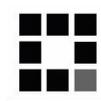




FACULTAD
DEL HÁBITAT



INSTITUTO DE
INVESTIGACIÓN
Y POSGRADO



CONACYT
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DEL HÁBITAT
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

Tema:

**Aprovechamiento de residuos de la industria textil
manufacturera para el desarrollo de un material
biocompuesto**

Tesis

Que para obtener el grado de

**Maestra en Ciencias del Hábitat
en Gestión y Diseño del Producto**

Presenta

LDI Karla Pamela Muñoz Arroyo

Directora de Tesis:

Dra. Claudia Ramírez Martínez

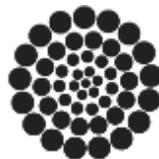
Sinodales:

M.P.S María de Jesús de la Mora Martínez

M.C.H. Graciela Cano Celestino

San Luis Potosí, S.L.P. Noviembre de 2018

Aprovechamiento de residuos de la industria textil manufacturera para el desarrollo de un material biocompuesto



CONACYT

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

Para la realización de esta tesis se contó con el apoyo CONACYT No.450735

Agradecimientos

*Agradezco a mi **familia** por su apoyo, comprensión y paciencia, por no dejarme rendir y alentarme a lograr mis metas, en especial a mis **padres** quienes son mi motor y ejemplo a seguir en todos mis proyectos de vida. Gracias por permitirme cumplir todos mis sueños.*

*A mis **amigos** de la maestría por su sincera amistad y por todos esos buenos momentos que pasamos juntos para la culminación de esta meta. Gracias por convertirse en mi familia potosina.*

*A la **Universidad Autónoma de Aguascalientes** por el préstamo de sus instalaciones para la realización de la etapa de experimentación que permitió finalizar esta tesis, en especial a los técnicos de los laboratorios de bioquímica y de geotecnia e hidráulica por sus atenciones y orientación durante todo el proceso.*

*Por último, pero no menos importante a mis **profesores** y **asesores** de la **Universidad Autónoma de San Luís Potosí** por sus enseñanzas y consejos que quedarán marcados en mi memoria.*

A todos con mucho cariño...

“La nueva generación de materiales se está abriendo paso, algunos de ellos son capaces de anticipar y responder a los cambios que se producen en el medio ambiente” (Beylerian, Dent, & Quinn, 2008)

Resumen

Los materiales evolucionan en todo momento, son mejorados para adquirir mayor resistencia o durabilidad; pero muchas veces cuando se realizan estas modificaciones existen grandes repercusiones en el medio ambiente. La intención de esta investigación es el desarrollar un nuevo material biocompuesto a base de residuos textiles y aglutinantes naturales que ayuden a disminuir el impacto ambiental negativo. Tomando en cuenta metodologías como de la cuna a la cuna de Michael Braungart y William McDonough

Se parte desde la selección de los elementos que conformaran el material compuesto hasta las pruebas finales hechas al nuevo material en un laboratorio especializado para finalmente hacer una comparación con uno de los tableros laminados más utilizado en la industria del mueble.

Palabras clave: Mezclilla, material biocompuesto, aglutinante natural, reciclaje de textiles.

Abstract

The materials evolve all the time, we improve them to obtain more resistance or durability; but most of the time when we make those improvements there are serious repercussions in our environment. The intention of this research is to develop a new biocomposite material based on textile waste and natural binders that help reduce the negative environmental impact. Based on methodologies such as cradle to cradle of Michael Braungart and William McDonough

Beginning from the selection of the elements that will be part of the composite until the final tests made to the new material in a specialized laboratory to finally make a comparison with one of the most used laminated boards in the furniture industry.

Key words: denim, biocomposite, natural binder, textile recycling.

Índice

Antecedentes ambientales.....	11
Pregunta de investigación.....	13
Objetivo.....	13
Objetivos específicos	13
Hipótesis.....	13
Metodología.....	14
CAPÍTULO I ANTECEDENTES	15
1.1 Materiales Compuestos	16
1.1.1 Definición	16
1.1.2 Elementos que los conforman	17
1.1.2.1 Fase reforzadora	18
Materiales compuestos reforzados con partículas.....	18
Materiales compuestos reforzados con fibras.....	19
Materiales compuestos Estructurales.....	25
1.1.2.2 Fase Matriz	26
Materiales compuestos más conocidos	27
1.2 Biocompuestos	30
1.2.1 Definición de biocompuesto	30
1.2.1.1 Ejemplos de materiales biocompuestos	30
1.3 Conclusión capitular	32
CAPÍTULO II CRADLE TO CRADLE	33
2.1.1 Definición	35
2.2 Conclusión capitular	38
CAPÍTULO III NUEVO BIOCOPUESTO	40
3.1.1.1 Fibras naturales	41
3.1.1.2 Algodón	45
3.1.2.1 Ligamento simple o liso.....	50
3.1.2.2 Ligamento tafetán	50
3.1.2.3 Ligamento de sarga	51
3.1.2.4 Ligamento satén o raso	51
3.1.3 Tejidos compuestos por algodón.....	52
3.1.3 Merma de la industria textil manufacturera	55
3.1.4 Otros datos sobre la Mezclilla.....	56
3.1.4.1 Tipos de Mezclilla.....	56
3.2 Fase Matriz.....	58

3.2.1 Aglutinantes sintéticos	58
3.2.2 Aglutinantes Naturales.....	59
3.2.2.1 Glúcidos	60
3.2.2.2 Lípidos	60
3.2.2.3 Almidones	63
3.2.2.4 Almidón de Maíz	65
3.2.2.5 Almidón de Trigo.....	66
3.2.2.6 Almidón de Papa.....	67
3.2.2.7 Lignina	67
3.3 Conclusión capitular	69
CAPÍTULO IV MÉTODO DE EXPERIMENTACIÓN	72
4.1.1 Fase 1	76
4.1.1.1 Proceso para obtener la densidad	76
4.1.1.2 Proceso para obtener la viscosidad.....	78
4.1.1.3 Proceso para obtener el pH	79
4.1.2 Fase 2.....	80
4.1.3 Fase 3.....	81
4.1.4 Fase 4.....	82
4.1.5 Fase 5.....	82
4.1.6 Fase 6.....	83
CAPÍTULO V ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	85
5.1 Fase 1.....	85
5.1.1 Densidad.....	85
5.1.2 Viscosidad.....	87
5.1.3 pH	89
5.1.4 Conclusiones de la fase 1.....	90
5.2 Fase 2.....	91
5.3 Fase 3.....	91
5.1.5 Conclusiones de la fase 3.....	95
Conclusiones generales	96
Avances positivos	99
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	103

Introducción

El ser humano, desde sus inicios ha diseñado y construido un sin número de elementos para diversos fines, como conseguir alimento, refugio, vestimenta, etc. para tal fin ha tenido que usar las materias primas que se encuentra a la mano, dependiendo del entorno y del contexto en donde se encuentre el individuo. Con las materias primas, ha generado diversos materiales y estos a su vez han ido evolucionando y se han mejorado sus características para producción y uso de los mismos, mejoras que han ido de la mano del avance tecnológico.

Uno de los materiales más antiguos de los que se tiene registro, para la construcción de objetos, es la madera. Nuestros antepasados la utilizaban para crear flechas, refugios, utensilios para diversos usos, barcos, entre otros. En la actualidad este material sigue utilizándose, si bien, antiguamente se tenía la creencia que esta materia prima, la madera no se terminaría, sin embargo, aunque es un recurso renovable su obtención deriva de un proceso muy largo de espera contra un consumo de materia prima muy rápido. Luego entonces, la teoría de que este recurso natural es inagotable resulta en una contradicción; existen datos alarmantes que refuerzan esta teoría, se estima que en los próximos años existirá una reducción de la extensión de bosques, siendo que en el estudio realizado en el 2005 la extensión total de bosques era de 924 millones de hectáreas y se estima que para el 2020 dicha extensión será de 881 millones, es decir se perderán 43 millones de hectáreas. (FAO, 2005 p.xx), situación que evidentemente lleva a serios problemas ambientales por todos conocidos es por esto que se ha buscado sustituir el uso de la madera por otros materiales.

Desde hace algunos años comenzaron a fabricarse materiales derivados de la madera, de acuerdo con L. García Esteban y otros autores, (Hernández Manzano, 2013 p.71) estos materiales (tableros) surgen debido a que las dimensiones de la madera son muy limitadas, es decir, con una tabla no se puede abarcar mucho espacio, en cambio, las dimensiones de los tableros permitían abarcar más espacios con menos piezas, además, al crearse con piezas pequeñas de madera (virutas) ofrecían características estructurales muy similares a las de madera sólida,

no se sabe exactamente cuando surgen, la primera referencia bibliográfica data de 1887, siendo su autor Erns Hubaart, quien hablaba sobre la utilización de los residuos de la madera, sin embargo, fue en 1936 cuando Pfhol, una empresa maderera comienza a fabricar tableros de partículas aglomeradas mediante adhesivos sintéticos por medio de prensas de platos calientes.

Dentro de los tableros derivados de la madera podemos encontrar el OSB (Oriented Strand Board) o tablero de virutas orientadas, el triplay, que es un tablero conformado por 3 o más láminas de madera pegadas entre sí formando un “sándwich” el grosor y la resistencia del material depende de la cantidad de láminas que lo conforman; otro tipo de tablero es el aglomerado, cuya conformación es por medio partículas de madera compactadas y unidas por un aglutinante, este material puede encontrarse de dos formas, una es en su estado natural y otra es con una cubierta (melamina); por último, tenemos los tableros de densidad media y alta (MDF y HDF), estos tableros están conformados por partículas pulverizadas de madera y la diferencia entre estos es el grado de compactación de los mismos, el HDF (High Density Fiberboard) es un tablero más compacto, contiene mayor concentración de partículas lo que hace que sea más pesado, el MDF (Medium Density Fiberboard) es menos compacto, por lo tanto más ligero, pero más poroso).

La elección del material depende del uso que se le quiera dar, el OSB es muy utilizado en la industria de la construcción; el triplay es usado en la construcción y en la manufactura de mobiliario, los aglomerados (en su mayoría los enchapados con melamina) y el MDF son utilizados en la manufactura de mobiliario, siendo este último el más buscado por los productores debido a su versatilidad y resistencia, si bien los aglomerados pueden igualar estas características, uno de sus inconvenientes es su limitada gama de colores, el MDF a diferencia puede pintarse del color que se desee; en cuanto a durabilidad depende del acabado que se les aplique, el tablero de aglomerado con chapa de melamina es muy resistente a la humedad, siempre y cuando la humedad no penetre los cantos, y que estos no tienen cubierta de melamina; el MDF en cambio, necesita de un recubrimiento a

base de resinas para adquirir las mismas características, de esta manera ambos pueden durar mucho tiempo.

Como se mencionó anteriormente, en un principio estos tableros se creaban a base de desperdicios de la madera, conforme fue aumentando la demanda, el desperdicio de los aserraderos ya no era suficiente para su producción, fue entonces cuando las fabricas productoras de tableros comenzaron a usar árboles como materia prima.

Las pérdidas de extensión de bosques antes mencionadas corresponden a la producción total de productos de madera, la producción de tableros de partículas participó con un 27.6%, mientras que el MDF representó un 20.4% (FAO, 2005 p.xx). De acuerdo con el último informe de la FAO (diciembre de 2014), en el 2013, la producción mundial de tableros de madera alcanzó 358 millones de m³; lo que representa un aumento de 7,8% frente al año anterior (332 millones de m³) y de 35% entre el período de 2009 y 2013. De hecho, en el 2013, este segmento creció 3% más que la madera aserrada y es la única categoría de productos que no se ha contraído desde el 2008, manteniendo un crecimiento sostenido (Marín, 2015),

Ante el impulso de preservar los espacios naturales y cuidar los recursos que derivan de los mismos, surge una interrogante, ¿Se puede generar alguna alternativa que ayude a reducir el consumo de estos recursos maderables?

Existen diversos materiales creados a partir de la mezcla de otros elementos, a estos materiales se les conoce como compuestos, un compuesto puede definirse como una mezcla heterogénea de dos o más fases homogéneas que han sido unidas (Kelly, s. f.), algunos de los materiales compuestos más conocidos son los plásticos reforzados con fibras de vidrio, las llantas de los autos en los que el caucho se ha reforzado con fibras de acero, tableros de maderas, entre otros.

Los materiales son más fuertes en forma de fibras, pero para que se pueda aprovechar la fuerza de dichas fibras deben estar unidas de alguna forma (Kelly, 1994 p.xxiv), por ejemplo la fibra de vidrio es un material muy fuerte sin embargo se debe de unir con una resina para que sus propiedades puedan ser aprovechadas

en su totalidad, otro ejemplo es el del cemento reforzado con fibras, el cemento al endurecerse adquiere una alta resistencia a la ruptura, sin embargo al mezclarlo con fibras esta propiedad aumenta considerablemente, cuando se tiene un material quebradizo y se genera una grieta, esta puede llegar a fracturar la pieza por completo, sin embargo, cuando dicho material se mezcla con fibras se deben de generar varias grietas para que la pieza logre fracturarse por completo figura. 0.1

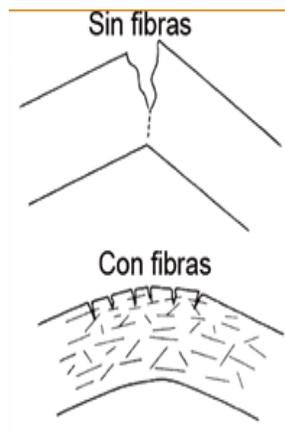


Figura 0.1 Demostración de cómo se previenen las fracturas mediante la mezcla de fibras en material quebradizo (Kelly, 1994)

Podemos encontrar una gran variedad de fibras, estas se clasifican como naturales y sintéticas, las naturales como lo dice su nombre son las que encontramos en la naturaleza, provienen de semillas, frutos, líber, maderas, hojas, tallos y cañas, cada una de estas fibras poseen distintas propiedades físicas y químicas. Estas fibras pueden ser utilizadas para crear nuevos materiales, y las características del nuevo material dependerán de las características físico-mecánicas de los componentes que lo conformarán.

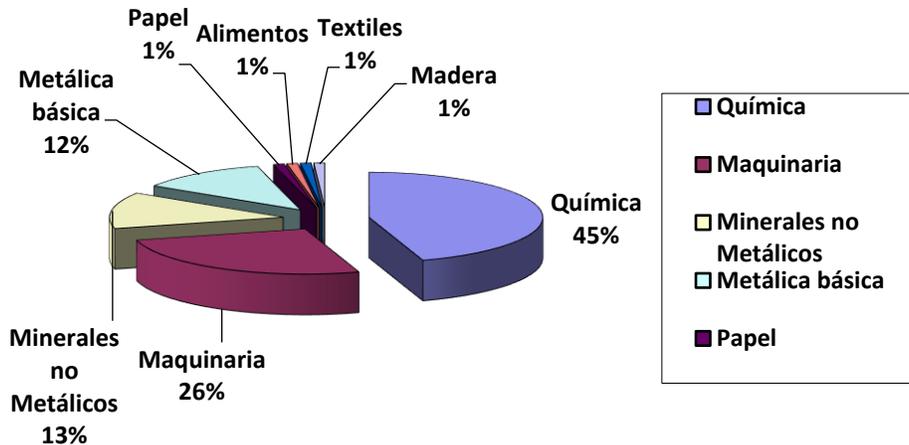
Todo lo mencionado anteriormente es y ha sido trabajo resultado de prácticas y teorías en aras de tener mejores materiales y por ende resultando en mejores productos. Así mismo, se han desarrollado mejores técnicas de producción y desarrollo de productos en donde se ha procurado el menor impacto ambiental negativo, así como una mejor calidad y duración de los productos mismos, entre

muchas de estas técnicas o procedimientos podemos mencionar el Green design, producción más limpia, el cradle to cradle, entre otros. Destacando para los fines de esta investigación la metodología para el ciclo de vida del producto Cradle to Cradle (de la cuna a la cuna), que básicamente consiste en la proyección del producto desde sus primeras fases de producción hasta que este fenece y puedan ser aprovechados los materiales con los que fue creado el producto para generar unos nuevos y así reducir el impacto ambiental negativo que la obtención de toda materia prima conlleva.

En apoyo a estas tendencias de minimizar la obtención de nuevas materias primas se están realizando esfuerzos en donde de forma experimental se buscan materiales o desechos de materiales que de algún modo provean o hereden características propias de los materiales derivados de la madera como es el caso del aprovechamiento de residuos de la industria textil manufacturera para el desarrollo de un material biocompuesto. Lo que significa que, a partir de residuos de mezclilla conformada por fibras de algodón, equiparables en características físicas a las fibras de la madera y con la necesidad en ambos casos de un aglutinante, tienen la posibilidad de derivar en un material de condiciones similares en cuanto a consistencia, conformación y susceptible de maquinados similares, pero con un impacto ambiental negativo mucho menor en el caso del derivado de la mezclilla.

Antecedentes ambientales

En México se generan 8 millones de toneladas de residuos sólidos en la industria manufacturera al año, de los cuales el 1% corresponde a textiles (Gráfica. 1), Se considera que únicamente el 12% recibe un manejo adecuado, es decir, se reciclan o desechan de acuerdo a la normativa establecida por el gobierno y el resto se acumula en las industrias o se desechan en sitios no adecuados para este fin, la mayoría de las veces en tiraderos clandestinos. (INE, 2000)



Gráfica 1 Generación de residuos sólidos en la industria manufacturera. (INE, 2000)

Hablando en específico de los residuos textiles que reciben un tratamiento de reciclado, éste puede ser de tres tipos, fibras a partir de residuos textiles, redistribución en su estado natural y ecofashion o moda ecológica (Rios, 2015) y se clasifican de la siguiente manera:

- a) Fibras a partir de residuos textiles: Transformación por medio de trituración o deshilachado del desperdicio textil proveniente de recortes o errores de los procesos productivos.
- b) Redistribución en su estado natural: Comprende la venta o donación de prendas de vestir, que sin ningún tratamiento puedan seguir cumpliendo su función.
- c) Ecofashion o moda ecológica: Se busca la creación de nuevos textiles o prendas de vestir a partir de residuos textiles comúnmente conocidos como retazos.

Adicional a estas tres clasificaciones se agrega una más que en sí no tiene un nombre en específico, este método de reciclaje consiste en usar los retazos como relleno de colchones o almohadas de baja calidad comúnmente destinados para su uso en penales. Declaró el Lic. Víctor Hugo Carrillo Arredondo (V. Carrillo, comunicación personal, 15 de diciembre de 2017) director comercial de la empresa INISA (empresa Aguascalentense dedicada a la maquila de pantalones de mezclilla)

Como se puede observar el reciclaje textil es única y exclusivamente para generar algún otro tipo de textil, como uso de prendas de segunda mano o para su uso como relleno sustituto de esponjas, pero hasta el momento solo se conoce de un caso en el que los residuos textiles se utilizan para la generación de un material no textil.

Pregunta de investigación

¿Cómo valorar la combinación de agregados de desechos de mezclilla y aglutinante natural al crear un material biocompuesto destinado a la producción de mobiliario?

Objetivo

Desarrollar un material biocompuesto creado a partir de los desechos de mezclilla generados en la industria textil manufacturera con un aglutinante de origen natural para la producción de mobiliario.

Objetivos específicos

- i. Analizar los resultados obtenidos en pruebas con diferentes procesos de desintegración de la mezclilla.
- ii. Analizar los resultados obtenidos en pruebas con diferentes tipos de aglutinantes.
- iii. Comparar el resultado del material generado vs. un tablero de MDF de 12mm, mediante procesos de corte, compresión, adhesión, flexibilidad, etc.

Hipótesis

El nuevo material biocompuesto, resultante de la mezcla de desechos de la mezclilla de la industria textil manufacturera, obtenido por el trozado y el desfibrado aunado a un aglutinante de origen natural, es susceptible de proveer las características físico-mecánicas necesarias en la industria del mueble.

Metodología

La metodología bajo la cual se llevó a cabo esta investigación es el método experimental, para su implementación se diseñó un protocolo que consta de 6 fases, cada una de estas fases se compone de diversas etapas. Las pruebas químicas del aglutinante y las muestras del material final se realizaron gracias al apoyo de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, al personal del laboratorio de bioquímica y al de los laboratorios de geotecnia e hidráulica.

CAPÍTULO I ANTECEDENTES

Hasta hace poco tiempo el conocimiento profundo de los materiales pertenecía únicamente a expertos y científicos, sin embargo, en la actualidad se ha convertido en un tema de interés para todos. Si bien, aunque es una nueva área de interés rara vez nos detenemos a observarlos a profundidad, a analizar su procedencia y conocer como están conformados. Como consumidores, lo único que nos importa es el costo y la estética del producto y no nos damos cuenta de que la mayoría de los materiales con los que se realizan los productos no solo dañan al medio ambiente, sino que también perjudican nuestra salud.

