respecto a la concentración de polvos de Nopal	54
Figura 51. Probetas de yute recubiertas con BP1.....	58
Figura 52. Gráfico de composición másica del material compuesto A	59
Figura 53. Gráfico de composición másica del material compuesto A-N	59
Figura 54. Gráfico de composición másica del material compuesto A-N-R	60
Figura 55. Gráfico de composición másica del material compuesto R	61
Figura 56. Gráfico de composición másica del material compuesto N-R	62
Figura 57. Gráfica Esfuerzo-Deformación longitudinal para textil "C"	64
Figura 58. Gráfica Esfuerzo-Deformación transversal para textil "C"	64
Figura 59. Gráfica comparativa de resultados para ensayos de tracción longitudinales	66
Figura 60. Gráfica comparativa de resultados para ensayos de tracción transversales.....	67
Figura 61. Resultados ópticos de iluminancia e intensidad lumínica	67

Índice de Tablas

Tabla 1. Porcentaje de humedad para distintas fibras usadas en textiles	14
Tabla 2. Análisis bromatológico de diferentes muestras de nopal.....	17
Tabla 3. Composición química del nopal	17
Tabla 4. Complemento, composición química del nopal	18
Tabla 5. Dosificación de las mezclas de concreto hidráulico	23
Tabla 6. Proporciones de fécula de maíz y nopal	41
Tabla 7. Cantidades de CaO para reformulación.....	43
Tabla 8. Resultados de plastificación a distintas concentraciones de polvo de nopal y fécula de maíz	54
Tabla 9. Tabla comparativa de muestras de propuesta para BP3	56
Tabla 10. Descripción muestras de propuesta para BP3	57
Tabla 11. Nomenclatura de las probetas para determinar el tipo de material de estudio	62
Tabla 12. Resultados promedio de los ensayos de tracción para distintos tipos de yute	63
Tabla 13. Resultados promedio de los ensayos de tracción para los materiales compuestos	65
Tabla 14. Resultados de Estereoscopía.....	69
Tabla 15. Resultados de Microscopía (SEM)	70

Índice de Anexos

A 1. Tabla de resultados para ensayo de tracción de los tipos de yute natural	73
A 2. Tabla de resultados para ensayo de tracción de los materiales compuestos	74
A 3. Gráfica Esfuerzo-Deformación longitudinal para textil "A"	75
A 4. Gráfica Esfuerzo-Deformación transversal para textil "A"	75
A 5. Gráfica Esfuerzo-Deformación longitudinal para textil "A"	76
A 6. Gráfica Esfuerzo-Deformación transversal para textil "A"	76
A 7. Gráfica Esfuerzo-Deformación longitudinal para material A	77
A 8. Gráfica Esfuerzo-Deformación transversal para material A	77
A 9. Gráfica Esfuerzo-Deformación longitudinal para material R	78
A 10. Gráfica Esfuerzo-Deformación transversal para material R	78
A 11. Gráfica Esfuerzo-Deformación longitudinal para material A-N	79
A 12. Gráfica Esfuerzo-Deformación transversal para material A-N	79
A 13. Gráfica Esfuerzo-Deformación longitudinal para material N-R	80
A 14. Gráfica Esfuerzo-Deformación transversal para material N-R	80
A 15. Gráfica Esfuerzo-Deformación longitudinal para material A-N-R	81
A 16. Gráfica Esfuerzo-Deformación transversal para material A-N-R	81
A 17. Imágenes de propuestas para BP3	82
A 18. Tabla de resultados de composición másica para material compuesto A	83
A 19. Tabla de resultados de composición másica para material compuesto A-N	84
A 20. Tabla de resultados de composición másica para material compuesto R	84
A 21. Tabla de resultados de composición másica para material compuesto N-R	85
A 22. Tabla de resultados de composición másica para material compuesto A-N-R	86
A 23. Resultados promedio para fotometría de los distintos materiales	87
A 24. Tabla de resultados de iluminancia e intensidad lumínica de yute tipo "C" natural	87
A 25. Tabla de resultados de iluminancia e intensidad lumínica de material compuesto A	87
A 26. Tabla de resultados de iluminancia e intensidad lumínica de material compuesto A-N	88
A 27. Tabla de resultados de iluminancia e intensidad lumínica de material compuesto R	88
A 28. Tabla de resultados de iluminancia e intensidad lumínica de material compuesto N-R	88
A 29. Tabla de resultados de iluminancia e intensidad lumínica de material compuesto A-N-R	89
A 30. Imágenes microscópicas del Yute tipo C	90
A 31. Imágenes microscópicas del material compuesto A	91
A 32. Imágenes microscópicas del material compuesto A-N	92
A 33. Imágenes microscópicas del material compuesto R	93
A 34. Imágenes microscópicas del material compuesto N-R	94
A 35. Imagen estereoscópica del yute tipo "C"	95
A 36. Imagen estereoscópica del material compuesto A	95
A 37. Imagen estereoscópica del material compuesto A-N	96
A 38. Imagen estereoscópica del material compuesto R	96
A 39. Imagen estereoscópica del material compuesto N-R	97
A 40. Imagen estereoscópica del material compuesto A-N-R	97