Existen diversos materiales compuestos que contienen sustancias altamente nocivas para la salud, algunas de estas sustancias son agentes cancerígenos, pero esta información no se encuentra en sus etiquetas, de hecho, esto nunca es mencionado. A lo largo de este proceso de investigación se puede destacar esta situación y sirve como influencia para tomar la decisión de encontrar una solución más amigable no solo con nuestro medio ambiente, también con nuestro organismo.

Los nuevos materiales constituyen una amplia gama de posibilidades no solo para el diseño industrial sino también para otros campos, uno de ellos es la medicina, gracias a la generación de biopolímeros de fácil asimilación para el organismo. Esta nueva generación de materiales tiene, la capacidad de transformar nuestra vida de forma más radical que en el pasado, la aparición de materiales inteligentes como textiles conductores que te permiten sentir cuando alguien te envía un abrazo aun cuando está muy lejos de ti, concretos luminiscentes capaces de absorber energía para generar luz propia, o incluso cerámicas con capacidades de resistencia comparables al acero; permiten explorar un nuevo mundo de posibilidades,

La innovación de los materiales ha revolucionado, y continuará haciéndolo, y afectará prácticamente todos los aspectos de nuestra vida. Conforme van surgiendo nuevos materiales otros son sustituidos, en el siglo XIX el hierro y el acero reforzado sustituyeron al ladrillo y al cemento como componentes estructurales (Beylerian

et al., 2008) y permitieron a arquitectos e ingenieros construir edificios más altos y resistentes de los que se podían hacer en esa época.

En algunas ocasiones el surgimiento de nuevos materiales se ve guiado por la necesidad de mejorar uno ya existente, en otras, la inspiración puede aparecer de la nada, cuando es así, los materiales no surgen como respuesta a una necesidad o cuestión específica, sino como una mera afirmación.

La tecnología también forma un papel importante en esta tarea, puesto que anteriormente la tecnología no estaba al alcance de todos, además de que suponía un gasto muy elevado para los científicos, además de los costos elevados era más limitada, debido a que la información no se transmitía de forma tan eficiente como ahora en día.

La innovación en los materiales es, evidentemente, necesaria si estamos decididos a resolver los problemas y necesidades que plantea el futuro, especialmente ahora que debemos concienciarnos en temas medioambientales, en la escases de recursos naturales, en la comodidad, en la velocidad y en la nanotecnología (Beylerian et al., 2008).

A lo largo de este capítulo se hablará de algunos de los materiales compuestos más comunes, cuáles son sus características, cómo están conformados y que los diferencia, de otros materiales similares, a su vez se explicará que es un biocompuesto, como se conforma y cuál es la diferencia de este frente a un material compuesto.

1.1 Materiales Compuestos

1.1.1 Definición

El término de material compuesto surgió originalmente en ingeniería, cuando dos o más materiales se combinaban para fortalecer a corto plazo un componente en específico. Se considera que un material compuesto es un material multifase que conserva una proporción significativa de las propiedades de las fases constituyentes de manera que presente la mejor combinación posible. De acuerdo con este

principio de acción combinada, las mejores propiedades se obtienen por la combinación razonada de dos o más materiales diferentes (Moral & Nogueira, 2007), al estar combinadas estas fases no es fácil distinguirlas a simple vista, el material resultante puede reconocerse como un material homogéneo. Si bien, no lo identificamos existen muchos materiales compuestos a nuestro alrededor, incluso existen materiales naturales que pueden reconocerse como materiales compuestos un ejemplo es la madera, que consiste en fibras de celulosa flexibles embebidas en un material rígido llamado lignina.

Algunas veces es complicado diferenciar un material compuesto de una estructura ingenieril, que contiene más de un material y se ha diseñado para cubrir una función en específico. La diferencia está en que un material compuesto tiene sus propias características y propiedades físico-químicas, un elemento fortalece al otro y por si mismos no pueden obtener esas características.

En otros términos un material compuesto es un sistema de materiales constituido por una mezcla o combinación de dos o más micro o macro constituyentes que difieren en forma y composición química y que son insolubles entre sí (Smith & Hashemi, 2004)

La mayoría de los materiales compuestos se han creado para mejorar la combinación de propiedades mecánicas tales como rigidez, tenacidad y resistencia a la tracción a temperatura ambiente y a elevadas temperaturas. Y en algunas ocasiones como es el caso de esta investigación, el material compuesto propuesto es para dotar al mercado de una alternativa al uso de materiales dañinos para la fabricación de mobiliario.

1.1.2 Elementos que los conforman

La mayor parte de los materiales compuestos están formados por dos fases: una, llamada matriz, es continua y rodea a la otra fase, denominada fase dispersa o de refuerzo (figura1.1). Las propiedades de los compuestos son función de las propiedades de las fases constituyentes, de sus proporciones relativas y de la geometría de las fases dispersas. Las fases de refuerzo comúnmente son fibras,

hojuelas o partículas. Las matrices son los elementos que mantienen las fases de refuerzo unidas, a estas matrices se les conoce como aglutinantes.

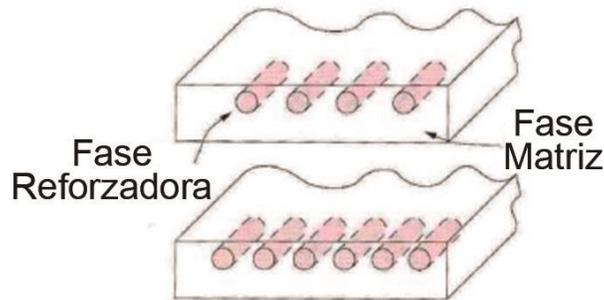


Figura 1.1 Elementos que conforman un material compuesto (Moral & Nogueira, 2007)

Moral y Nogueira proponen que de acuerdo con su composición los materiales compuestos se pueden clasificar de tres maneras: compuestos reforzados con partículas, compuestos reforzados con fibras y compuestos estructurales (Moral & Nogueira, 2007); además, existen dos subdivisiones para cada una. Se debe mencionar que, las fases de refuerzo de los materiales compuestos reforzados con fibras tienen una relación longitud-diámetro (factor de forma) muy alta.

1.1.2.1 Fase reforzadora

Materiales compuestos reforzados con partículas

Los materiales compuestos reforzados con partículas se subdividen en:

- a) Reforzados con partículas grandes
- b) Consolidados por dispersión.

El término grande se utiliza para indicar que las interacciones matriz-partícula no se pueden describir a nivel atómico o molecular, sino mediante la mecánica continua. En la mayoría de los materiales compuestos la fase reforzadora es más dura y resistente que la matriz y las partículas de refuerzo tienden a restringir el movimiento de la matriz en las proximidades de cada partícula. En esencia, la matriz transfiere parte del esfuerzo aplicado a las partículas, las cuales soportan una parte de la carga. El grado de reforzamiento o de mejora del comportamiento mecánico depende de la fuerza de cohesión en la interfaz matriz-partícula.

Un material compuesto con partículas grandes es el hormigón, formado por cemento (matriz) y arena o grava (partículas). El reforzamiento es tanto más efectivo cuanto más pequeñas sean las partículas y cuanto mejor distribuidas estén en la matriz. Además, la fracción de volumen de las dos fases influye en el comportamiento; las propiedades mecánicas aumentan al incrementarse el contenido de partículas.

Las partículas de los materiales compuestos consolidados por dispersión normalmente son mucho más pequeñas: los diámetros tienen de 10 a 100 nm (Moral & Nogueira, 2007). Las interacciones matriz-partícula que conducen a la consolidación ocurren a nivel atómico o molecular. Mientras la matriz soporta la mayor parte de la carga aplicada, las pequeñas partículas dispersas dificultan o impiden el desplazamiento de dislocaciones. De este modo se restringe la deformación plástica de tal manera que aumenta el límite elástico, la resistencia a la tracción y la dureza.

Materiales compuestos reforzados con fibras

Los materiales compuestos reforzados con fibras se podrían decir que son los más importantes, esto es debido a que, como ya se explicó anteriormente de acuerdo con Kelly los materiales son más resistentes en forma de fibras (Kelly, 1994 p.xxiv). A menudo se diseñan materiales compuestos reforzados con fibras con la finalidad de conseguir materiales con una elevada resistencia y rigidez a baja densidad. Estas características se expresan mediante los parámetros resistencia específica y módulo específico, que corresponden, respectivamente, a las relaciones entre la resistencia a la tracción y el peso específico y entre el módulo de elasticidad y el peso específico. Utilizando materiales de baja densidad, tanto para la matriz como para las fibras, se fabrican compuestos reforzados con fibras que tienen resistencias y módulos específicos excepcionalmente elevados. Los materiales compuestos reforzados con fibras se subdividen por el tamaño, orientación, forma y distribución de la fibra (figura 1.2):

- a) Continuas
- b) Discontinuas
 - 1) Alineadas

2) Orientadas al azar

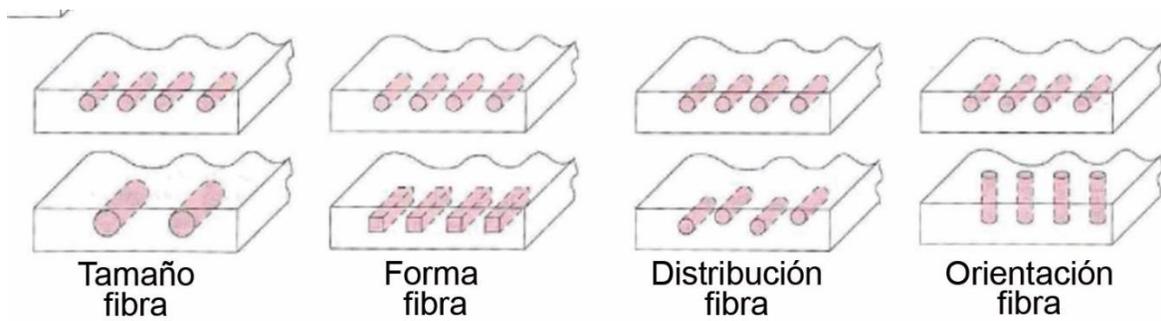


Figura 1.2 Clasificación por tamaño, forma, distribución y orientación de la fibra (Moral & Nogueira, 2007)

La disposición u orientación relativa de las fibras y su concentración y distribución tienen una alta influencia en la resistencia y en otras propiedades del material. Con respecto a la orientación existen dos situaciones extremas (Figura 1.3):

- 1) alineación paralela de los ejes longitudinales de las fibras
- 2) alineación al azar.

Las fibras continuas normalmente se alinean, mientras que las fibras discontinuas pueden alinearse o bien se pueden orientar al azar.

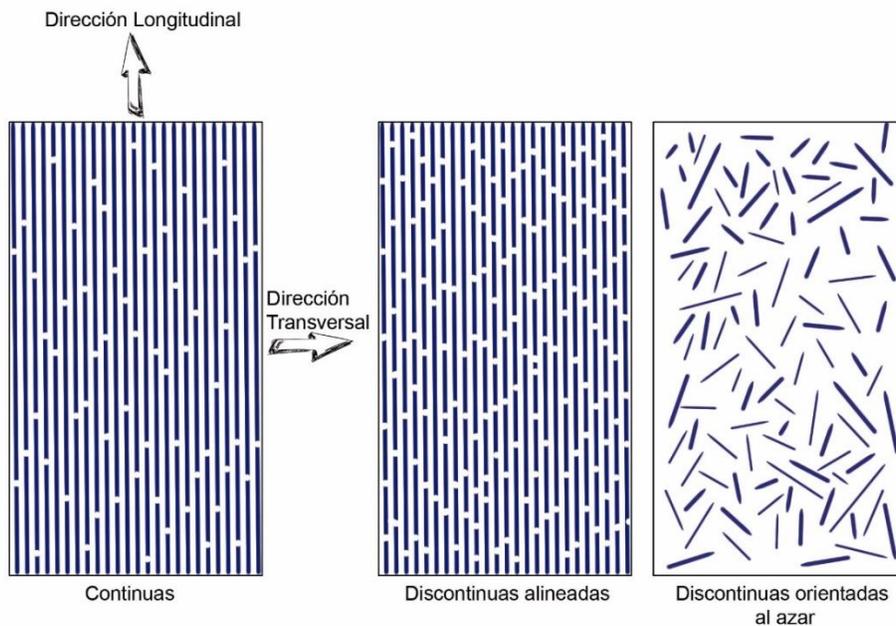


Figura 1.3 Representación gráfica de la orientación de las fibras. Fuente: creación propia

Se les denomina fibras continuas a aquellas con una longitud superior a 15mm y discontinuas o cortas a las de menor longitud, en el caso de estas últimas la matriz suele deformarse alrededor de la fibra, por lo que para adquirir la resistencia necesaria la concentración de la fibra debe de ser muy alta en ambos casos (alineadas y orientadas al azar). Existe una clara relación entre la orientación y tamaño de la fibra y la resistencia y elasticidad del material resultante.

Una importante característica de muchos materiales, especialmente los frágiles, es que las fibras con diámetros pequeños son mucho más resistentes que el material macizo. Como es sabido, la probabilidad de la presencia de una imperfección superficial crítica que conduzca a la rotura disminuye cuando aumenta el volumen (Moral & Nogueira, 2007). Este fenómeno se utiliza con ventaja en los compuestos reforzados con fibras. El material utilizado como fase de refuerzo debe tener alta resistencia a la tracción.

En función de sus diámetros y características, las fibras se agrupan en tres categorías diferentes: whiskers, fibras y alambres. Los whiskers son monocristales muy delgados que tienen una relación longitud-diámetro muy grande. Como consecuencia de su pequeño diámetro, tienen alto grado de perfección cristalina y están prácticamente libres de defectos, y por ello tienen resistencias excepcionalmente elevadas, pueden ser de grafito, carburo de silicio, nitruro de silicio y óxido de aluminio.

Las fibras son policristalinas o amorfas y tienen diámetros pequeños; los materiales fibrosos pueden ser naturales o sintéticos (figura 1.4), por ejemplo, aramida, vidrio, carbono, algodón, seda, bambú, entre otras.

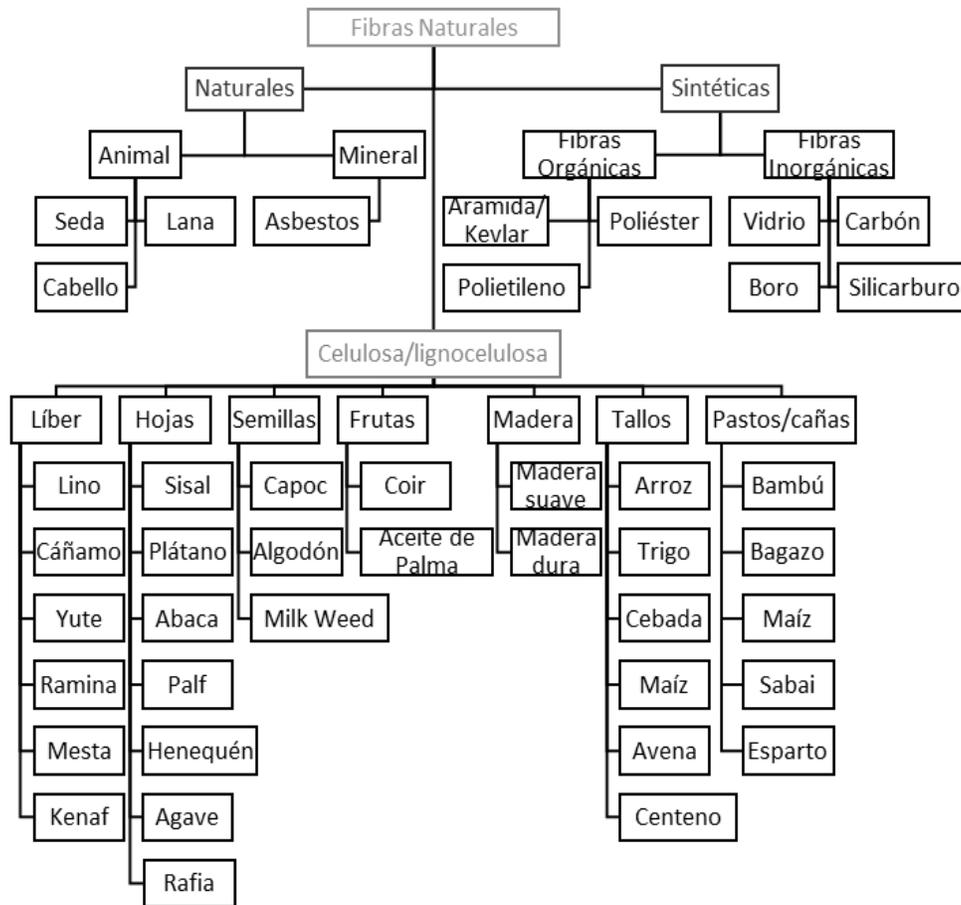


Figura 1.4 Clasificación de fibras naturales y sintéticas (Gurunathan, Mohanty, & Nayak, 2015 p.8)

Cada fibra tiene propiedades tanto físicas como químicas que determinan las características de las mismas, dependiendo de estas propiedades son elegidas para conformar materiales compuestos, debido a que existen una gran cantidad de fibras para propósito de este documento se mostrarán únicamente las características de las fibras más utilizadas en la industria, tales como el algodón, yute, lino, sisal, bambú, madera, piña, entre otras. En la tabla 1 podremos ver las propiedades físicas y mecánicas de estas fibras, datos tales como la densidad, la longitud, el diámetro, la tensión a la ruptura, la fuerza de tensión, módulo de Young, fuerza específica, módulo específico y el contenido de humedad.

Tabla 1 Propiedades físicas y mecánicas de las fibras comerciales más usadas en la industria (Yan, Chouw, & Jarayaman, 2014 p.298)

Fibra	Densidad (g cm ³)	Longitud (mm)	Diámetro (µm)	Tensión a la ruptura (%)	Fuerza de tensión (Mpa)	Módulo de Young (Gpa)	Fuerza específica (Mpa)	Módulo específico (Gpa)	Contenido de humedad (%)
Algodón	1.21	15-56	12-35	2-10	287-597	6-10	194-452	4-6.5	33-34
Yute	1.23	0.8-6	5-25	1.5-3.1	187-773	20-55	140-320	14-39	12
Lino	1.38	10-65	5-38	1.2-3	343-1035	50-70	345-620	34-48	7
Sisal	1.2	0.8-8	7-47	1.9-3	507-855	9-22	55-580	6-15	11
Ramina	1.44	40-250	18-80	2-4	400-938	61-128	590	29	12-17
Cáñamo	1.35	5-55	10-51	1.6-4.5	580-1110	30-60	210-510	20-41	8
Coir	1.2	0.3-3	7-30	15-25	175	6	92-152	5.2	10
Kenaf	1.2	1.4-11	12-36	2.7-6.9	295-930	22-60	246-993	18-50	6.2-12
Plátano	1.35	0.4-0.9	12-30	5-6	529-914	27-32	392-677	20-24	10-11
Piña	1.5	3-8	8-41	1-3	170-1627	60-82	287-1130	42-57	10-13
Abacá	1.5	4.6-5.2	10-30	2.9	430-813	31-33.6	N.E.	N.E.	14
Bambú	0.6-1.1	1.5-4	25-88	13-8	140-441	11-36	383	18	N.E.

N.E. No especificado

Para comprender estos datos se explicará brevemente a que corresponde cada uno, para las definiciones mencionadas a continuación se tomó como base lo expuesto por Smith y Hashemi (2004)

La **densidad** es la cantidad de materia (masa) que tiene un cuerpo en una unidad de medida, normalmente es expresada en kilogramo por metro cúbico, en el caso de las fibras se toma una unidad más pequeña que es la de gramo por centímetro cúbico (g/cm³), para entender esto de una mejor manera pondremos como ejemplo el agua la densidad del agua es de 1g/cm³, es decir en un volumen de 1 cm³ cabe 1 gramo de agua.

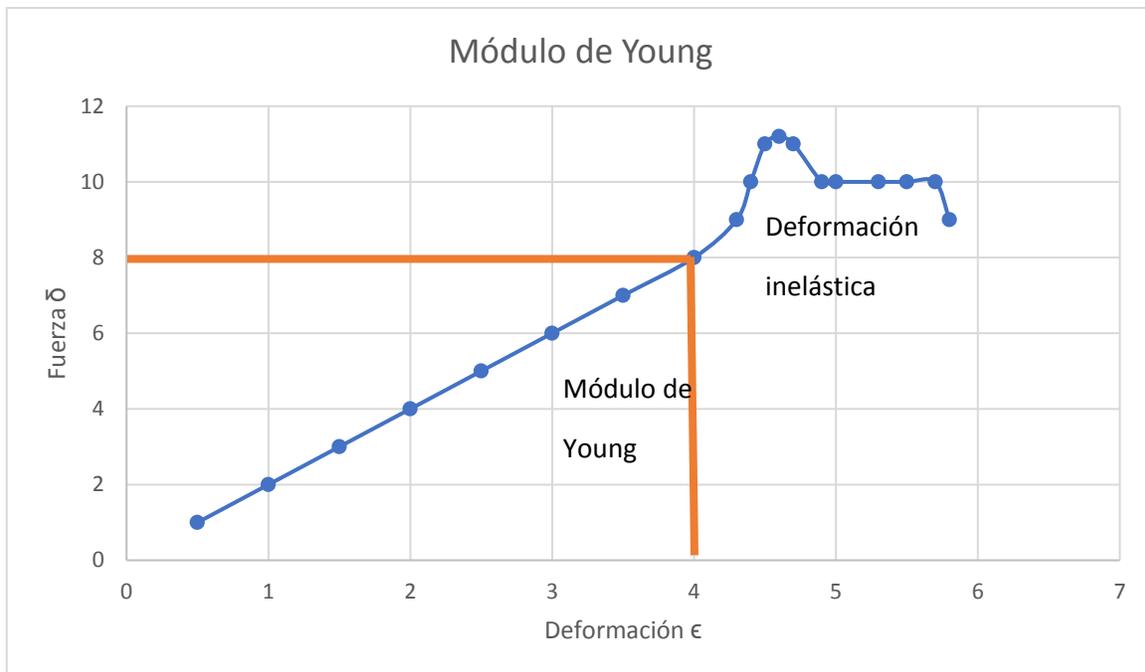
La **longitud** es la dimensión máxima de un cuerpo, que puede ser expresada en kilómetros (km), metros (m), centímetros (cm) y milímetros (mm) en el sistema métrico o en pulgadas (plg), pie (ft), yarda (yd) y milla (mi) en el sistema inglés. En la tabla 1 la longitud se encuentra expresada en mm debido a que las fibras son demasiado pequeñas para expresarse en km, m o cm, en el caso de algunas fibras encontramos dos valores, esto es porque la longitud de estas fibras oscila entre esos dos valores, correspondiendo a la longitud mínima y máxima.

El **diámetro** se refiere al ancho de un objeto con forma circular, cilíndrica o esférica, se expresa en unidades de medida de longitud, cuando la longitud es muy pequeña se utiliza una unidad de medida del sistema métrico conocida como micra o micrón (μm) 1 micra corresponde a una millonésima parte de un metro, la cantidad mínima que un ojo humano puede percibir es de 0.1mm que es igual a 100 μm , por lo que para poder medir el diámetro de las fibras se requieren microscopios especializados.

Tensión a la ruptura es la tensión en el momento cuando el material empieza a desgarrarse. Se mide con un ensayo o prueba de tracción, en esta prueba se coloca el material en una prensa y en el extremo colgante se va aplicando fuerza, el material sufre una deformación y finalmente se fractura, el porcentaje de tensión a la ruptura se toma justo al momento en que el material presenta un desgarre.

La **Fuerza de tensión** es la fuerza máxima que soporta un material antes de fracturarse, para esta medición se realiza la prueba de tracción explicada anteriormente y al igual que la tensión a la ruptura se toma la fuerza hasta el punto de desgarre del material.

El **Módulo de Young** es un parámetro de comportamiento que poseen todos los materiales, corresponde a la relación proporcional entre una fuerza aplicada y la deformación existente. El módulo de Young corresponde a la deformación elástica, se conoce como deformación elástica a aquella en la cual el material puede volver a su estado natural, para entenderlo de una mejor manera se muestra la gráfica 2.



Gráfica 2 Ejemplificación del módulo de Young. Fuente: Elaboración propia

La **Fuerza específica** es la fuerza propia del material, es la capacidad de sostenerse a sí misma al estar suspendida de un extremo.

Módulo específico es una propiedad de los materiales que consiste en el módulo de elasticidad por la densidad de masa de un material. También es conocida como la rigidez en relación al peso o rigidez específica.

Contenido de humedad es la relación que existe entre el peso de agua contenida en la muestra de un material en estado natural y el peso de la muestra después de ser secada en el horno a una temperatura entre los 105°-110° C. Se expresa en forma de porcentaje, puede variar desde cero cuando está perfectamente seco hasta un máximo determinado que no necesariamente es el 100%.

Materiales compuestos Estructurales

Un material compuesto estructural está formado tanto por materiales compuestos como por materiales homogéneos y sus propiedades no sólo dependen de los materiales constituyentes sino de la geometría del diseño de los elementos estructurales. Los compuestos laminares, los cuales poseen una dirección preferente con elevada resistencia (tal como ocurre en la madera), y los paneles

sándwich, que poseen caras externas fuertes separadas por una capa de material menos denso, o núcleo (figura 1.5), son dos de los compuestos estructurales más comunes.

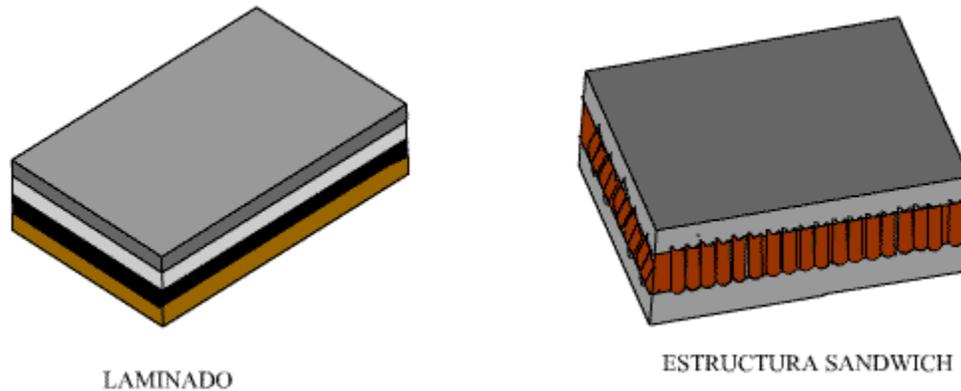


Figura 1.5 Tipos de material compuesto estructural Fuente: Creación propia

Un ejemplo muy claro de los compuestos estructurales laminares es el triplay, el cual está hecho por láminas de madera delgada apiladas unas sobre otras y unidas por un aglutinante artificial, en el caso de la estructura sándwich el núcleo puede tener diferentes formas, los núcleos más utilizados son los de panal de abeja (también se pueden utilizar espumas o "foams" de baja densidad) fabricados en aluminio y NOMEX (material compuesto).

1.1.2.2 Fase Matriz

La fase matriz de un material compuesto ejerce varias funciones. En primer lugar, une el material utilizado como fase de refuerzo y actúa como un medio que distribuye y transmite al mismo los esfuerzos externos aplicados; sólo una pequeña fracción del esfuerzo aplicado es resistido por la matriz. Además, la matriz debe ser dúctil y, por otra parte, el módulo elástico de la fase reforzadora debe ser mucho mayor que el de la matriz. En segundo lugar, la matriz protege a la fase reforzadora del deterioro superficial que puede resultar de la abrasión mecánica o de reacciones químicas con el medio ambiente. Estas interacciones introducen defectos superficiales capaces de originar grietas, que podrían producir fallos con esfuerzos de tracción relativamente bajos (Moral & Nogueira, 2007).

Finalmente, la matriz separa los materiales reforzadores y, en virtud de su relativa blandura y plasticidad, impide la propagación de grietas de un material a otro, que originaría fallos catastróficos; en otras palabras, la matriz actúa como una barrera que evita la propagación de grietas. Aunque algunas fibras individuales se rompan, la rotura total del material compuesto no ocurrirá hasta que se hayan roto gran número de fibras adyacentes, que forman un agregado de tamaño crítico.

Es esencial que la adherencia de la unión entre fase reforzadora y matriz sea elevada para minimizar el arrancado de fibras. En efecto, la resistencia de la unión tiene gran importancia en el momento de seleccionar la combinación matriz-fibra. La resistencia a la tracción final del compuesto depende, en gran parte, de la magnitud de esta unión; una unión adecuada es esencial para optimizar la transmisión de esfuerzos desde la matriz a la fase de refuerzo.

La matriz puede ser de origen natural o artificial y se conoce comúnmente como aglutinante o adhesivo y debe de existir una compatibilidad entre ambas fases, las características y tipos de aglutinantes usados en esta fase se explicarán más a detalle en el capítulo tres de esta investigación.

Materiales compuestos más conocidos

Existen una gran variedad de materiales compuestos con los que tenemos contacto en nuestro quehacer diario, cada uno ha surgido gracias a los avances de la tecnología, y los conocimientos que de ella derivan, o como se ha repetido continuamente en la historia han sido descubiertos por “accidente”; a continuación, se mencionarán algunos de los materiales más comunes y los que tienen características específicas en sus composiciones que pueden ser factibles de análisis para la construcción de ésta investigación.

Fibra de vidrio:

La fibra de vidrio se obtiene por medio de un proceso en el que se pasa el vidrio en forma líquida a través de una pieza de agujeros muy finos llamada espinerette, al solidificarse, es tan flexible que puede usarse como fibra, al encontrarse en este estado aún no tiene las características necesarias para utilizarlo como fase

reforzadora, por lo que se somete a un proceso de entrelazado para formar, una malla, patrón o trama.

Al estar las fibras entrelazadas ya adquieren mayor resistencia, sin embargo, aún no es suficientemente fuerte para emplearse como un material, en este estado (malla) ya es factible de utilizarse como fase reforzadora, para la matriz se utiliza comúnmente una resina catalizada y es en este punto cuando se convierte en un material compuesto.

Los usos de la fibra de vidrio como material compuesto son muy variados, debido a su capacidad de adaptarse a cualquier forma que se requiera, dentro de las industrias más importantes en la que se utiliza se encuentran la industria automotriz, la industria náutica, la industria aeronáutica, entre otras, cabe destacar que la fibra de vidrio también se usa para conducir luz o redes de datos en los sistemas de comunicación.

Fibra de Carbono:

La fibra de carbono es una variante de la fibra de vidrio, la diferencia entre estas es la fase reforzadora, ya que para este compuesto se utilizan fibras muy finas hechas a base de carbono, al igual que la fibra de vidrio debe entrelazarse para formar mallas, al igual que la fibra de vidrio debe combinarse con una resina para adquirir las propiedades de resistencia y durabilidad que le caracterizan. Su uso y aplicaciones son iguales que las de la fibra de vidrio, este compuesto tiene mejores características físico-mecánicas que la fibra de vidrio, pero su costo es más elevado.

Otra diferencia es la apariencia, la fibra de vidrio debe lijarse y pintarse o usar algún otro tipo de recubrimiento para lograr una buena estética, en el caso de la fibra de carbono si se emplea correctamente su estética no requiere de ningún tipo de tratamiento extra.

MDF:

El tablero de densidad media o MDF por sus siglas en inglés (Medium Density Fiberboard) es un compuesto laminado (fig. 1.13) conformado por fibras de madera pulverizadas y aglutinadas con una resina sintética, presionadas y sometidas a altas

temperaturas para lograr su integración. Este material se utiliza mayormente en la producción de mobiliario por sus características de resistencia, bajo costo y dimensiones. Este material no posee características estéticas por lo que los objetos creados con el mismo (figura 1.14) deben de pintarse o recubrirse con algún otro material (textiles o recubrimientos plásticos como las melaminas)



Figura 1.13 Tableros de MDF



Figura 1.14 Silla de MDF sin acabado

Otra de las razones por las que se usa este material es que se encuentra perfectamente calibrado, es decir que su grosor no varía, los calibres en los que se produce (fig. 1.13) son 3mm, 6mm, 9mm, 12mm, 16mm y 19mm y su dimensión es de 1.22m de ancho por 2.44m de largo.

1.2 Biocompuestos

1.2.1 Definición de biocompuesto

Los materiales biocompuestos cuentan con las mismas características y propiedades que un material compuesto, la diferencia radica en la elección de las fases, tanto reforzadores como de la matriz, son una alternativa ecológicamente viable para el reemplazo de materiales compuestos convencionales como la fibra de vidrio y de carbono en la fabricación de componentes o partes de equipos, en donde su función puede o no requerir de unos valores de resistencia mecánica altos o pueden cumplir funciones de tipo estético.

Los materiales biocompuestos están conformados de un aglutinante a base de una resina polimérica que hace parte de la matriz y fibras naturales que actúan como refuerzo, permitiendo mejorar las propiedades mecánicas y térmicas de la resina sin fibra. Investigaciones de diferentes autores han demostrado la eficiencia de las fibras naturales para disminuir los tiempos de degradación de la resina polimérica cuando este ha cumplido su ciclo funcional y se someta a condiciones ambientales y procesos naturales de descomposición, lo que permite la reducción de la contaminación en el medio ambiente

La funcionalidad del biocompuesto influye en la correcta elección tanto de la fase de refuerzo como de la matriz, para la primera parte se toman en cuenta diferentes tipos de fibras naturales, analizando sus características, así como la producción de las mismas, la intención es que el nuevo material ofrezca el menor impacto posible al medio ambiente.

1.2.1.1 Ejemplos de materiales biocompuestos

Demodé: Es un material hecho a base de la mezcla de productos textiles pre-consumidor y un adhesivo a base de almidón, esta mezcla es hecha a mano, posterior a la mezcla se introduce en moldes para conformar las piezas (Marambio, s. f.).

Proceso de producción del demodé

El siguiente proceso de producción fue tomado de la secuencia fotográfica (figura 1.15) que se encuentra en la página web de la creadora de este material y redactado por la autora de este documento.

- a) Se cortan las telas en trozos.
- b) Dentro de un recipiente, se mezclan los trozos de las telas con el aglutinante a base de almidón.
- c) Se compacta la mezcla dentro de un molde previamente rociado con desmoldante.
- d) Se saca la pieza y se le agregan los elementos extras.



Figura 1.15 Proceso de producción Demodé. Fuente: Creación propia)

Marambio estudió el demodé sometiéndolo a estudios de Impacto en CATAS CHILE (2013) / Comportamiento al Fuego, IDIEM, U. de Chile (2013) / Propiedades físico-mecánicas, Laboratorio de Materiales Compuestos, U. Bío-Bío, Concepción, Chile (2009). (Marambio, s. f.)

Las piezas creadas en demodé son diseños exclusivos para clientes, por lo que no es una producción en serie, además de que no se usa ningún tipo de maquinaria para la fabricación de los mismos, la fundadora y creadora de Demodé Bernardita Marambio, dice que “Más allá de querer solucionar un problema ambiental, busca

enseñar de manera desinteresada a las nuevas generaciones que la forma de producción actual, descontrolada y basada en el capital más que en el bienestar de las personas no es sustentable en el tiempo.”

1.3 Conclusión capitular

Los materiales compuestos y los biocompuestos son muy similares, en realidad la única diferencia entre éstos es que el biocompuesto se conforma por fases y matrices de origen natural, o que su reintegración al medio ambiente es más rápida y menos dañina, bajo este tenor se realizó una investigación primero sobre fibras naturales y posteriormente sobre aglutinantes (matrices) naturales; esta investigación se presenta en capítulos subsecuentes.

El mayor interés es generar un biomaterial que esté compuesto por desechos, pero no cualquier tipo de desecho, sino, que provengan de la industria manufacturera, tomando en cuenta que el algodón es la fibra que más se produce, a continuación. se desglosarán los textiles que se generan a partir de éste y de esta manera seleccionar el material que será utilizado como fase de refuerzo.

CAPÍTULO II CRADLE TO CRADLE

Nuestros antepasados no se preocupaban por los aspectos medio ambientales y esto es debido a que en la antigüedad se creía que los recursos no se iban a terminar, sin embargo, esto es algo que cambió radicalmente desde hace algunos años, si bien, el concepto de sustentabilidad surgió en 1992 en el Informe Brundtland de la Organización de las Naciones Unidas¹ (Rodríguez, s. f.), la preocupación surgió algunos años atrás, en 1977, el Austriaco Victor Papanek, hizo una crítica sobre el papel que desempeñan muchos diseñadores a quienes sólo les importa la venta del producto y dejan de lado su compromiso social, Papanek habla sobre la creación de artículos desechables, fenómeno que es cada vez más común, claro está, que estos artículos tienen ventajas y desventajas, las ventajas están enfocadas en el uso del mismo producto, por ejemplo, un pañuelo después de su uso debe ser lavado para utilizarlo nuevamente, lo que conlleva más trabajo; en cambio, un pañuelo desechable se usa y se tira, cuando se requiere se toma otro, y es justo aquí en donde surge la desventaja, ¿Qué pasa con el objeto desechable una vez que fue tirado? (Papanek, 1977). Es necesario que el rol del diseñador se modifique, no debe de enfocarse solamente en el diseño del producto, sino que debe de participar en el proceso de toma de decisiones a nivel superior².

Hablando de diseño sustentable podemos encontrar diversos términos, Diseño Verde, que es la primera fase del diseño sustentable, en la que se busca principalmente reciclar, o bien usar materiales que sean menos dañinos al medio ambiente, Diseño ecológico, la segunda fase, en la que ya se abordan aspectos sistémicos como el gasto energético al producir un cierto objeto o en reciclarlo; y Diseño Sustentable, perspectiva donde la problemática no se limita a aspectos técnico-productivos, sino que analiza el impacto social y económico de los países, con especial atención a la problemática de los países en desarrollo (Rodríguez, s. f.).

¹ El informe fue generado en una conferencia denominada Cumbre para la tierra, los objetivos fundamentales de la Cumbre eran lograr un equilibrio justo entre las necesidades económicas, sociales y ambientales de las generaciones presentes y de las generaciones futuras.

² Corresponde al discurso de Gestión de diseño propuesto por Luis Rodríguez Morales. (Rodríguez, s. f.)

El problema con el tema del diseño sustentable es la cuestión económica, muchos productores no están preparados o no cuentan con el capital para realizar cambios, ya sea, en sus procesos de producción, en la adquisición de nuevos materiales o en la optimización de recursos, siendo que, al hacer cualquier tipo de modificación influiría directamente en el costo de sus productos lo que repercutiría en sus ventas, ya que los consumidores, si bien, podrían tener interés en tomar medidas sencillas que beneficien al medio ambiente, difícilmente realizarán cambios importantes en sus hábitos de consumo, no pagarán por productos más costosos o cambiarán su estilo de vida.

La norma ISO 14001³, que es de adopción voluntaria para las organizaciones, perfija objetivos ambientales de alto valor para la sociedad tales como mantener la prevención de la contaminación y la protección del medio ambiente en equilibrio con las necesidades socioeconómicas. (Schinitman, 2003).

Esto, unido a la necesidad de regular y establecer un marco común de trabajo, distintas empresas están estableciendo Sistemas de Gestión medioambiental, estos sistemas, llegaron como complemento de los sistemas de gestión de calidad. (Fernández, Arias, & Gorriño, 2002).

Derivado de esta norma (ISO 14001) surgen otros métodos como la economía circular, que surge del concepto “*Cradle to cradle*” (de la cuna a la cuna) del arquitecto William McDonough y el químico Michael Braungart; que consiste básicamente en idear, diseñar y producir de forma que los elementos que componen los productos puedan ser 100% reutilizados o reciclados.

Esta es una de las medidas que se ha tomado para tratar de solucionar esta problemática, otra medida es el surgimiento del Eco diseño como una metodología para el diseño de productos industriales, esta metodología tiene en cuenta al Medio Ambiente. El objetivo es incluir la variable medioambiental como un factor adicional

³ Esta Norma Internacional se basa en la metodología conocida como Planificar-Hacer-Verificar-Actuar (PHVA). (ISO, 2004)

a otros factores tradicionales que se tienen en cuenta, como son la calidad, los costes, la seguridad o la ergonomía, a partir de esta metodología surgen también conceptos como el Ciclo de Vida y los aspectos ambientales del producto y se desarrollan herramientas específicas, como el método Eco indicador⁴. Todo ello conforma una nueva metodología para el diseño industrial. (Fernández et al., 2002).

2.1 Cradle to cradle (de la cuna a la cuna)

2.1.1 Definición

Cradle to cradle (C2C) es un concepto en el que se busca integrar al medio ambiente en la producción de cualquier producto, este concepto nos dice que la industria y el medio ambiente no tienen por qué estar peleados, sino que se debe de encontrar un punto en que ambos puedan coexistir.

Cradle to cradle se basa en tres principios:

1. **Residuo = Recurso.** Todo se debe diseñar para que, al término de su vida útil, el 100% de los elementos que lo componen puedan ser aprovechados como recursos. Este sistema elimina el concepto de desecho porque estos equivalen a recursos.
2. **Energías renovables.** Este sistema depende de fuentes de energía renovables (solar, eólica, hidráulica, biocombustibles). Siempre que cumplan el principio anterior.
3. **Diversidad.** Los sistemas naturales funcionan y prosperan a través de la complejidad. En lugar de crear soluciones genéricas como hacía el sistema tradicional, hay que apoyar la diversidad de diseños con un enfoque local, que cumplen mejor su función original al tener en cuenta las interacciones con los sistemas naturales en los que se enmarcan.