Referencias

- Arauz, J. C. (s.f.). Efectos biofuncionales del Nopal y la Tuna. *Horticultura*, 1-9.
- Areatecnología. (2018). *Areatecnología*. Obtenido de <http://www.areatecnologia.com/materiales/ensayo-de-traccion.html>
- Arquigrafiko. (17 de Febrero de 2018). *Arquigrafico*. Obtenido de Arquigrafico; arquitectura, ingeniería y decoración: <https://www.arquigrafico.com/las-tenso-estructuras-o-arquitectura-textil/>
- Askeland, D. R. (2004). *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. Thomson.
- Bioenciclopedia. (21 de Abril de 2018). *Bioenciclopedia*. Obtenido de <http://www.bioenciclopedia.com/nopal/>
- Bioplástico. (2013). El plástico de nopal (una alternativa sustentable). *XXI Concurso universitario feria de las ciencias, la tecnología y la innovación*, 2-17.
- Calvo, M. (23 de Marzo de 2018). *Bioquímica de los alimentos*. Obtenido de <http://milksci.unizar.es/bioquimica/temas/azucares/pectinas.html>
- Castellanos, W. R. (2014). Estudio del procesamiento de almidones en moldeo por extrusión-soplo. *Memorias del XX Congreso Internacional Anual de la SOMIM*, 875-880.
- Castro, F. (12 de Septiembre de 2018). *Proyecto IDIS*. Obtenido de <http://proyectoidis.org/estereoscopia/>
- Clasificación De. (12 de Mayo de 2018). Obtenido de <https://www.clasificacionde.org/clasificacion-de-los-polimeros/>
- Definicion de. (15 de Julio de 2018). *Definición.De*. Obtenido de <https://definicion.de/plastico/>
- Deyute. (29 de Mayo de 2018). *Deyute*. Obtenido de <https://www.deyute.com/>
- EcuRed. (18 de Octubre de 2018). *EcuRed conocimiento y con todos y para todos*. Obtenido de <https://www.ecured.cu/Estereoscopio>
- Educativo, P. (2 de Junio de 2018). *Portal Educativo*. Obtenido de <https://www.portaleducativo.net/cuarto-medio/9/clasificacion-de-los-polimeros>
- Empresas Castilla. (24 de Junio de 2018). *Mercantil Castilla*. Obtenido de http://www.empresascastilla.com/decoracion_arpillera_caracteristicas.htm
- Escobet, D. V. (s.f.). Estudio comparativo de la resistencia a la tracción, por urdimbre y por trama, de los principales tipos de tejidos. *UPC*, 3-15.
- Escuela de Ingenierías Industriales. (22 de Junio de 2018). *Escuela de Ingenierías Industriales*. Obtenido de <http://www.eis.uva.es/~biopolimeros/alberto/pla.htm>