Lo que predica el concepto C2C es que una buena alternativa ecológica es aquella que difunde reducir, evitar, minimizar, sostener, limitar y detener. conceptos que en la mayoría de las consideraciones ambientales de la industria son muy básicos, pero

⁴ Método para evaluar el impacto ambiental a lo largo del ciclo de vida, toma en cuenta diferentes factores y permite notar y cambiar los aspectos menos favorables. El más reciente es el Eco-indicador 99

que sin embargo en la búsqueda desesperada de salir de la crisis de recursos naturales y energéticos podría ser lo más eficiente; así surge un término más, la ecoeficiencia⁵ que básicamente significa “hacer más con menos” (McDonough & Braungart, 2005), y aunque aparentemente es un concepto noble y admirable no es una estrategia de éxito a largo plazo, puesto que no se introduce hasta sus raíces; pensar en ser eficientes desde el fondo del sistema solo consigue enfatizar y en algunos casos duplicar el problema. Con el concepto que actualmente se tiene sobre ecoeficiencia no se puede salvar el medio ambiente, ya que supone, que la industria, debe acabar con todo de forma silenciosa y persistente.

Lo que se puede entender con esto es que evidentemente el reducir el consumo de recursos, uso de energía, las emisiones y los residuos es beneficioso para el medio ambiente, y obviamente para la moral de las grandes empresas, pero esto no es más que alargar la inminente agonía del sistema.

Los sistemas de producción actuales están basados en la economía lineal que es básicamente “tomar, hacer, desechar”; retomando el ejemplo que se explicó en la introducción de este capítulo, si necesitamos un pañuelo es muy cómodo usar uno desechable ya que este después de su uso se desecha y no tiene el inconveniente de tener que lavarse para usarlo nuevamente; y esto no es más que el reflejo de una época en la que se creía que los recursos eran ilimitados y fáciles de obtener y la conciencia de las graves consecuencias medioambientales era nula.

Gracias al concepto C2C surge un concepto más importante como es la economía circular, este concepto se interrelaciona con la sostenibilidad, y su objetivo es que el valor de los productos, los materiales y los recursos se mantenga en la economía durante el mayor tiempo posible, y que se reduzca al mínimo la generación de residuos; se trata de implementar una nueva economía, circular -no lineal-, basada en el principio de «cerrar el ciclo de vida» de los productos, los servicios, los residuos, los materiales, el agua y la energía. (Foundation Ellen MacArthur, s. f.)

⁵ El término ecoeficiencia fue oficialmente establecido por el Business Council for Sustainable Development (Consejo Empresarial para el Desarrollo Sostenible)

Ya se habló del término ecoeficiencia, y se explicó que, aunque sus intenciones son buenas no es una solución efectiva a largo plazo, es por esto que, McDonough y Braungart en su libro “De la cuna a la cuna. Rediseñando la forma en que hacemos las cosas” usan el término *ecoefectividad* como un nuevo paradigma para el diseño, abarca desde la visión del objetivo inicial hasta el producto o sistema que lo compone en su totalidad. Este concepto no propone soluciones necesariamente radicales, sino un cambio de perspectiva. Una perspectiva que debe seguir y conservar los ciclos de la naturaleza y que no debe verse como una disciplina sino como una declaración de compromiso.

Los autores de C2C sintetizan la ecoefectividad en los siguientes puntos:

- Construcciones que, al igual que los árboles, produzcan más energía de la que consumen y depuren sus propias aguas residuales.
- Fábricas que produzcan como efluente agua potable.
- Productos que, una vez finalizada su vida útil, no se conviertan en basura inútil, sino que puedan ser devueltos al suelo para que se descompongan y se conviertan en alimentos para plantas y animales y en nutrientes para la tierra; o, en caso contrario, que puedan ser reincorporados a los ciclos industriales para proporcionar materias primas de alta calidad para nuevos productos.
- Materiales recuperados para usos humanos y naturales.
- Medios de transporte que mejoraran la calidad de vida al tiempo que distribuyen productos y servicios.
- Un mundo de abundancia, y no uno de limitaciones, polución y desechos

La aplicación de esta tendencia podría verse como algo complicado y es por esto que se recomienda hacer pequeños cambios graduales o en el caso de las nuevas empresas planearlo con anticipación para cada una de las áreas operativas, de esta forma se puede implementar sin la necesidad de generar gastos extras.

Para entender el proceso de forma más clara se presenta la figura 2.1 en donde se muestra en que consiste la metodología C2C.

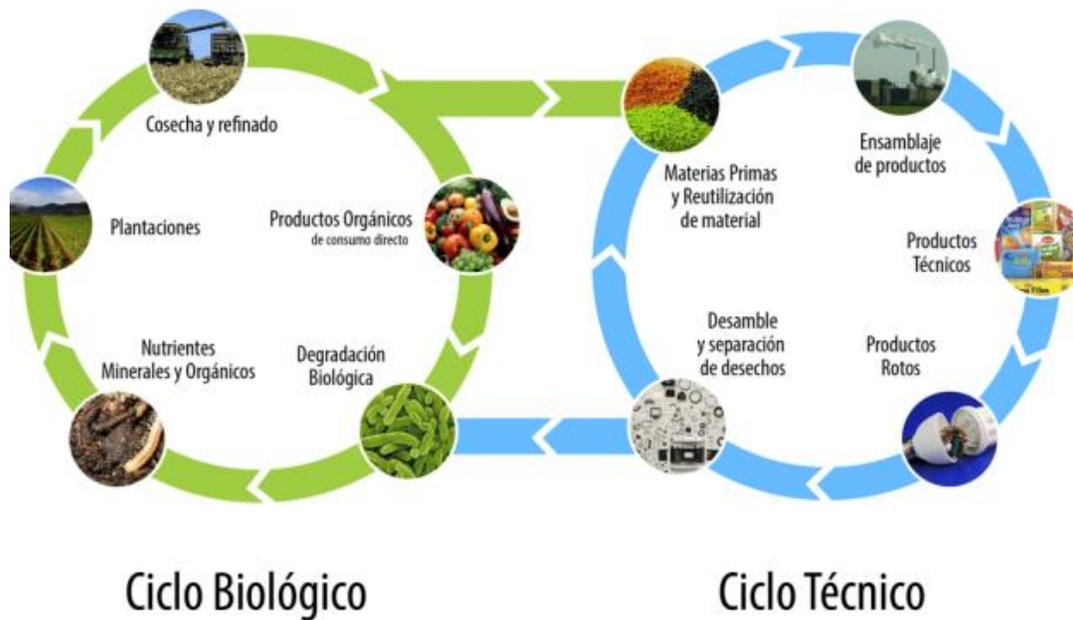


Figura 2.1 Ciclo de integración C2C

En la figura 2.1 se muestra cómo se pueden integrar los ciclos biológicos y técnicos en el proceso productivo, implica agregar final del proceso una separación adecuada para que los elementos de desecho que no pueden ser reutilizados en el proceso de producción de nuevos productos puedan reintegrarse al medio ambiente y volver al ciclo biológico.

2.2 Conclusión capitular

Es importante para las empresas cumplir con sus responsabilidades sociales, entendiendo como responsabilidades no solamente con la sociedad sino también con el entorno ambiental; esto implica que deben encontrar soluciones que ayuden a cumplir esta tarea y aunque existen muchas alternativas lo que propone C2C puede resultar en beneficios tanto para la empresa como para el entorno. El hecho de poder utilizar algunos de los desechos en las mismas tareas del proceso productivo implica un ahorro sustancial a la empresa.

En el caso de este proyecto de investigación se pretende tomar esta metodología desde la perspectiva del uso de materiales que de cierta forma ya terminaron su vida útil, ya que son desechos de un proceso productivo, de igual manera una vez

realizada la investigación se pretende continuar para estudiar la factibilidad del reciclaje del material para ser utilizado nuevamente como materia prima en el proceso de producción de más tableros lo que reforzaría el uso de la metodología.

Después de entender el funcionamiento de la metodología C2C se puede decir que el inicio del ciclo productivo inicia con la separación de desechos, ya que se toma como materia prima un desecho de otro proceso, así mismo como materia prima también se toma el almidón de papa o maíz que proviene del ciclo biológico y nuevamente al finalizar el proceso se separa la fibra del aglutinante, la fibra se puede reutilizar y el aglutinante al ser natural puede reintegrarse al ciclo biológico.

CAPÍTULO III NUEVO BIOCMPUESTO

En capítulos anteriores se explicaron las características de los materiales compuestos y biocompuestos. Se hizo mención de los materiales por los que están compuestos y las generalidades de éstos, en este capítulo se hablará a detalle de las fases (materiales) que se usaron en este proyecto de investigación para el desarrollo del nuevo material biocompuesto, cabe destacar que la intención es basarse en la metodología de la cuna a la cuna (cradle to cradle) en la que se busca, como ya se mencionó en el capítulo II de este documento, que los objetos al finalizar el ciclo de vida para el cual fueron creados, sus componentes o el mismo objeto pueda ser utilizado para crear algo diferente y de esta forma el ciclo de vida del producto no sea de la cuna a la tumba. En este capítulo se hace mención de las características de las fases y la justificación del porque el uso de estos materiales en específico.

Es importante recordar que una de las características principales de un material biocompuesto es que sus componentes son de origen natural, partiendo de este principio la investigación se enfocó en buscar esta característica en los elementos que se usaron para el desarrollo del material. En este caso el desarrollo del material es buscando aprovechar el material de desecho de la industria textil por lo que las fibras que se investigaron deben de ser factibles de generar textiles.

No existe un orden en específico en el que las fases deban mezclarse, por lo que el orden de aparición en este documento no influye en la fase experimental del proyecto.

3.1 Fase de refuerzo

Para la fase de refuerzo se buscaron fibras, esto debido a lo expuesto por Kelly, que los materiales son más resistentes en forma de fibra, además porque se realizó una comparación con el MDF un material altamente usado en la industria del mueble y para comprobar la superioridad debe de crearse con elementos similares para

reforzar la teoría. Entonces se presentan algunas de las fibras naturales más comunes y con las que se pueden generar textiles.

3.1.1 Tipos de fibras

Existen dos tipos de fibras, las naturales y las sintéticas; las fibras naturales son sustancias muy alargadas producidas por plantas y animales, que se pueden hilar para obtener hebras, hilos o cordelería. En tejidos, en géneros de punto, en esteras o unidas, forman telas esenciales para la sociedad (FAO, 2009).

Las fibras sintéticas son aquellas que para su producción se necesita la intervención del hombre, la mayoría de ellas derivan de polímeros sintetizados creados en laboratorio como son el nylon, rayón, poliéster, spandex, entre otros. Las características de estas fibras dependen del polímero del que derivan y sus usos son muy variados, su uso principal es en la industria de la moda, pero en sus inicios el nylon, una de las fibras sintéticas más conocida y antigua era utilizada para la creación de paracaídas en la segunda guerra mundial, por sus características de dureza y resistencia a las inclemencias climáticas.

3.1.1.1 Fibras naturales

Para la selección de la fibra era muy importante conocer las características de las fibras naturales más comunes en la industria, se tomaron en cuenta dos factores muy importantes, uno, que sea una fibra muy utilizada en la industria y dos, que sus características físicas y químicas cumplan con los requerimientos de la investigación.

Durante el proceso de investigación se encontraron datos muy interesantes que sirvieron para la elección de la fibra, en primera instancia se presenta la tabla 2 que contiene la producción mundial de las fibras naturales más importantes de la industria, así como los mayores países productores.

Tabla 2 Estimación de los promedios globales del volumen de producción de las principales fibras naturales (Yan et al., 2014 p.305)

Fibra	Producción por año (millones de toneladas)	Principales países productores
Algodón	25	China, USA, India Pakistán
Yute	2.5	India, Bangladesh
Lino	.50 - 1.5	China, Francia, Bélgica, Bielorrusia, Ucrania
Sisal	0.3	Brasil, China, Tanzania, Kenia
Ramina	0.15	China
Cáñamo	0.1	China
Coir	0.45	India, Sri Lanka
Kenaf	0.45	China, India, Tailandia
Abacá	0.10	Filipinas, Ecuador
Seda	0.10	China, India
Henequén	0.03	México

Como se puede observar la fibra con mayor producción es el algodón, ya que esta fibra es una de las más usadas en la industria de la moda, por su versatilidad y características de resistencia a la ruptura y abrasión, además de que puede ser combinada muy fácilmente con otras fibras dando lugar a textiles muy fuertes, pero a la vez muy ligeros.

A partir de este momento se puede decir que el algodón es la fibra indicada para utilizar en esta investigación por su alta producción, sin embargo, se debe analizar más a detalle por lo que se presenta la tabla 3 la cual contiene las propiedades físicas y mecánicas de algunas fibras naturales, si bien no se encuentran todas las fibras de la tabla 2 lo importante es analizar la fibra de algodón para determinar si es la fibra adecuada para tomar en cuenta como componente en el desarrollo del nuevo material biocompuesto. Para ayudar a identificar claramente las propiedades de la fibra se resalta la fila con un color diferente.

Tabla 3 Propiedades físicas y mecánicas de las fibras comerciales más usadas en la industria (Yan et al., 2014 p.303)

Fibra	Densidad (g cm ³)	Longitud (mm)	Diámetro (µm)	Tensión a la ruptura (%)	Fuerza de tensión (Mpa)	Módulo de Young (Gpa)	Fuerza específica (Mpa)	Módulo específico (Gpa)	Contenido de humedad (%)
Algodón	1.21	15-56	12-35	2-10	287-597	6-10	194-452	4-6.5	33-34
Yute	1.23	0.8-6	5-25	1.5-3.1	187-773	20-55	140-320	14-39	12
Lino	1.38	10-65	5-38	1.2-3	343-1035	50-70	345-620	34-48	7
Sisal	1.2	0.8-8	7-47	1.9-3	507-855	9-22	55-580	6-15	11
Ramina	1.44	40-250	18-80	2-4	400-938	61-128	590	29	12-17
Cáñamo	1.35	5-55	10-51	1.6-4.5	580-1110	30-60	210-510	20-41	8
Coir	1.2	0.3-3	7-30	15-25	175	6	92-152	5.2	10
Kenaf	1.2	1.4-11	12-36	2.7-6.9	295-930	22-60	246-993	18-50	6.2-12
Plátano	1.35	0.4-0.9	12-30	5-6	529-914	27-32	392-677	20-24	10-11
Piña	1.5	3-8	8-41	1-3	170-1627	60-82	287-1130	42-57	10-13
Abacá	1.5	4.6-5.2	10-30	2.9	430-813	31-33.6	N.E.	N.E.	14
Bambú	0.6-1.1	1.5-4	25-88	13-8	140-441	11-36	383	18	N.E.

N.E. No especificado

En síntesis, de acuerdo con la tabla 3 las fibras de algodón no son muy largas ya que su longitud oscila entre los 15 y 56mm, no son muy elásticas ya que de acuerdo al módulo de Young solo estiran entre 6 y 10 Gpa lo que demuestra que su tensión a la ruptura es muy buena ya que oscila entre el 2 y 10% esto tomando en cuenta que su diámetro se encuentre entre los 12 y 35 micrones. Todo esto indica que el algodón es muy factible de utilizar, sin embargo, también es importante conocer las propiedades químicas, ya que la elección de la matriz (aglutinante) depende también de esta composición química para que exista una perfecta compatibilidad entre ambos elementos. A continuación, se presenta la tabla 4 con la composición química de algunas fibras, nuevamente destacando la fila con los datos pertenecientes a la fibra de algodón.

Los datos se muestran en porcentajes, esto para indicar la cantidad de sustancia que contiene la fibra en su estructura molecular, recordemos que al ser fibras que surgen de una semilla, planta o raíz las moléculas que las conforman son la celulosa, hemicelulosa, lignina, pectina y cera sustancias que se encuentran en todas las plantas y a su vez éstas les permiten adquirir propiedades físicas algunas como las mencionadas en la tabla 4 que son la solubilidad en agua y el ángulo microfibrilar.

Tabla 4 Composición química y parámetros estructurales de las fibras comerciales más importantes (Yan et al., 2014 p.298)

Fibra	Celulosa (wt%)	Hemicelulosa (wt%)	Lignina (wt%)	Pectina (wt%)	Solubilidad en agua (wt%)	Cera (wt%)	Ángulo microfibrilar (deg)
Algodón	85-90	5.7	0.7-1.6	0-1	1	0.6	20-30
Yute	61-71.5	13.6-20.4	12-13	0.2	1.2	0.5	8
Lino	71-78	18.6-20.6	2.2	2.3	3.9-10.5	1.7	5-10
Sisal	67-78	10-14	8-11	10	1.3	2	10-22
Ramina	68.6-76.2	13.1-16.7	0.6-0.7	1.9	6.1	0.3	7.5
Cáñamo	70.2-74.4	17.9-22.4	3.7-5.7	0.9	2.1	0.8	2-6.2
Coir	36-43	0.15-0.25	41-45	3-4	5.2-16	N.E.	30-49
Kenaf	45-57	21.5	8-13	3-5	N.E.	N.E.	N.E.
Plátano	63-64	10	5	N.E.	N.E.	N.E.	11
Piña	80-83	15-20	8-12	2-4	1-3	4-7	8-15
Abacá	56-63	21.7	12-13	1	1.6	0.2	N.E.
Henequén	77.6	4-8	13.1	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Ortiga	86	4	5.4	0.6	2.1	3.1	N.E.

Es importante mencionar que el algodón, así como las fibras mencionadas en la tabla 3 y 4, forman parte del grupo de los glúcidos o azúcares y esto es debido a que los elementos que los componen en específico la celulosa, hemicelulosa y lignina, están clasificados como glúcidos ya que sus biomoléculas orgánicas están formadas por carbono, hidrógeno y oxígeno (Valgañón, 2008)

Conocer estos datos permiten buscar un aglutinante que sea base azúcar, para lograr que los elementos combinen perfectamente, la compatibilidad es entre matriz y refuerzo es necesaria para que dentro de las características del nuevo material el tiempo de degradación dependa de las dos fases y no que empiece a degradarse una fase y gracias al efecto dominó afecte a la otra fase.

Ya que se ha seleccionado la fibra para el estudio viene el siguiente paso para continuar la investigación, como ya se mencionó antes el objetivo del proyecto es el desarrollo de un biocompuesto a base de desechos textiles, por lo tanto, se debe de buscar un textil que sea base algodón y cumpla con algunas características, que por su conformación (tipo de tejido) sea resistente y que además el desecho producido en la industria sea suficiente para la demanda de producción del nuevo biocompuesto.

3.1.1.2 Algodón

Antecedentes

El algodón es la fibra que más se produce en el mundo, en el 2014 su producción fue de 25.8 millones de toneladas a nivel mundial, Estados Unidos de América y Pakistán aumentaron su producción en 2014, pero la caída de los precios internacionales al comienzo de 2014 dio lugar a una menor producción en países del hemisferio sur, como Brasil y Australia. El consumo industrial mundial continuó su repunte en 2014. A excepción de Brasil, los principales consumidores industriales de algodón, a saber, China, India, Pakistán, Turquía, Bangladesh, Estados Unidos de América e Indonesia, aumentaron su consumo. (OCDE & FAO, 2015)

Un estimado del 60% de la fibra de algodón es usada en hilados e hilos en una amplia gama de ropa, más notoriamente en camisas, camisetas y pantalones vaqueros, pero también en abrigos, chaquetas, ropa interior y ropa de trabajo. Además, también se utiliza para hacer lencería, como paños de limpiar, colchas, persianas, y es la fibra más usada en sábanas, fundas de almohada, toallas y toallitas. El algodón no solo es usado para fabricar ropa, esta fibra es muy utilizada en el sector salud y de higiene para los que se producen, ropa incombustible, algodón en bruto, compresas, gasa para vendajes, toallas sanitarias y esponjas.

Es resistente al rasgado, al frote, tiene un gran poder absorbente, resistencia al calor, lavable (puede hervirse), no se apelmaza, no se apolilla, es fresco, flexible no acumula electricidad estática. Su tendencia a arrugarse y su poca resistencia a la estabilidad dimensional pueden mejorarse ampliamente mediante un tratamiento de acabado adecuado, así como igualmente su tendencia a arder rápidamente. (AITPA, 2010)

Se espera que la producción mundial crezca más lentamente que el consumo durante los primeros años del periodo de las perspectivas, lo que refleja los anticipados precios inferiores con grandes reservas mundiales que se acumularon

entre 2010 y 2015, que tendrán su influencia en el mercado. La relación de existencias-uso llegará a 46% en 2024.

El área mundial de algodón crecerá durante todo el periodo de proyección, pero no superará los picos observados en 2004 y 2011. Los rendimientos se elevarán en todo el mundo, pero el rendimiento promedio mundial crecerá lentamente a medida que la producción cambie de países con un rendimiento relativamente alto, como China, a países con rendimientos relativamente bajos en Asia meridional y África subsahariana (OCDE & FAO, 2015). En la tabla 5 se observan las proyecciones realizadas por la OCDE y FAO para la producción y consumo de algodón al 2024.