- Ezael Pedroza, D. S. (2015). Tenso-estructuras de cubierta. *Cultura Científica y Tecnológica*, 69-78.
- FAO. (29 de Mayo de 2018). *Fibras Naturales*. Obtenido de <http://www.naturalfibras2009.org/es/fibras/yute.html>
- FAO. (3 de junio de 2018). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Obtenido de <http://www.fao.org/traditional-crops/cactuspear/es/>
- Gadgets&Cuina. (12 de Diciembre de 2018). *Blog de gadgets cuina*. Obtenido de <http://blog.gadgetsuina.com/es/blogs/qu-es-la-pectina-y-su-uso-en-mermeladas/>
- Gonzalez, J. R. (18 de Octubre de 2018). *Hipertextos del Área de la Biología*. Obtenido de <http://www.biologia.edu.ar/microscopia/meb.htm>
- Hecht, E. (2017). *Óptica*. Madrid: Pearson.
- Leon, S. C. (18 de Agosto de 2018). *Poliester*. Obtenido de <http://poliester2tm2equipo.blogspot.com/?view=classic>
- Luis Edgar Moreno M, E. E. (2007). Estudio de las características físicas de haces de fibra de Guadua Angustifolia. *Scientia et Technica Año XIII No 34*, 613-617.
- Malajovich, D. M. (2 de Diciembre de 2017). *BioTecnología Enseñanza y divulgación*. Obtenido de https://bteduc.com/es_guias.html
- Martha Gual-Díaz, N. D.-P. (2008). Nuevo registro de Corchorus. *Nota Botánica*, 90-92.
- Mohamed E. Malainine, M. M. (2005). Thermoplastic nanocomposites based on cellulose microfibrils from. *Elsevier Ltd.*, 1-7.
- Montes, J. N. (2005). Aprovechamiento total del nopal en cemento Pórtland.
- Montserrat, C. M. (18 de Octubre de 2018). *Grup d'Estudis Luminotècnics*. Obtenido de <https://grlum.dpe.upc.edu/manual/>
- Mundo Textil. (17 de Agosto de 2018). *Mundo Textil Argentina*. Obtenido de <https://mundotextilmag.com.ar/fibras-naturales-canamo/>
- OXICAL. (2017). *OXICAL La cal de alta pureza en la conservación*. Teocali y Restauracal.
- RapidTables.com. (18 de Octubre de 2018). *RapidTables.com*. Obtenido de <https://www.rapidtables.com/calc/light/lux-to-candela-calculator.html>
- Real Academia Española. (5 de Mayo de 2018). *Real Academia Española*. Obtenido de <http://dle.rae.es/?id=EEC9JvR>
- Salinas, J. G. (2014). Sobre el origen, diseño y construcción de velarias en México. *Tecnología: una contribución sistémica de acción, reflexión y análisis*, 213-223.

Significados. (12 de Julio de 2018). *Significados*. Obtenido de <https://www.significados.com/sustentabilidad/>

Sin, L. T. (2013). *Polylactic Acid, PLA biopolymer technology and applications*. Elsevier.

SL, C. D. (30 de Junio de 2018). *Ecologismos*. Obtenido de <https://ecologismos.com/que-es-el-bioplastico/>

Tejedor, A. S. (21 de Febrero de 2018). *Química Orgánica Industrial*. Obtenido de <https://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-03.php>

Todo en polímeros. (22 de Junio de 2018). *Todo en Polímeros*. Obtenido de <https://todoenpolimeros.com/2016/11/28/polimeros-de-condensacion/>

UMICH. (23 de Junio de 2018). *Sabermas*. Obtenido de <https://sabermas.umich.mx/archivo/tecnologia/141-numero-1856/285-bioplasticos-productos-biodegradables.html>

Universitat Politècnica de València. (20 de Septiembre de 2018). *Servicio de Microscopía Electrónica*. Obtenido de <http://www.upv.es/entidades/SME/info/753120normalc.html>

Vivir sin plástico. (12 de Diciembre de 2018). *Plásticos biodegradables*. Obtenido de <https://vivirsinplastico.com/plasticos-biodegradables/>

Yao, D. (18 de Agosto de 2018). *Tipos de Telas - Industria Textil*. Obtenido de <http://tiposdetelas-es.blogspot.com/2016/05/caracteristicas-de-las-telas-de-nylon.html>