En la tabla se incluye también una proyección del crecimiento territorial derivado de los cultivos del algodón, el consumo, exportaciones e importaciones y las existencias al finalizar el año. La proyección se realizó basándose en el comportamiento de años anteriores, así como estadísticas realizadas por la OCDE y la FAO.

Los datos están dados en millones de toneladas, millones de hectáreas y los costos en dólares por tonelada y se refiere a millones por tonelada al año.

Tabla 5 Tabla 8 Proyecciones mundiales para el algodón (OCDE & FAO, 2015)

Producciones mundiales para el algodón												
Campana agrícola												
		Promedio 2012-14est	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
WORLD												
Producción	Mt	26.0	25.1	25.1	25.4	26.0	26.6	27.3	28.0	28.6	29.3	29.9
Superficie	Mha	33.2	32.7	32.6	32.7	33.0	33.3	33.8	34.2	34.6	35.0	35.3
Rendimiento	t/ha	0.71	0.77	0.77	0.78	0.79	0.80	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85
Consumo	Mt	23.8	25.7	26.3	26.8	27.3	27.7	28.2	28.7	29.2	29.8	30.4
Exportaciones	Mt	8.8	8.0	8.4	8.6	8.8	9.1	9.4	9.7	10.0	10.3	10.5
Existencias finales	Mt	19.2	20.6	19.6	18.4	17.3	16.3	15.6	15.1	14.7	14.4	14.0
Precio	USD/t	1 830.6	1 377.3	1 396.5	1 472.6	1 551.9	1 678.2	1 718.3	1 709.1	1 713.3	1 725.6	1 754.9
DEVELOPED COUNTRIES												
Producción	Mt	6.1	5.7	5.6	5.6	5.7	5.8	6.0	6.2	6.3	6.4	6.5
Consumo	Mt	1.7	1.8	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	2.0	2.0	2.0
Exportaciones	Mt	4.8	4.1	4.2	4.2	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8
Importaciones	Mt	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Existencias finales	Mt	1.7	1.9	1.8	1.7	1.7	1.6	1.7	1.7	1.8	1.8	1.8
DEVELOPING COUNTRIES												
Producción	Mt	20.0	19.5	19.6	19.9	20.3	20.8	21.3	21.9	22.3	22.8	23.3
Consumo	Mt	22.1	23.9	24.5	25.0	25.4	25.9	26.3	26.8	27.3	27.8	28.3
Exportaciones	Mt	4.0	3.9	4.3	4.4	4.6	4.8	5.0	5.2	5.4	5.6	5.8
Importaciones	Mt	8.4	7.7	8.1	8.3	8.5	8.8	9.1	9.4	9.7	10.0	10.3
Existencias finales	Mt	17.5	18.7	17.8	16.7	15.6	14.7	14.0	13.4	12.9	12.5	12.2
OECD												
Producción	Mt	5.4	5.1	5.1	5.1	5.3	5.3	5.5	5.6	5.7	5.9	6.0
Consumo	Mt	3.2	3.4	3.4	3.4	3.4	3.3	3.3	3.4	3.4	3.4	3.4
Exportaciones	Mt	3.8	3.3	3.5	3.5	3.5	3.6	3.6	3.7	3.8	4.0	4.1
Importaciones	Mt	1.6	1.7	1.6	1.6	1.6	1.6	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Existencias finales	Mt	1.8	2.2	2.1	1.9	1.9	1.9	1.9	2.0	2.0	2.1	2.1

Note: Promedio 2012-14est: Cifras para 2014 son estimadas.

Historia del algodón

El algodón es la planta textil de fibra suave más importante del mundo y su cultivo es de los más antiguos. En sus inicios la palabra algodón se refería a un tejido fino. El algodón fue el primer textil conocido en la India, los primeros escritos acerca del algodón son textos hindúes, himnos que datan de los años 1500 A.C. y algunos libros religiosos de los años 800 A.C.

Los especímenes más viejos de productos fabricados con algodón datan desde los años 3000 A.C. eran fragmentos de tejidos muy elaborados en la región norte de la costa peruana. A partir del año 800 D.C. se encuentran vestigios de fibras y tejidos en los países orientales. Los árabes fueron quienes propagaron el algodón en los países del mediterráneo.

En el siglo XV el comercio británico comenzó a desarrollarse y en el siglo XVII Inglaterra se convirtió en uno de los centros más importantes en la producción de algodón. En Estados Unidos el algodón no se introdujo sino hasta el siglo XVIII proveniente de las regiones meridionales de América.

En México la primera región en la que se cree que se cultivó el algodón fue en Veracruz, se tenía una producción en el siglo XVI de cerca de 116 millones de libras, cifra que disminuyó tras la llegada de los españoles. A partir de 1860 aumentó el interés por el cultivo en varias partes de México, siendo las zonas de cultivo al norte y cerca de los Estados Unidos (Sagarpa, 2011 citado por (CONACYT, SEGOB, & CIBIOGEM, s. f.)

Proceso productivo del algodón

Para generar un tejido a base de la fibra del algodón se debe de seguir un proceso, este proceso se divide en tres segmentos, hilatura, tejeduría y acabados, en cada segmento se realizan procesos específicos.

En la tabla 6 se encuentra la clasificación por segmento y la descripción de la actividad del proceso algodonero.

Tabla 6 Proceso algodonero tabla de elaboración propia tomada de (AITPA, 2010)

Segmento	Proceso	Descripción
Hilatura: Transforma las fibras textiles en hilados	Apertura	Abre los copos de fibras eliminando el polvo
	Cardado / peinado	Disgrega las fibras eliminando impurezas y obtiene un velo plegado en forma de cinta
	Preparación Hilatura	Paraleliza las fibras y regulariza las cintas y obtiene mecha Estirado y torcido de la mecha obteniendo el hilado en forma de husada
	Bobinado	Trasvasa el hilado de la husada a formato de bobina de mayor capacidad
Tejeduría: Produce los tejidos por medio de la inserción de hilos	Urdido	Dispone los hilos en un plegador constituyendo la urdimbre que alimentará el telar
	Encolado	Impregna la urdimbre con sustancias para mejorar la resistencia de los hilados
	Anudado	Anuda cada uno de los hilos de la nueva urdimbre con los de la anterior
	Remetido o pasado	Pasa los hilos de la urdimbre ordenadamente a través de los lizos y peine del telar
	Tisaje	Obtención del tejido por entrecruzado de los hilos longitudinales (urdimbre) con hilos insertados transversalmente (trama)
Acabados: conjunto de procedimientos tendentes a mejorar las condiciones físicas y de presentación de los tejidos	Tintura	Sirve para dar color a cualquier tipo de artículo textil
	Acabado	Consiste en mejorar las características técnicas del tejido (estabilidad dimensional y consistencia), de presencia (limpieza, tacto, etc.) y de apariencia.
	Aprestado	Acabado con productos químicos para mejorar las cualidades del tejido
	Estampado	Por medio del estampado se imprime un diseño (dibujo) sobre un tejido en crudo

Una vez finalizado el proceso de hilatura, con el algodón se pueden crear distintas telas, esto es por medio de ligamentos que se estructuran de diferentes maneras, estos ligamentos se conforman por una urdimbre y una trama y dependiendo del tipo de ligamento la tela adquiere resistencia, suavidad, y un dibujo o acabado distinto.

3.1.2 Tipos de ligamento

Como ya se mencionó existen diferentes tipos de ligamentos que dotan a los textiles de diferentes características como resistencia, suavidad y acabado, sin importar el tipo de tejido intervienen dos elementos una urdimbre hilo en sentido longitudinal y

una trama hilo en sentido transversal, estos elementos son dos hilos que pueden o no ser diferentes dependiendo del dibujo que se quiere lograr.

Las telas pueden fabricarse de dos formas: en telar o con tejido de punto, en el caso de la producción en telar existen cuatro tipos de ligamento, el simple o liso, el tafetán (ligamento cruzado), ligamento de sarga y el de satén o raso; se diferencian entre ellos por la textura y acabado superficial que adquieren una vez que son tejidos.

3.1.2.1 Ligamento simple o liso

En este tipo de ligamento cada uno de los hilos que lo conforman se entrelaza con todos los demás, es decir, no hay hilos “flotantes”, el acabado superficial posee una textura muy delicada y suave (Baugh, 2011). En el caso de las telas acanaladas (tejido no equilibrado) estas poseen una textura en relieve en la trama horizontal (figura 2.1 a)).

Algunos ejemplos de telas hechas con este tipo de ligamento son: en tejido simple equilibrado la tela de batista, bacarán, burlap, chalí, cambray, chifón, seda de China, crespón, tartalana, franela, franela de algodón, gasa, georgete, muselina, organza, voile, entre otras y en tejido acanalado encontramos telas como el crepé de China, Faya, otomán, Popelina, Shatung, entre otras.

Cuando se habla de tejido equilibrado y no equilibrado nos referimos a la construcción de las telas, un tejido equilibrado es aquel en el que la urdimbre y la trama se enlazan una a una, la trama pasa sobre y bajo cada urdimbre para estructurar la tela; un tejido no equilibrado es en el que no hay una relación balanceada entre la urdimbre y la trama en este la relación puede ser $1/2$, $2/1$ o más, esto hace que cambie el aspecto de la estructura ya que deja parte de los hilos “flotantes” término que se refiere a dejar hilos de urdimbre o trama sueltos.

3.1.2.2 Ligamento tafetán

También conocido como ligamento cruzado, este ligamento es muy similar al ligamento simple, la diferencia es la relación de entrecruzado entre los hilos de urdimbre y trama, ya que la relación es de $2/2$ en el caso del tejido equilibrado y de $1/2$ en el tejido no equilibrado (figura 2.1 b)).

Entre las telas con este tipo de ligamento podemos encontrar: con tejido equilibrado (2 trama x 2 urdimbre) lona, lona pesada, brin, arpillera, entre otras; con tejido no equilibrado (1 trama x 2 urdimbre) lona, lona pesada, brin, algodón Oxford, loneta, entre otras.

3.1.2.3 Ligamento de sarga

Este tipo de ligamento se caracteriza por su textura de líneas diagonales en la superficie, esta textura se logra intercalando dos o más hilos a intervalos regulares (Baugh, 2011) las relaciones de cruzado entre trama y urdimbre pueden ser 1/2, 1/3, 1/4 y depende del acabado final que se quiere lograr. Existen construcciones de asargadas equilibradas y no equilibradas, pero se las conoce a todas como tejidos asargados (figura 2.1 c)).

Gracias a su textura superficial en diagonal, las telas son más suaves y con más caída que las de tejido simple, tafetán o satén. Debido a los hilos intercalados en relación 1/2, 1/3 y 1/4 se considera que las sargas son el tejido más duradero, especialmente cuando se emplean hilos de algodón, cáñamo, lino, poliéster o naylon.

Algunos ejemplos de telas con este ligamento son: el cruzadillo, chino, dril, denim o vaquero (mezclilla), gabardina, espiguilla, pata de gallo, sarga, surá, entre otras

3.1.2.4 Ligamento satén o raso

Este ligamento se hace intercalando hilos flotantes aleatoriamente ya sea cada cuatro o más hilos (figura 2.1d)), se reconoce por su superficie brillante y lustrosa, sus tejidos tienden a ser rígidos, excepto cuando se emplean hilos finos y muy flexibles (Baugh, 2011). Algunos ejemplos de telas con este tipo de ligamento son: el satén de boda, el charmeuse, el satén o raso, entre otras.

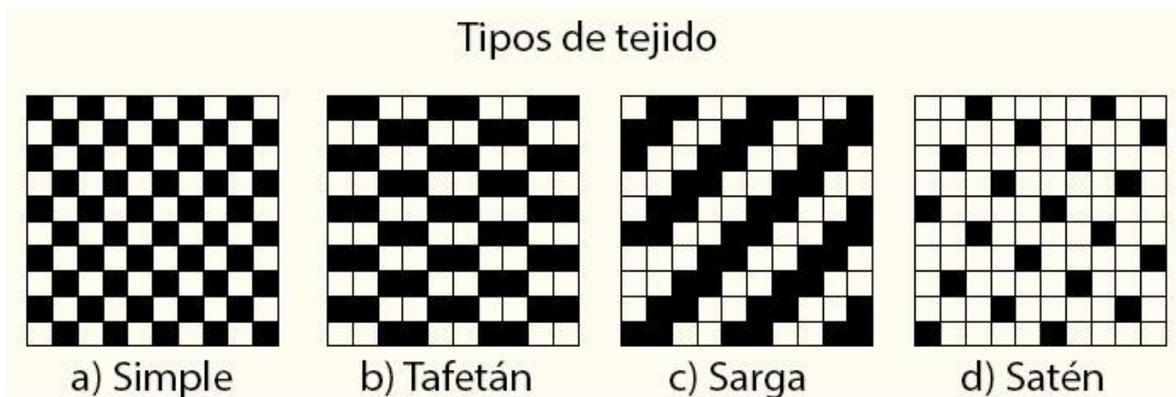


Figura 2.1 Tipos de tejido de textiles hechos en telar. Fuente: Creación propia

3.1.3 Tejidos compuestos por algodón

Dependiendo de los hilos y la forma en que están tejidos podemos obtener diversas telas, aunque se dice que están compuestas 100% por algodón a algunas de éstas se les agrega poliéster para aumentar su dureza, por lo que se pueden considerar a las telas como un material compuesto. A continuación, se mostrará un listado con las telas compuestas por algodón más usadas en la industria.

Gabardina:

La gabardina es una tela con textura de ligamento sarga con finas líneas en diagonal muy juntas. El tejido es tan cerrado que en algunas ocasiones puede ser impermeable. Las telas de gabardina poseen una gran resistencia a las arrugas (Baugh, 2011, p.90), esta tela se puede componer de distintas fibras, ya sea algodón con una mezcla de poliéster, lana de alta calidad, poliéster multifilamento texturizado o con mezcla de poliéster y rayón.

De acuerdo con Baugh algunas de sus características distintivas son:

- Fina textura en diagonal, debido a sus finos hilos algunas veces es difícil percibir la diagonal
- Tejido denso

- Buena caída para sastrería
- Resistente a las arrugas

Además de las características anteriores otros puntos a favor es su durabilidad, resistencia a la abrasión, la elegancia de su tejido, resistencia al agua (impermeabilidad), entre otras.

Denim/Vaquero/Mezclilla:

La tela de Mezclilla o denim está conformada por ligamento de sarga, su textura en diagonal puede ser hacia la derecha o hacia la izquierda (fig. 2.2). Aunque se inventó en Francia (Nimes), hoy se le ve como una tela estadounidense, en sus inicios el denim era utilizado para confeccionar ropa de trabajo, sin embargo, en la actualidad la amplia gama de acabados proporciona diferentes niveles de expresión que van más allá del estilo de ropa de trabajo.

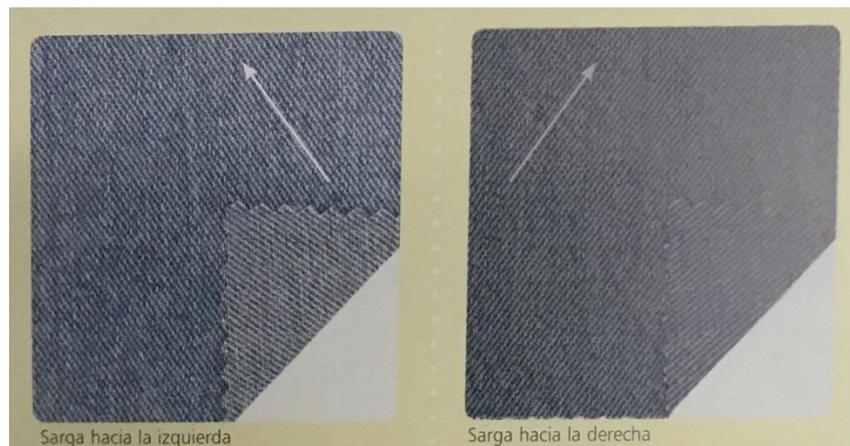


Figura 2.2 Ligamento de sarga diagonal a la izquierda y derecha (Baugh, 2011, p. 86)

Su composición es 100% algodón, aunque recientemente se hacen algunas mezclas de algodón y spandex, esto para que la tela no sea tan rígida (Baugh, 2011, p.86).

De acuerdo con Baugh algunas de sus características distintivas son:

- Los hilos de urdiembre siempre son color azul oscuro o índigo en la cara y blancos de trama en el revés. Nunca es de un solo color.

- Textura diagonal solo en la cara.
- La cara siempre es más oscura que el revés.
- Es muy rígido al tacto antes de los acabados.
- Es una tela muy resistente y duradera, sobre todo a la abrasión.
- Resistente a las arrugas.
- El tinte no se fija bien por lo que se destiñe fácilmente.

Calicó:

Esta tela tiene la característica de ser muy ligera, el calicó también es conocida como percal o tela de sábanas se compone de hilos de algodón con un cardado sencillo, esto le da una superficie muy regular, esta tela es algo velluda y rígida al tacto.

El calicó se usa comúnmente para ropa infantil, camisetas baratas o proyectos decorativos para el hogar, es de costo bajo y se le considera de baja calidad (Baugh, 2011, p. 57). Es de tejido liso y su composición es 100% algodón, algunas veces se mezcla con poliéster para bajar sus costos y mejorar su resistencia a las arrugas.

De acuerdo con Baugh algunas de sus características distintivas son:

- Tela muy ligera
- Ligeramente rígida al tacto
- Mantiene fácilmente la forma
- Suele encogerse al lavarse

Cuando se compone únicamente de algodón se arruga mucho

Selección del textil

Existen una gran variedad de textiles a base de algodón, en este documento solo se muestran unas cuantas, después de la investigación sólo se incluyen estas tres en el documento por las características que ofrece cada una, la selección del textil

para el proceso de experimentación es la mezclilla o denim, debido a sus características ya que es una tela muy resistente y duradera, sobre todo a la abrasión.

Consumo de Mezclilla en México

Los pantalones de mezclilla son la prenda más vendida en México, representan 30% de todo el mercado de ropa. Una prenda que cada año genera ventas en el país por 7,850 millones de dólares (mdd). Los mexicanos tienen en promedio 5 pantalones en sus armarios. México tiene un clúster de producción de pantalones de mezclilla en la Comarca Lagunera, donde se producen en promedio tres millones de prendas a la semana, según la Cámara Nacional de la Industria del Vestido. (Rodríguez, 2015)

México es uno de los principales productores de mezclilla en el mundo. Según datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), en 2011 se produjeron 9,471 millones de toneladas de ese textil en el país.

La Cámara Nacional de la Industria del Vestido (Canaive), señala que Durango, Puebla, Guanajuato y el Estado de México son los principales productores de mezclilla en la nación, industria que para el INEGI aumentó su producción en 5.33% durante el 2011, (Delgado, 2013). Sin embargo, la empresa Levi's considera que los estados estratégicos son Querétaro, Chihuahua, Coahuila (Torreón), Durango (Lerdo) y Aguascalientes.

3.1.3 Merma de la industria textil manufacturera

El Lic. Víctor Hugo Carrillo Arredondo, director comercial de la empresa INISA (empresa Aguascalentense dedicada a la maquila de pantalones de mezclilla) declaró que los tipos de merma que resulta en esta empresa, se clasifican de tres maneras, 1) Retazo grande, 2) Retazo chico y 3) basura y tienen las siguientes características:

- Retazo grande: Su tamaño es de 1m en adelante, la producción estimada es de 100 toneladas al mes
- Retazo chico: su tamaño es de 1cm a menos de 1m, la producción es de 150 toneladas al mes
- Basura: son los hilos producto del deshilachado de la tela

3.1.4 Otros datos sobre la Mezclilla

Se conoce de su uso por lo menos desde el siglo XVII, aunque se cree que se remonta al menos a la edad media europea. Es una gama de tejidos de hilos de algodón muy resistente, usada para velas de barcos y otros usos en los que se necesitaba cierta resistencia y durabilidad. Aunque se ha usado por varios siglos para confeccionar vestimenta para “trabajo duro”, tomó mayor auge a partir de la confección de los “pantalones vaqueros”, que se comenzaron a fabricar por un emigrante Bávaro de origen judío, para los trabajadores de las minas, extendiéndose su uso. En la actualidad esta tela es usada para confeccionar ropa tanto de trabajo, como de moda, ya que posee muy buena resistencia y durabilidad. (Enciclopedia de Clasificaciones, 2016)

La mezclilla es un tejido plano, normalmente asargado, donde el urdimbre es teñido en color azul (añil) el cual es tramado con hilo de algodón 100% natural. La mezcla de color entre urdimbre y trama, da origen a su nombre, mezclilla. En la actualidad también se puede teñir el urdimbre de diferentes colores como negro, gris, verde, arena, etc. dependiendo de las tendencias de la moda. Asimismo, la mezclilla es tejida en diferentes pesos que van desde la 6.5 oz/yd² hasta 14.75 oz/yd². La sarga juega un papel importante en la moda, por lo que hoy en día es normal tejer sargas 3/1, 2/1, 1/1, 2/2, tanto en derecha como en izquierda. (Andrade & Carreón, 2002)

3.1.4.1 Tipos de Mezclilla

Las prendas de Mezclilla han alcanzado niveles de demanda importantes y en la actualidad existen siete tipos diferentes (Grupo Denim, 2014), las cuales se mencionan a continuación:

Prima: Este tipo de mezclilla es fácil de identificar, pues es la que no ha sido lavada, se puede distinguir con un toque, la rigidez de la misma lo hace evidente, aunque esto va cambiando a medida que las prendas se lavan, pues comienza a hacerse más suave y a decolorarse con el tiempo.

Orgánica: Manufacturada por algodón que es 100% orgánico, con fibras no-tóxicas, es tratada de manera diferente y por esto las prendas construidas en este material suelen ser más costosas que los tipos comunes.

Ajustable: Este tipo de tela tiene la capacidad de ajustarse a todo tipo de cuerpos, dando una mayor comodidad al usarla y está compuesta por diferentes porcentajes de tejido expandible.

Bull: Conocida como mezclilla de toro se compone de tela de algodón cruzada y es suave al tocarla, la diferencia de ésta con la mezclilla tradicional es que la mezclilla bull es más pesada y su duración es mayor.

Seda: Esta mezclilla está compuesta por hilos finos compuestos de seda, lo cual permite una sensación más suave y durable de las prendas fabricadas con este material.

Anillo: Es una técnica donde se le utiliza maquinaria que hace que los tejidos giren para construir esta mezclilla, por lo cual se conoce como mezclilla de anillo.

Para este proyecto de experimentación la fase de refuerzo que forma parte del nuevo biocompuesto es la mezclilla la cual está compuesta por fibras de algodón, se elige esta tela ya que por sus características se sabe que es un textil muy resistente y además los pantalones de mezclilla son la prenda más vendida en México por lo que es un buen caso de estudio. Una vez seleccionada la fase reforzadora se debe encontrar una fase matriz que por sus características sea

compatible con la mezclilla, a continuación, se muestra la información recabada en el proceso de investigación.

3.2 Fase Matriz

Un material compuesto se conforma de varios elementos que se encuentran unidos por una sustancia adherente o matriz, a estas sustancias se les conoce como aglutinantes, por definición un aglutinante es aquella sustancia que aglutina (Real Academia Española, 2014), es decir que une o pega una cosa con otra de modo que resulte un cuerpo compacto (Real Academia Española, 2014).

La definición anterior es muy general, los aglutinantes se utilizan no solo en el campo de los materiales sino también en el campo de la medicina, para la adhesión de pinturas o incluso en la lengua.

En el caso de los tableros de madera aglomerada un aglutinante es una sustancia añadida durante la fabricación para conseguir la cohesión que confiere al tablero su forma y resistencia. El aglutinante, que procura la cohesión y adhiere las partículas entre sí, es el componente más caro de un tablero de madera aglomerada. (Departamento de Montes, 1957)

Existen 2 tipos de aglutinantes, los naturales que podemos encontrar en muchos elementos de la naturaleza y los sintéticos que son creados por el hombre, cada uno de estos tiene propiedades específicas que los hacen aptos para ser utilizados en la industria. Para fines de este proyecto sólo se tomarán en cuenta los aglutinantes naturales por el interés de generar un biocompuesto y se mencionan a grandes rasgos los aglutinantes sintéticos más utilizados

3.2.1 Aglutinantes sintéticos

Las resinas sintéticas de fraguado térmico (urea-formaldehído, fenol-formaldehído y melamino-formaldehído), constituyen la base de la mayor parte de los aglutinantes usados para los tableros de madera aglomerada. La resina de urea-formaldehído es la de aplicación más general; es también la más económica, presenta un color claro y es adecuada para tableros de aplicación interior. Las resinas fenólicas y de

melamino cuestan más, pero proporcionan una unión más resistente a una intensa exposición a la humedad y al calor y, por consiguiente, duran más.

Uno de los mayores inconvenientes del uso de este tipo de aglutinantes es la contaminación que producen en sus emanaciones y además los efectos cancerígenos que producen al cuerpo humano derivados de estas mismas emanaciones. Es por esto que existen diversas investigaciones en las que se pretende sustituir los aglutinantes sintéticos base formaldehído ya sea por alguno natural o uno que disminuyan los efectos secundarios con sus emanaciones.

3.2.2 Aglutinantes Naturales

Como ya se explicó, un aglutinante es una sustancia capaz de unir varios elementos, bajo este tenor es importante explicar cómo surgieron los primeros adhesivos, los cuales sirvieron de parte aguas para generar los que conocemos hoy en día. La historia de los adhesivos se remota a la era de la prehistoria, varios estudios revelan que nuestros antepasados utilizaban la sangre de los animales como aglutinante para la creación de pinturas, además usaban arcillas como material de unión para las construcciones, así como otros adhesivos hechos de la corteza de los árboles de abedul o de los huesos de los animales (Se han descubierto evidencias arqueológicas de que las proteínas extraídas por cocción prolongada y por la hidrólisis parcial de la piel, los huesos, pezuñas de caballo o los tendones fueron utilizados por el hombre de Neanderthal).

Si bien sus usos en esa época eran básicos más adelante gracias a diversas investigaciones se logró perfeccionar el uso de estos adhesivos de formas más industriales, incluso en la actualidad se siguen utilizando, aunque su obtención ha sufrido algunas transformaciones.

Se entiende por aglutinante natural aquella sustancia adhesiva que se obtiene de elementos de la naturaleza y que no son mezclados con elementos sintéticos. Existe una gran variedad de adhesivos naturales tales como colas, resinas, colágenos, ceras, almidones, glicéridos, gomas, caseína, etc. a continuación se mencionarán los adhesivos naturales factibles de utilizar en este proyecto de investigación.

Existen diversos aglutinantes naturales y se clasifican en 3 grupos de acuerdo con su composición, estos grupos son los glúcidos (azúcares), lípidos (grasas) y proteínas.

3.2.2.1 Glúcidos

Los glúcidos o azúcares son biomoléculas orgánicas formadas por carbono, hidrógeno y oxígeno y funcionan como una reserva energética en los seres vivos. Existen diferentes tipos de glúcidos, se clasifican según su complejidad tabla

Tabla 7 Clasificación de los glúcidos tomada de (Valgañón, 2008 p.16)

Glúcido	Composición	Ejemplos
Monosacáridos	Una molécula con 3 a 8 átomos de carbono con una proporción de un carbono por 2 hidrógenos y 1 oxígeno	Glucosa, galactosa, fructosa
Disacáridos	Dos monosacáridos	Sacarosa, lactosa
Polisacáridos	Muchos monosacáridos	Almidón, glucógeno, celulosa, lignina, quitina, hemicelulosa
Glucoconjugados	Monosacárido + parte no glucídica	Glucoproteínas, glucolípidos

La mayoría de los elementos provenientes de las plantas son glúcidos, ya que, al estar compuestos de celulosa, hemicelulosa y lignina (Glúcidos polisacáridos) se integran en este grupo.

3.2.2.2 Lípidos

Los lípidos o grasas son compuestos de carbono, hidrógeno, oxígeno y algún otro elemento ocasionalmente, como fósforo, nitrógeno y azufre. Su característica más importante es que no son solubles en agua, pero sí en alcohol, acetona, benceno, etc., es decir, en disolventes orgánicos. Sus funciones son muy variadas, unos son fuente de reserva energética, otros tienen función estructural y otros son hormonas, vitaminas, etc.

Se pueden clasificar de diversas formas, de acuerdo con su estructura molecular, están los ácidos grasos, lípidos saponificables, es decir, los que pueden producir jabones, y los lípidos insaponificables tabla 8.

Tabla 8 Clasificación de los lípidos tomada de (Valgañón, 2008 p.20)

Lípido	Tipos de lípidos	Ejemplos
Ácidos grasos	Saturados	Ácido palmítico, ácido esteárico
	Insaturados	Ácido oleico, ácido linoleico
Lípidos saponificables	Triglicéridos	Aceites
		Mantecas
		Sebos
	Ceras	Cera de abeja, lanolina, cera de carnauba
	Lípidos complejos o de membrana	Fosfolípidos, glucolípidos
Lípidos insaponificables	Terpenos	Caucho
	Esteroides	Colesterol

Proteínas

Las proteínas son biomoléculas compuestas por carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y suelen tener azufre en menor proporción. Son las biomoléculas más abundantes, a pesar de la enorme variedad de funciones que realizan, poseen un modelo estructural muy sencillo: son polímeros de unos monómeros llamados aminoácidos.

Las principales funciones de las proteínas son:

- Estructural: como la queratina del cabello y uñas y la fibroína de la seda.
- Enzimática: facilitando las distintas reacciones químicas del organismo.
- Transportadora: por ejemplo, la hemoglobina que transporta oxígeno por el torrente sanguíneo.
- Contráctil: la miosina de las células musculares.
- Defensa: anticuerpos.
- Hormonal: insulina y glucagón.
- Reserva: la ovoalbúmina de la clara de huevo o la caseína de la leche, que son fuente de aminoácidos para la nutrición y el desarrollo estructural.

Existen sustancias conocidas como filmógenas de origen orgánico, dentro de estas sustancias se pueden encontrar aglutinantes, adhesivos, consolidantes, barnices y aditivos. Dentro de este amplio grupo encontramos glúcidos, lípidos y proteínas y

sus usos son muy variados, pero principalmente se pueden emplear sobre todo de las siguientes maneras (tabla 9):

Tabla 9 Sustancias filmogénicas clasificadas según su función tomada de (Valgañón, 2008 p.67)

Funciones	Ejemplo	Grupo
Aglutinantes	Huevo	Proteína
	Cola animal	Proteína
	Aceites secantes	Lípido
	Cera	Proteína
	Caseína	Proteína
	Goma	Glúcido
Adhesivos	Colas animales	Proteína
	Ceras	Proteína
	Gomas	Glúcido
	Almidón	Glúcido
	Caseína y derivados	Proteína
Consolidantes	Resinas	Glúcido
	Gomas	Glúcido
	Colas animales y gelatinas	Proteína
	Almidón	Glúcido
Barnices	Resinas terpénicas	Glúcido
	Sustancias resinosas	Glúcido
	Gomorresina	Glúcido

Ya que entendimos que las sustancias se dividen en estos grandes grupos (glúcidos, lípidos y proteínas) y que cada uno de ellos puede ser utilizado para diferentes fines, la Dra. Lilia Narváez⁶ comentó que para generar el mejor material biocompuesto todos los componentes deben de ser compatibles entre sí, es decir que no se repelan (L. Narváez, comunicación personal, 10 de julio de 2017). Ya se había mencionado que el algodón pertenece al grupo de los glúcidos por la concentración de celulosa, hemicelulosa y lignina que posee, y si bien, los lípidos, proteínas y glúcidos son compatibles entre sí cada uno de estos posee un tiempo de degradación diferente, en otras palabras unos se echan a perder más rápido que otros; cuando esto sucede el elemento que se degrada más rápido crea un efecto de degradación en lo que este cerca de él, un ejemplo es una canasta de frutas, cuando una se descompone las que están a su alrededor comienzan a descomponerse también. Para evitar este fenómeno ambas partes del compuesto deben de poseer el mismo grado de descomposición, por lo que, tanto la fase

⁶ Profesor investigador TC en el Instituto de Metalurgia de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí

reforzadora (algodón) como la matriz (aglutinante) deben de pertenecer al mismo grupo en este caso al grupo de los glúcidos.

A continuación, se muestran los glúcidos factibles de usarse como aglutinantes más importantes de la industria.

3.2.2.3 Almidones

El almidón es un carbohidrato de reserva, sintetizado y almacenado como fuente de energía en plantas superiores; además después de la celulosa, es el segundo hidrato de carbono más abundante en la biosfera. Aunque el contenido de almidón varía según la fuente de obtención, la más importante son los cereales (maíz, arroz, trigo) con un contenido aproximado de 30-80%, en leguminosas (frijol, chícharo, haba) un 25-50% y en tubérculos (papa, tapioca, yuca) representa un 60-90% de la materia seca (Tovar, 2008).

De la producción mundial de almidón aproximadamente el 83% es obtenido del maíz; después la fuente más importante es el trigo con un 7%, papa con un 6% y tapioca con el 4%.

El almidón es el segundo polisacárido más abundante después de la celulosa. Las características físicas y químicas de este compuesto lo posicionan en los mejores lugares dentro de la industria alimenticia, textil, farmacéutica, papelera y de adhesivos. (Ramírez, 2006 citado por Hernández Ruiz & Vergara Narvaez, 2008).

Existe una gran variedad de almidones de los que destacan el almidón de trigo, el de maíz, el de patata, batata, yuca, arroz, sorgo y mijo, las propiedades particulares y químicas de cada almidón son la clave de su éxito. Una investigación de las bases de datos de Foods Science and Technology Abstracts y de Foods Intelligence reveló la enorme brecha que se abre entre la información existente de las propiedades físicas de los tres grandes del almidón -trigo, maíz y patata-, y la información de los almidones tropicales (Aristizábal, Sánchez, & Mejía-Lorío, 2007).

El maíz, el trigo y la patata siguen dominando los lucrativos mercados mundiales de almidones de las industrias de alimentos y no alimentarias. Estos modernos productos con valor agregado por lo general tienen aplicaciones muy específicas y

son, pues, mucho menos susceptibles a las fluctuaciones del mercado que pueden producir el caos en las economías en desarrollo fundadas en los productos básicos.

El almidón tiene una gran variedad de aplicaciones de valor agregado en las industrias no alimentarias, y cada aplicación exige características funciones muy particulares. Incluso en las aplicaciones no alimentarias más básicas del almidón, se utiliza mucho valor agregado: los almidones adhesivos se tratan con ácidos o con alcaloides, y se modifican con oxidantes, sales y alcoholes. Los almidones textiles se esterilizan, oxidan y someten a diversos agentes de interconexión cruzada (FAO, 1998).

El almidón se utiliza en una amplia variedad de productos no alimentarios. Por ejemplo:

- Adhesivos: Gomas de cola de fusión, estampillas, encuadernación, sobres, etiquetas.
- Explosivos: Adhesivo para la cabeza de los fósforos.
- Papel: Recubrimientos de papel, pañales desechables.
- Construcción: Aglutinante para tabiques de concreto, adhesivo para madera laminada.
- Metal: Adhesivo de metal poroso, aglutinantes para núcleos de fundición.
- Textiles: Acabado de telas, estampado.
- Cosméticos: Maquillajes, cremas faciales.
- Farmacéuticos: Revestimiento de cápsulas, agentes dispersantes.
- Minería: Separación de minerales por flotación y sedimentación.
- Otros: Películas de plásticos biodegradables, baterías secas.

Estructura química

Químicamente, el almidón es un polisacárido semicristalino compuesto por D-glucopiranosas unidas entre sí mediante enlaces glucosídicos. Está formado por dos polímeros de diferente estructura una fracción lineal llamada amilosa y una fracción ramificada llamada amilopectina, estas fracciones representan cerca del 98-99% del peso en seco. La proporción de estos dos polímeros varía según la

fuente botánica y su organización física dentro de la estructura granular, de esta forma adquieren propiedades fisicoquímicas y funcionales distintas.

Amilosa

Como se mencionó anteriormente el almidón está compuesto por amilosas y amilopectinas, las amilosas son polímeros lineales formados por D-Glucopiranosas unidas entre sí por enlaces $\alpha - (1 - 4)$ que representan un 99% de su estructura.

Por su contenido en amilosa, los almidones pueden ser clasificados en diferentes grupos, almidones cerosos (waxy) que tienen muy poca cantidad de amilosa, cerca de 1-2%, los normales que contienen entre 17-24% y los altos con 70% o más. Dependiendo de su concentración el almidón posee diferentes características, un ejemplo de almidón con alta concentración de amilosa es el almidón de yuca. Una característica de estos polímeros es su capacidad para gelatinizarse, a diferencia de las amilopectinas.

Amilopectina

A diferencia de la amilosa, la amilopectina es un polímero ramificado formado por cadenas lineales constituidas por 15-35 moléculas de glucosa unidas por enlaces $\alpha - D - (1 \rightarrow 4)$. Estas cadenas están unidas entre ellas por enlaces $\alpha - D - (1 \rightarrow 6)$ que forman los puntos de ramificación, está constituida por alrededor de 100 000 moléculas de glucosa (Aristizábal et al., 2007).

La naturaleza ramificada de la amilopectina reduce la movilidad de los polímeros e interfiere su tendencia a orientarse estrechamente para permitir niveles significantes de enlaces de hidrógeno, por lo tanto, las soluciones acuosas se caracterizan por su claridad y estabilidad como medida de resistencia a gelificarse durante su almacenamiento.

3.2.2.4 Almidón de Maíz

El almidón o fécula de maíz es un polisacárido que se obtiene de moler las diferentes variedades del maíz. Suele formar parte de los carbohidratos que se ingieren de manera habitual a través de los alimentos; en estado natural se presenta como

partículas complejas que, en presencia de agua, forman suspensiones de poca viscosidad. Su composición es principalmente de glucosa, aunque puede haber otros componentes presentes en menor cantidad.

En un polímero de dextrosa, está compuesto por cadenas de amilopectina y amilosa, con mayor concentración de esta última, por lo que tiende a gelatinizarse al momento de su cocción.

Los usos de este almidón son muy variados, en la industria alimentaria se usa como agente estabilizante, espesante, gelificador, en la industria cervecera es usado como fuente de carbono para procesos de fermentación.

Si bien es un compuesto grado alimenticio sus usos no solo abarcan la industria alimenticia, se usa en otras industrias, en la farmacéutica es usado como agente lubricante, aglutinante, diluyente, desintegrante y como sustancia inerte; en la fabricación de empaques de cartón se utiliza para preparar adhesivos; en el papel se emplea como aditivo para generar resistencia interna; en la industria minera se usa como agente depresor en los sistemas de flotación para separar minerales

En México este cultivo ocupa el primer lugar, además es de gran importancia económica ya que a nivel mundial ocupa el tercer lugar después del trigo y el arroz (Tovar, 2008). De la producción mundial de almidón aproximadamente el 83% es obtenido del maíz; después la fuente más importante es el trigo con un 7%, papa con un 6% y tapioca con el 4%. El almidón se utiliza en una amplia variedad de productos no alimentarios.

3.2.2.5 Almidón de Trigo

El almidón de trigo contiene un 30% de amilasa y 70% de amilopectina, al calentarse en exceso, los almidones absorben el agua y se hinchan, transformando su estructura parcialmente cristalina y con gránulos amorfos, en una estructura amorfa parcialmente disuelta (Hevia, s. f.)

El almidón de trigo es el adhesivo más usado en la conservación de papel. El tamaño de los gránulos oscila entre 25 a 50 micrones los más largos y entre 5 a 10

los más pequeños. La semilla de trigo además de almidón contiene un 12% de gluten.

3.2.2.6 Almidón de Papa

Las células del tubérculo de papa contienen granos de almidón (leuco plastos). Para extraerlo, las papas se machacan, liberando así los granos de almidón de las células destruidas. Entonces se lava, se deja decantar y se seca para obtener un polvo. El almidón de papa contiene típicamente grandes gránulos ovales a esféricos, cuyo tamaño oscila entre 5 y 100 μm .

El almidón de papa es muy refinado, conteniendo una cantidad mínima de proteína y grasa. Esto da al polvo un color claro blancuzco, teniendo el almidón cocido características típicas como el sabor neutral, buena claridad, alta fuerza cohesionadora, textura larga y una tendencia mínima a formar espuma o amarillear la solución.

El almidón de papa contiene aproximadamente 800 ppm de fosfato enlazado a él, lo que incrementa la viscosidad y da a la solución un carácter ligeramente aniónico, una baja temperatura de gelatinización (aproximadamente 60 °C) y un alto poder de hinchazón (Alarcón, Alvarez, Freire, Galarza, & Sánchez, 2014).

El uso principal del almidón de papa es en la industria alimentaria, pero también se usa en aplicaciones técnicas como el engrudo para paredes, terminación y apresto de telas, fabricación de papel couché y como adhesivo de bolsas de papel y cinta auto adherible.

3.2.2.7 Lignina

La lignina es una macromolécula fenólica y ramificada que forma parte de los materiales lignocelulósicos, caso de la madera, las plantas anuales o los residuos agrícolas. Como componente estructural de las plantas, la lignina es uno de los productos renovables más abundantes en la naturaleza (Hernández Manzano, 2013). En relación con su estructura y composición química, es el polímero natural más complejo. Generalmente, la lignina se considera como un polímero amorfo tridimensional, dispuesto al azar, compuesto por unidades fenil-propano, aunque

hay una porción que se puede considerar formada por estructuras bidimensionales ordenadas.

Cabe señalar que las ligninas de especies maderables distintas presentan diferencias entre sí, aun cuando su estructura y composición respondan siempre a un esqueleto de unidades de fenil-propano. Un problema importante del estudio de la lignina deriva de la práctica imposibilidad, hasta el momento, de extraerla de la madera sin alterar su estructura; incluso empleando el mismo procedimiento resulta difícil aislar muestras idénticas (Alonso Rubio, 2005).

Dentro del esquema general de las ligninas, basado en un polímero constituido por unidades fenilpropánicas, se han encontrado diferencias estructurales sustanciales entre las de maderas de coníferas (blandas) y las de especies frondosas (duras). Las primeras contienen preferentemente unidades con esqueleto de guayacilpropano, siendo el monómero básico el alcohol coniferílico. En cuanto a las segundas, contienen junto a las unidades de guayacilpropano otras de siringilpropano, en proporciones que varían desde 4:1 hasta 1:2, siendo en este caso los monómeros básicos los alcoholes coniferílico y sinapílico (Congreso Forestal Español, 2009). Otra diferencia destacable es la mayor proporción de unidades con esqueleto de p-hidroxifenilpropano en las ligninas de frondosas. En ambos casos, las cadenas propánicas contienen, además de grupos alcohol, funciones aldehído y cetona en menores proporciones.

La lignina se extrae del material lignocelulósico utilizando diferentes técnicas de pulpeo y, recientemente, en el proceso de producción de bioetanol, como un subproducto de bajo precio en grandes cantidades. Las ligninas técnicas se distinguen en dos categorías. Por un lado, ligninas comerciales con azufre en su contenido que incluyen los lignosulfonatos y la lignina kraft existentes desde ya hace mucho tiempo y cuya producción es la más elevada. Estas ligninas convencionales mayoritariamente usadas en la industria se obtienen de coníferas y frondosas como el eucalipto. La segunda categoría incluye ligninas sin azufre en su composición, obtenidas a través de diferentes procesos y la mayoría de ellas aún no están comercializadas: Lignina del proceso sosa, ligninas organosolv, ligninas del proceso

de explosión de vapor, lignina de hidrólisis de la biomasa, principalmente de la producción de bioetanol. En este último grupo, sólo la lignina del proceso sosa estaría disponible para su comercialización a medio plazo. La producción de bioetanol para reemplazar los carburantes de origen fósil, en un futuro próximo, hace de esta lignina un material potencialmente importante para diferentes usos. Estas ligninas proceden de madera y plantas anuales (Congreso Forestal Español, 2009).

La producción de lignina en el mundo llega a unos 50 millones de toneladas de sólido por año procedente de los diferentes procesos de pulpeo (Congreso Forestal Español, 2009). Esta producción no tiene en cuenta ligninas derivadas de otros procesos de aprovechamiento de la biomasa. Dentro de las ligninas comercializadas señaladas anteriormente, el lignosulfonato se encuentra en grandes cantidades a nivel comercial (hasta 1.000.000 de toneladas de sólido por año), y la kraft está disponible comercialmente en cantidades moderadas de hasta 100.000 toneladas de sólido al año. De hecho, la lignina Kraft se quema en hornos para producir energía necesaria para el proceso y recuperar parcialmente los reactivos que se reutilizarán posteriormente. Hoy en día los lignosulfonatos se consideran como la lignina disponible en mayor cantidad y la más comercializada en el mundo.

3.3 Conclusión capitular

Existen muchos textiles fabricados a partir de algodón, el más comercializado es la mezclilla o denim. De acuerdo con las estadísticas los pantalones de mezclilla son las prendas más vendidas en México.

No es común pensar en la mezclilla como un material para la producción de mobiliario, si bien, se ha utilizado como recubrimiento para tapizar muebles, no nos imaginamos que pueda servir como materia prima estructural del mismo, ya que por

sus características una tela no ofrece las capacidades de resistencia necesarias para este fin, o al menos eso es lo que pensamos.

Hace unos años el Dr. Alberto Rossa Sierra⁷ impartió una plática en la Universidad Autónoma de Aguascalientes, en dicha plática exponía un proyecto vinculado con una empresa productora de pantalones de mezclilla, la empresa le solicitaba una opción para aprovechar los residuos de tela que generaban. La propuesta del doctor fue un gancho creado de la mezclilla en pulpa, la pulpa era compactada en moldes y los ganchos eran utilizados para colgar los pantalones en los puntos de venta.

Su capacidad de resistencia es suficiente para soportar el peso del pantalón, a partir de ese momento me surgió la incertidumbre de la posibilidad de generar un material con los desechos pensando en agregar un aglutinante a la pulpa para obtener mayor resistencia.

Actualmente se usan los aglutinantes base formaldehído para la producción de materiales compuestos derivados de la madera, de acuerdo a la calidad requerida es la selección del aglutinante, si se requiere que el tablero tenga una alta resistencia a la humedad se usa el fenol – formaldehído, lo que hace que su costo de producción sea un poco más elevado, si se requiere que el tablero sea un poco más económico pero que tenga características fungicidas se usa el melamino-formaldehído, en cambio sí se requiere que sea económico se usa urea-formaldehído. En realidad, cualquiera que se utilice es altamente dañino, ya que existen estudios que demuestran que las emisiones provenientes de las resinas de formaldehído son nocivas para la salud, causando malestares y en el peor de los casos cáncer.

En cuanto a los aglutinantes naturales, existe una gran variedad de los mismos, en esta investigación solo se incluyeron los más comunes del grupo de los glúcidos buscando delimitar las posibilidades, tratando de obtener un material con mejores características físicas y químicas que los que ya existen en la actualidad, sin embargo, como se explicó en el primer capítulo es muy complicado prever las

⁷ Doctor en materiales, investigador SNI nivel I, Profesor investigador del Centro Universitario de Arte Arquitectura y Diseño de la Universidad de Guadalajara

características de un material sin las pruebas pertinentes, por lo que se tomarán en cuenta los almidones de maíz y de papa para realizar pruebas y de esta manera evaluar cuál es el la mejor opción de aglutinante para el nuevo biomaterial que se pretende generar.

CAPÍTULO IV MÉTODO DE EXPERIMENTACIÓN

Esta investigación se rige por el método de experimentación, por experimentación se entiende la aplicación de un conjunto de manipulaciones, procedimientos y operaciones de control, de tal forma que proporcionan información no ambigua sobre el fenómeno que se trata de estudiar.

La metodología por la cual se rige esta investigación comienza desde los antecedentes de investigación, primero se recabó información sobre materiales compuestos, para entender que son, que características tienen, como se clasifican y que elementos los componen, esta investigación conforma el capítulo I, derivado de esta investigación surge el capítulo II en el que se investigaron las fibras que conformarían el nuevo material, las características que tienen, su producción y presentaciones, así como la mejor forma de integrarla con el aglutinante, y este último es precisamente lo que conforma el capítulo III, en este capítulo se explicaron los tipos de aglutinantes que existen, sobre todo los que se usan en la industria para elaborar los tableros de densidad media, además se buscaron los aglutinantes naturales que pueden ser utilizados para conformar el nuevo material biocompuesto, se buscó que fueran compatibles y que sus usos en la industria demuestren que pueden ser utilizados. Los capítulos IV y V corresponden a la etapa de investigación, primeramente, se determinan las variables y seguido se diseña un protocolo de investigación; en el capítulo V se analizan los resultados obtenidos para determinar la factibilidad del material.

En un experimento se trata de demostrar que la manipulación de una Variable independiente, produce un cambio en la Variable dependiente. Una vez entendido de forma más clara en qué consiste un método de experimentación podemos estructurar correctamente un proceso de experimentación, antes se deben dejar bien establecidas las variables de la investigación.

Variables e indicadores

Las variables se extraen de los elementos principales de la investigación, estos elementos son la hipótesis, el objetivo y la pregunta de investigación, una vez que se toman estos tres elementos se analizan y se identifican las variables.

Las variables⁸ con sus indicadores⁹ son las siguientes:

1. Desechos de Mezclilla
 - a. Triturado
 - b. Deshilachado

2. Aglutinante natural
 - a. Almidón de papa
 - b. Almidón de maíz

3. Material biocompuesto
 - a. Compresión
 - b. Flexión
 - c. Fractura
 - d. Corte
 - e. Adhesión
 - f. Acabado

Ya que se obtuvieron las variables se debe de identificar cuáles son las dependientes y las independientes, así como la existencia de alguna variable extraña, en esta investigación si se identificaron variables extrañas. A continuación, se exponen las variables

Variables dependientes

Las variables dependientes de este proyecto son los resultados de las pruebas a las que se someterá el material, si bien se identificaron como indicadores en primera instancia me pude dar cuenta que en si el material biocompuesto como variable no

⁸ Las variables están listadas con números

⁹ Los indicadores están listados con letras

genera resultados, en cambio los resultados de las pruebas dependen de las concentraciones de las otras variables (aglutinante, mezclilla y agua) y se enlistan de la siguiente manera:

1. Compresión
2. Flexión
3. Fractura
4. Corte
5. Adhesión
6. Acabado

Variables independientes

Las variables independientes de este proyecto son las concentraciones de los materiales que se utilizarán para las pruebas experimentales, en la obtención de variables no se encuentra el agua, sin embargo, es un elemento fundamental para la creación del aglutinante que mantendrá unidas las fibras de mezclilla, se enlistan de la siguiente forma:

1. Aglutinante
2. Fibras de la mezclilla
3. Agua

Variables extrañas

A su vez se consideran también dos variables extrañas que podrían o no afectar el resultado final, estas variables pueden ser controladas, se enlistan de la siguiente manera:

1. Concentración de sales minerales que contiene el agua
 - a. El agua de la ciudad de Aguascalientes contiene cantidades relativamente altas de sales y flúor. (Veolia, 2008)
2. La temperatura ambiental

4.1 Procedimiento de experimentación

A efecto de organizar adecuadamente y sistematizar el proyecto de investigación, se consideran seis fases a desarrollar para obtención de datos experimentales necesarios a fin de alcanzar los objetivos planteados. Antes de realizar las fases se deben de preparar los aglutinantes, ya que la primera fase del protocolo corresponde a la obtención de datos propios de las características de los mismos. Para la preparación del aglutinante se siguió el siguiente proceso:

1. En una probeta de 1000 ml se agrega la cantidad de agua destilada necesaria para preparar 500ml de aglutinante, las cantidades varían dependiendo del porcentaje de agua de cada prueba del 10% al 30%
2. En una probeta de 100ml se agregan 50ml de vinagre blanco, sustancia que se utilizó como conservador, para que el aglutinante no de pudra.
3. En una probeta de 100ml se agregan 50ml de glicerina pura (humectante natural), esta sustancia se agrega para que la mezcla sea más ligera.
4. Se pesa el almidón en una balanza digital con una precisión de +/- .0001 gr. las cantidades varían dependiendo del porcentaje de aglutinante de cada prueba.
5. Se pesa en la balanza 30 gr. de bicarbonato de sodio, el bicarbonato de sodio se utilizó para absorber la humedad del aglutinante y también como fungicida.
6. Se toman los vasos precipitados de 500 ml vacíos y se pesan en la balanza digital.
7. Se agrega el agua y el almidón y se mezcla hasta disolver los grumos.
8. Se calientan las pruebas en una parrilla eléctrica oscilatoria a una temperatura constante de 200°C y un movimiento oscilatorio de 120Rpm el tiempo de cocción varía dependiendo del porcentaje de agua y almidón de la mezcla, las pruebas con porcentaje más elevado de agua requieren de mayor tiempo.

9. Cuando la mezcla se ha calentado a una temperatura aproximada de 38°C se agrega el bicarbonato de sodio y se mezcla hasta disolver los grumos.
10. Se agrega poco a poco el vinagre cuidando de que no se derrame la mezcla debido a la reacción que se obtiene al contacto con el bicarbonato.
11. Cuando la mezcla llega a una temperatura aproximada de 98 – 100°C (punto de ebullición del agua) esta obtiene una consistencia pastosa y se agrega la glicerina. Una vez integrada la glicerina se retira del calor y se sigue mezclando para evitar que se queme y aparezcan grumos.

Una vez preparadas las mezclas del aglutinante a diferentes concentraciones se procede a realizar cada una de las fases descritas a continuación, cabe destacar que se prepararon 12 muestras, 6 con almidón de maíz y 6 con almidón de papa de las cuales se prepararon 2 con una concentración de 10% de almidón y 90% de agua, 2 con una concentración 20%-80% y 2 con una concentración 30%-70%.

4.1.1 Fase 1

En la fase 1 se busca obtener la viscosidad, densidad y PH del aglutinante, esta fase consta de 5 pruebas duplicadas en las que los porcentajes de agua y aglutinante varían, para esta fase se siguieron los siguientes procedimientos:

4.1.1.1 Proceso para obtener la densidad

1. Previo a la preparación de las mezclas los vasos vacíos se pesan y se marcan.
2. Se pesan los vasos precipitados con las mezclas en la balanza electrónica.
3. Se miden los vasos precipitados para calcular el volumen de la mezcla tomando únicamente el diámetro del vaso y la altura a donde llega la mezcla

4. Se determina el volumen de la mezcla siguiendo la fórmula $V = \pi r^2 h$ en donde V es el valor que se desea obtener, π es el valor aproximado de la relación de la longitud del radio de una circunferencia y su radio, r^2 es el radio del vaso al cuadrado y h es la altura a la que se encuentra la mezcla.
5. Se determina la masa de la mezcla restando el peso del vaso con mezcla menos el peso del vaso vacío.
6. Finalmente se calcula la densidad de la mezcla con la siguiente fórmula $\rho = \frac{M}{V}$, en donde ρ es el valor que se desea obtener, M es la masa de la mezcla y V es el volumen de la mezcla.

Los datos obtenidos se vaciaron en un documento de Excel, en donde se realizaron los cálculos y fórmulas correspondientes para la obtención de la densidad de cada prueba, el diseño de las pruebas se hizo en duplicado, esto quiere decir que se hicieron dos mezclas de cada concentración para analizar la diferencia que se obtiene en cada muestra existiendo un límite de aceptación de error máximo de +/- .1gr. Se anexa el diseño de la tabla realizada en Excel para el cálculo de la densidad de los aglutinantes (tabla 10).

Tabla 10 Diseño de tabla para calcular la densidad del aglutinante. Fuente: Creación propia

Muestra	Porcentaje de aglutinante	Porcentaje de agua	Peso del vaso en gr.	Peso del vaso con la muestra	Masa del aglutinante en gr.	Diferencial < +/- .1	Volumen en cm ³	Densidad en gr/cm ³
1m								
2m								
3m								
4m								
5m								
6m								
1p								
2p								
3p								
4p								
5p								
6p								

4.1.1.2 Proceso para obtener la viscosidad

Para esta prueba se usó el viscosímetro Brookfield RVDV-II+P que es un viscosímetro de tipo rotacional que puede efectuar mediciones rápidas de viscosidad a diversas velocidades de rotación, permitiendo identificar con relativa facilidad el comportamiento de algunos fluidos no newtonianos. El proceso que se debe de seguir es el siguiente:

1. Se monta el viscosímetro en una superficie plana y se nivela, para nivelarlo se usa un nivelador integrado en el viscosímetro, cuando está completamente nivelado es cuando la burbuja del nivelador está en el centro.
2. Se enciende el viscosímetro. La pantalla indicará que se debe remover la aguja, en caso de que hubiera alguna montada, para realizar la calibración automática a cero. Presionar cualquier tecla y esperar a que termine la calibración automática.
3. Colocar aproximadamente 500 mL del aglutinante en un vaso de precipitado. Ubicar el vaso bajo el viscosímetro y bajarlo, asegurándose que la guarda entre de forma segura en el vaso.
4. Seleccionar la aguja que se empleará para el aglutinante. Cuando no se sabe qué aguja es la adecuada, es necesario un procedimiento a prueba y error.
5. Introducir cuidadosamente la aguja en el aglutinante, evitando atrapar burbujas de aire.
6. Presionar el botón SELECT SPINDLE y emplear las flechas para seleccionar el número de aguja que se montó.
7. Emplear las flechas y el botón SET SPEED para seleccionar la velocidad de rotación deseada.
8. Presionar el botón MOTOR ON/OFF para que el motor comience a funcionar. La pantalla mostrará el porcentaje de torque del motor. Si está por debajo del 10%, la medición no es confiable, por lo que se debe probar una velocidad mayor o una aguja de mayor diámetro. Si se excede del rango del motor, marca error, por lo que se debe usar una velocidad menor o una aguja de menor diámetro.

9. Registrar la viscosidad reportada por el viscosímetro, a diferentes velocidades de rotación (siempre que el porcentaje de torque del motor esté entre 10% y 90%).

De igual manera se elaboró una tabla para el vaciado de los datos obtenidos en las distintas mediciones realizadas, en el caso de esta prueba también se realizaron las muestras en duplicado para analizar la variación de datos entre una prueba y otra (tabla 11).

Tabla 11 Diseño de tabla para calcular la viscosidad del aglutinante. Fuente: Creación propia

Muestra	Aguja	Temperatura de la muestra	Porcentaje de torque	Viscosidad en Cp
1m				
2m				
3m				
4m				
5m				
6m				
1p				
2p				
3p				
4p				
5p				
6p				

4.1.1.3 Proceso para obtener el pH

Para la obtención del pH de cada uno de los aglutinantes se utilizó un potenciómetro medidor de pH de mesa modelo SM-3BW.

1. Se calibra el potenciómetro introduciendo el electrodo en soluciones básicas y ácidas, primero en una solución básica con un pH conocido en un rango entre 7 y 14, después se repite el procedimiento con una solución ácida con un pH conocido en un rango entre 1 y 6.99. Se sabe que esta calibrado cuando en la pantalla aparecen los valores conocidos.
2. Se introduce el electrodo en la mezcla y se toma el valor que aparece en la pantalla.

Una vez que se obtuvieron todos los valores de la fase 1 se vacían los datos en otra tabla, esta tabla servirá para la tener la ficha técnica de los dos tipos de aglutinantes a diferentes concentraciones, y esto ayudará a seleccionar la mejor opción. (Tabla 12)

Tabla 12 Diseño de tabla para vaciado de datos de fase 1. Fuente: Creación propia

Muestra	Densidad en gr/cm ³	Viscosidad en cP	pH
1m			
2m			
3m			
4m			
5m			
6m			
1p			
2p			
3p			
4p			
5p			
6p			

4.1.2 Fase 2

En esta fase se toma la mezclilla en su estado natural y se realizan dos pruebas para obtener dos agregados distintos, esto para analizar la influencia del tamaño de la fibra en la obtención del nuevo biocompuesto.

Prueba 1

Se descompone la mezclilla por medio de un proceso de rompimiento, este proceso consiste en desfibrar el material en una máquina llamada rompedora, se introduce la mezclilla y la máquina arroja el material desfibrado (maraña)

Prueba 2

Se descompone la mezclilla por medio de un proceso de trozado, este proceso consiste en trozar el material en una máquina llamada cizalla, se introduce la mezclilla y la máquina la troza en piezas más pequeñas

4.1.3 Fase 3

La fase 3 es la fase de experimentación, y consta de 4 pruebas, para estas pruebas se utiliza la mezcla de agua y aglutinante que mejores resultados obtuvo en la primera fase. Para la preparación de las mezclas que se introducirán en los moldes se siguió en siguiente procedimiento:

1. Se introduce el aglutinante preparado en la fase 1 dentro de un recipiente.
2. Se eliminan los grumos de la mezcla.
3. Se añade gradualmente la mezclilla mezclando vigorosamente para que toda la fibra quede impregnada con el aglutinante.
4. Se limpia el molde y se le aplica desmoldante.
5. Se agrega la mezcla.
6. Se ubica el molde en una prensa hidráulica y se le aplica presión.
7. Se abre el molde y se pone al aire libre para que la mezcla endurezca.

Una vez explicado el procedimiento se procede a la descripción de cada una de las pruebas que componen esta fase.

Prueba 1

Se mezcla la mezclilla desfibrada con un aglutinante a base de almidón de papa dentro de un molde rectangular con medidas de 600mm x 150mm x 15mm. Se crea una mezcla para cada una de las pruebas mecánicas.

Prueba 2

Se mezcla la mezclilla desfibrada con un aglutinante a base de almidón de maíz dentro de un molde rectangular con medidas de 600mm x 150mm x 15mm. Se crea una mezcla para cada una de las pruebas mecánicas.

Prueba 3

Se mezcla la mezclilla trozada con un aglutinante a base de almidón de papa dentro de un molde rectangular con medidas de 600mm x 150mm x 15mm. Se crea una mezcla para cada una de las pruebas mecánicas.

Prueba 4

Se mezcla la mezclilla trozada con un aglutinante a base de almidón de maíz y agua dentro de un molde rectangular con medidas de 600mm x 150mm x 15mm. Se crea una mezcla para cada una de las pruebas mecánicas.

4.1.4 Fase 4

La fase 4 corresponde al calibrado de las muestras, debido a que el proceso no es industrial las pruebas pueden estar descalibradas con respecto al material con el que se compararan (MDF), por lo que para el calibrado se sigue el siguiente procedimiento:

1. Se sacan las muestras del molde
2. Se mide el calibre del MDF con un vernier digital
3. Se fijan las muestras de las diferentes mezclas a una base y se calibran en un router CNC al mismo calibre del MDF
4. Se mide el calibre de las muestras con un vernier digital.

4.1.5 Fase 5

En la fase 5 se someterán tanto las muestras como el MDF a pruebas mecánicas, se realizarán 6 pruebas y se hará de la siguiente manera:

Prueba 1

Se someten todas las muestras junto con una muestra de MDF a pruebas de compresión, esto se hace en una máquina universal para aplicar carga. Se introduce la muestra y la máquina va ejerciendo presión y mide la fuerza máxima soportada antes de la deformación.

Prueba 2

Se someten todas las muestras junto con una muestra de MDF a pruebas de flexión, esto se hace en una máquina universal para aplicar carga. Se introduce la muestra

y la máquina va ejerciendo presión en dos extremos de la muestra y mide la flexión máxima soportada antes de sufrir deformación total.

Prueba 3

Se someten todas las muestras junto con una muestra de MDF a pruebas de fractura, esto se hace en una máquina universal para aplicar carga. Se introduce la muestra y la máquina va ejerciendo presión en dos extremos de la muestra y mide la presión máxima soportada antes de la fractura.

Prueba 4

Se someten todas las muestras junto con una muestra de MDF a pruebas de corte, esto se hace en una sierra de banco, se corta cada pieza y se observa el comportamiento de cada una.

Prueba 5

Se someten todas las muestras junto con una muestra de MDF a pruebas de adhesión, se les aplica un adhesivo y se unen entre sí, se ponen de forma vertical y se mide el tiempo que tardan en soltarse.

Prueba 6

Se someten todas las muestras junto con una muestra de MDF a pruebas de acabado, se introducen las muestras en una cabina de pintura, se les aplican capas de pintura y se mide la absorción de pintura y la cantidad de capas que requieren para cubrirse por completo.

4.1.6 Fase 6

La fase 6 es la fase final del experimento, en esta se toman los datos obtenidos, se analizan y se selecciona la muestra con mejores resultados. Para esta fase se realizó el diseño de la tabla.

Tabla 13 Resultados de Pruebas fisico-mecánicas. Fuente: Creación propia

Muestra	1	2	3	4	MDF
Prueba de compresión					
Prueba de flexión					
Prueba de fractura					
Prueba de corte					
Prueba de adhesión					
Prueba de acabado					

CAPÍTULO V ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo analizamos los resultados obtenidos en la etapa de experimentación utilizando las herramientas mencionadas en el capítulo anterior, como lo son tablas simples y tablas comparativas. Se seguirá el mismo orden del protocolo de experimentación, es decir se comienza con la fase 1, después la 2 y así sucesivamente, a su vez se utilizarán imágenes como apoyo para el análisis de los resultados y el proceso que se siguió para llegar a ellos.

5.1 Fase 1

En la fase 1 se realizaron una serie de experimentos y pruebas en laboratorio para determinar la densidad, viscosidad, pH y consistencia adecuada del aglutinante, el cual se compone por agua y aglutinantes naturales (almidones de maíz y papa) a diferentes porcentajes o concentraciones, para la captura de datos y el análisis de los mismos se utilizaron las siguientes tablas como herramientas de interpretación de datos, cada experimento se realizó en duplicado esto quiere decir que las muestras se hicieron dos veces y cada muestra se analizó individualmente. Dependiendo de la prueba existe un porcentaje de error permitido, dichos porcentajes de error se mencionaron en el capítulo anterior en el protocolo de experimentación, los resultados obtenidos serán comparados con la normativa vigente para determinar si se encuentran dentro de los parámetros permitidos, la normativa se incluye en los anexos de este documento.

Todas las pruebas de la fase 1 se realizaron dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma de Aguascalientes en el edificio 35 correspondiente a los laboratorios de bioquímica con el apoyo del ingeniero bioquímico Manuel Flores Silva profesor de tiempo completo del centro de ciencias básicas en la carrera de ingeniería bioquímica.

5.1.1 Densidad

Para obtener la densidad se siguió el procedimiento descrito en el capítulo IV en la Fase 1 del protocolo de experimentación, los datos que se obtuvieron fueron

capturados en una tabla y se hicieron los cálculos necesarios para determinar la densidad de cada muestra realizada a diferentes concentraciones de aglutinante y agua, todas ellas expuestas al calor a una temperatura constante de 200°C y un movimiento oscilatorio continuo de 120 Rpm los datos obtenidos, así como las unidades de medida respectivas para cada dato se muestran en la tabla 14

Tabla 14 Determinación de densidad. Fuente: Creación propia

Prueba	Porcentaje de aglutinante	Porcentaje de agua	Peso del vaso en gr.	Peso del vaso con la muestra	Masa del aglutinante en gr.	Volumen en cm ³	Densidad en gr/cm ³
1m	10	90	219.9	786	566.1	569.26	0.994
2m	10	90	217.4	795.7	578.3	563.45	1.026
3m	20	80	177.4	705.1	527.7	516.98	1.020
4m	20	80	223.6	761	537.4	528.6	1.016
5m	30	70	221.5	734.9	513.4	487.93	1.052
6m	30	70	223.8	740.5	516.7	493.75	1.046
1p	10	90	219.9	743.5	523.6	546.03	0.958
2p	10	90	217.4	738.5	521.1	534.41	0.975
3p	20	80	177.4	695.4	471.8	534.41	0.882
4p	20	80	239.6	703.9	520.3	511.17	0.908
5p	30	70	221.5	742.7	521.2	511.17	1.019
6p	30	70	223.8	750.2	526.4	505.36	1.041

Por definición la densidad es la cantidad de masa por unidad de volumen de una sustancia, esto quiere decir que entre más masa tenga un cuerpo en un volumen determinado su densidad es mayor, en el caso de los aglutinantes preparados, en los que el volumen era muy similar se pudo determinar que los aglutinantes preparados a base de almidón de maíz (1m – 6m) son más densos en relación con los preparado a base de almidón de papa (1p – 6p), y esto es debido a lo explicado en el capítulo III de este documento donde se menciona que el almidón de papa tiende a gelatinizar rápidamente a bajas temperaturas, es decir tiene la capacidad de absorber el agua más rápido que el almidón de maíz, esto significa que mantiene una mayor cantidad de agua y por lo tanto su volumen y peso son mayores.

Al terminar esta etapa se procedió a obtener la viscosidad, lo mencionado anteriormente acerca de la gelatinización del aglutinante fue un factor sumamente

importante al momento de realizar las pruebas de viscosidad, como se puede observar en los datos recopilados en la tabla 15.

5.1.2 Viscosidad

Para obtener la viscosidad se siguió el procedimiento descrito en el capítulo IV en la Fase 1 del protocolo de experimentación, los datos que se obtuvieron fueron capturados en la siguiente tabla. El tiempo transcurrido entre la preparación del aglutinante y la medición de la viscosidad fue de 2 horas, para que las muestras estuvieran lo más cerca posible de la temperatura ambiente.

Tabla 15 Determinación de viscosidad

Muestra	Aguja	Temperatura de la muestra en °C	Porcentaje de torque	Velocidad de torque en rpm	Viscosidad en Cp
1m	HB-7	42.7	11.7%	50	920
2m	HB-7	47	11.6%	50	925
3m	HB-7	45	11.4%	50	1023
4m	HB-7	48.8	12.5%	50	1027
5m	HB-7	49.8	10.8%	50	2103
6m	HB-7	48	15.3%	50	1987
1p	HB-7	39.4	20.1%	50	1620.1
2p	HB-7	39.3	28.6%	50	2272
3p	HB-7	39	42.9%	50	3400
4p	HB-7	38.7	75.1%	5	60160
5p	HB-7	38.5	44.1%	5	35440
6p	HB-7	37.8	I	I	I

I = Inconclusa

La viscosidad es la resistencia al movimiento, es decir la resistencia que opone un fluido hacia cierto movimiento, en este caso para obtener la viscosidad se utilizó un viscosímetro de brookfield, básicamente su funcionamiento consiste en una aguja con un movimiento rotatorio a una velocidad establecida y la viscosidad es la resistencia del fluido hacia este movimiento.

Para determinar la viscosidad de los aglutinantes se utilizó la aguja HB-7 la cual es la recomendada para sustancias muy viscosas. En los datos que se muestran en la tabla 15 se puede entender claramente lo que Alarcón et al, explican acerca de la gelatinización del almidón

Para entender los datos de una mejor manera se exponen de la siguiente manera separando por incisos los resultados de cada columna y de cada tipo de aglutinante, mencionando de primera instancia la interpretación de los datos del aglutinante a base de almidón de maíz seguidos por el generado a base de almidón de papa.

- a) Como ya se había expuesto anteriormente el tiempo transcurrido entre la preparación de las muestras y la realización de la prueba fue de 2 horas.
- b) Se puede observar en los datos que las muestras 1m a 6m (base almidón de maíz) la temperatura se mantiene alta, esto debido a que la mezcla mantiene mayor cantidad de agua y se mantiene caliente por mucho más tiempo. Las temperaturas de las muestras se mantienen entre los 42°C y 50°C.
- c) Al existir mayor cantidad de agua la mezcla se vuelve menos espesa, la aguja no recibe cantidades tan elevadas de resistencia a la torsión por lo que los porcentajes de torque son bajos, los valores oscilan entre el 11% y 15%.
- d) Para la velocidad de torque se inició la prueba con 150 revoluciones por minuto (rpm) velocidad que tuvo que reducirse debido a que los parámetros de porcentaje de torque estaban fuera de los aceptables (los porcentajes deben de mantenerse dentro del rango del 10% al 90%), la reducción fue gradual hasta que se mantuvo en las 50rpm en las muestras 1m a 3p.
- e) La viscosidad de las muestras 1m a 6m es mucho más baja en relación a las muestras 1p a 6p y nuevamente esto es debido a la cantidad de agua que aún se mantiene dentro de las muestras.
- f) En el caso de las muestras 1p a 6p la temperatura disminuye más rápido debido a la pérdida de humedad derivada del uso del almidón de papa. En la misma cantidad de tiempo las temperaturas de las mezclas no superan los 40°C y están más cerca de la temperatura ambiente.
- g) Menor cantidad de agua implica que las mezclas son más espesas por lo que la aguja recibe mayor resistencia y por lo tanto los porcentajes de torque son más elevados.
- h) La velocidad de torque tuvo que modificarse a partir de la muestra 4p, ya que los porcentajes salían por completo del rango establecido de igual manera

que al inicio de la prueba la reducción de la velocidad fue gradual hasta llegar a las 5rpm.

- i) La viscosidad es considerablemente mayor en relación con las muestras de almidón de maíz, siendo que las muestras 1m y 1p se realizaron con los mismos porcentajes de polvo y agua y la diferencia de viscosidad entre ambos es de casi el doble.
- j) Como se puede observar la muestra 6p esta inconclusa, los datos no pudieron medirse debido a que la mezcla estaba completamente gelatinizada, se intentó disminuir la velocidad, sin embargo, el instrumento marcaba un error en la pantalla, los porcentajes de torque no se lograron mantener dentro de los rangos establecidos y por lo tanto el único dato que se pudo obtener fue la temperatura de la muestra.

5.1.3 pH

El pH es el grado de acidez o basicidad de una solución, el rango va de 1 a 14 siendo 1 una solución ácida, 14 una solución básica y 7 una solución neutra. Explicado lo anterior en la tabla 16 se muestran los datos obtenidos del aglutinante, se incluyen la densidad, viscosidad y pH de cada una de las muestras realizadas para esta fase.

Tabla 16 Resultado de datos de la fase 1

	Densidad en gr/cm ³	Viscosidad en cP	pH
1m	0.994	920	3.30
2m	1.026	925	3.10
3m	1.020	1023	2.90
4m	1.016	1027	3.11
5m	1.052	2103	2.94
6m	1.046	1987	3.12
1p	0.958	1620.1	3.21
2p	0.975	2272	3.05
3p	0.882	3400	3.21
4p	0.908	60160	3.17
5p	1.019	35440	3.27
6p	1.041	I	3.28

I = Inconclusa

Para finalizar la fase 1 se muestran los datos del pH obtenidos por medio del potenciómetro, ya se había comentado que las soluciones con un pH en el rango de 0 a 6.99 son consideradas como ácidas y como se puede observar los pH obtenidos y que se muestran en la tabla 16 oscilan entre los 2.9 y 3.3, lo que quiere decir que los aglutinantes son ácidos debido a su composición.

Los elementos utilizados constan de agua destilada con un pH de 7, almidón con un pH de 4 a 7, glicerina con un pH de 5, vinagre blanco con un pH de 2.4 a 3.4 y bicarbonato de sodio con un pH de 8.7 a 9; y aunque la mayoría de los compuestos están cerca del neutro o son básicos el uso del vinagre que es una solución ácida modifica el pH de los demás lo que hace que el aglutinante sea un ácido, sin embargo, esto no afecta al nuevo material biocompuesto.

5.1.4 Conclusiones de la fase 1

Después de la primera fase de experimentación se obtienen las siguientes conclusiones:

- I. Por tratarse de un proceso manual es complicado obtener siempre la misma consistencia, si la sustancia no se agita todo el tiempo las partículas que se encuentran en el fondo del recipiente se queman y se forman grumos lo que ocasiona que el aglutinante quede pastoso.
- II. En el caso de este experimento el orden en el que se agregan los compuestos si afecta el producto, si se agregan todos juntos antes de someterse al calor la mezcla queda muy grumosa, incluso se forman algunos grumos similares a pequeñas piedras; al igual que si se agrega el vinagre antes del bicarbonato se forma una espuma densa que es muy difícil de integrar.
- III. El aglutinante a base de almidón de maíz no es el ideal para ser utilizado como fase integradora en el nuevo material, ya que al mantener la humedad tarda mucho en solidificar, se hizo una prueba en recipientes pequeños para analizar el comportamiento del compuesto combinado con la fibra, las muestras con este almidón aún expuestas al aire libre tardaron más de 1 semana en solidificar, la consistencia era incluso pegajosa al tacto.

- IV. A diferencia del punto anterior el aglutinante a base de almidón de papa solidificó al tacto después de 2 horas obteniendo una consistencia gelatinosa que al tocarse no dejaba residuos en la mano
- V. Después de todas las pruebas realizadas se obtiene la respuesta a la segunda pregunta específica “De los diferentes tipos de aglutinantes, ¿cuál es la mejor opción para obtener mejores propiedades físicas?” La respuesta es el aglutinante a base de almidón de papa debido a sus características de endurecimiento en un corto lapso de tiempo.

Después de estas conclusiones se establece que el aglutinante que se utilizará para la siguiente fase del protocolo de experimentación es el fabricado a base de almidón de papa.

5.2 Fase 2

En la fase 2 no se obtuvieron resultados, ya que únicamente consistió en desintegrar la mezclilla por medio de dos procesos, el desfibrado y el trozado. El desfibrado rompe completamente el tejido de la tela y vuelve a su estado de fibra; el trozado consiste en cortar la tela en trozos más pequeños.

Tanto el desfibrado como el trozado se hicieron en una empresa ubicada en un parque industrial de la ciudad de San Luis Potosí dedicada al reciclaje de telas para la producción de hilo utilizado en la fabricación de trapeadores. La empresa no tiene nombre ya que es un negocio familiar a cargo del señor Carlos Ramos.

5.3 Fase 3

La fase 3 consistió en la preparación del nuevo material para posteriormente someterse a pruebas de laboratorio, para su elaboración se tomó el aglutinante que de acuerdo a lo observado en la primera fase del protocolo de experimentación ofrece las mejores características para ser utilizado como fase integradora en el nuevo material biocompuesto; además del aglutinante se agrega la mezclilla tanto desfibrada como trozada, ya que se pretende analizar con que proceso de desintegración se obtienen las mejores características del material.

Las pruebas correspondientes a esta fase se realizaron en el edificio 34 en el laboratorio de geotecnia e hidráulica de la Universidad Autónoma de Aguascalientes con el apoyo del Ingeniero Miguel Ángel Soto Zamora profesor de tiempo completo de la carrera de ingeniería civil en el centro de ciencias del diseño y de la construcción.

Para la preparación de las muestras se siguió el siguiente proceso:

1. Se ajusta la fórmula del aglutinante para que sea suficiente para cubrir el volumen del molde, se usó un molde rectangular de placas de acero con bisagras para desmolde con medidas de 60cm x 15cm x 15cm para esta fase el grosor del material debe de ser de 12mm, sin embargo, se debe dejar margen por la reducción natural al momento del secado, por lo que se preparó material para que se cubriera un volumen de 1800cm³ Aprox.
2. Se vacía el aglutinante en un recipiente en donde se deshacen los grumos que pueda llegar a tener el aglutinante. Figura 5.2
3. Se agrega poco a poco la mezclilla (Figura 5.3) y se mezcla hasta lograr que todas las fibras de la tela están completamente impregnadas con el aglutinante, de otra forma pueden quedar burbujas internas. Para el volumen de material que se preparó se utilizaron 150gr de mezclilla (Figura 5.4) pesadas en la báscula digital
4. Se le aplica desmoldante al molde y a la tapa.
5. Se introduce la mezcla del aglutinante y la fibra dentro del molde y se distribuye para que no quede disparejo. (Figura 5.5)
6. Se pone la tapa que servirá para hacer presión al momento de introducir el molde en la prensa.
7. Se acomoda el molde en la prensa hidráulica (Figura 5.6) y se comienza a hacer presión, el material se sometió a una presión constante de 50psi o 30kg/cm³ durante 60 minutos. (Figura 5.7)
8. Se abre el molde y se saca al aire libre para que la muestra seque completamente. (Figura 5.8)

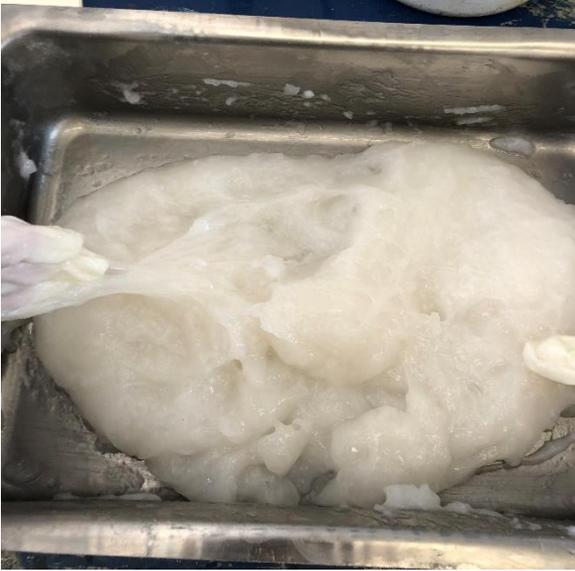


Figura 5.2 Aglutinante



Figura 5.3 Aglutinante con mezcilla



Figura 5.4 Mezcilla desfibrada



Figura 5.5 Mezcla dentro del molde



Figura 5.6 Molde en la prensa



Figura 5.7 Manómetro medidor de presión



Figura 5.8 Molde abierto al aire libre

5.1.5 Conclusiones de la fase 3

Con este procedimiento se realizaron cuatro muestras, dos con la mezclilla desfibrada y dos con mezclilla trozada, todas con las mismas concentraciones de aglutinante, presión y tiempo dentro de la prensa, de estas muestras surgen las siguientes conclusiones:

- I. Las muestras con la mezclilla trozada generan huecos de aire, lo que podría ocasionar que el material pueda tener menor resistencia.
- II. El material al momento de salir del molde gelatiniza al tacto, es decir no se siente pegajoso ni se hunde con facilidad
- III. Al siguiente día de someterse el material al sol y aire libre seca superficialmente, sin embargo, mantiene mucha humedad en el centro. Al cabo de una semana las orillas están secas y rígidas pero el centro aún se mantiene blando.
- IV. Las muestras se sometieron al calor dentro de un horno convencional a 120°C durante una hora. No se logró endurecer el material, se mantiene blando en el centro.
- V. Las muestras no están en condiciones de someterse a las pruebas de tensión, flexión y fractura.
- VI. Se comprobó que el aglutinante funciona y el material puede llegar a igualar o superar las características del MDF, sin embargo, las muestras deben de realizarse en una prensa en caliente, esta prensa aplica presión y calor simultáneamente al molde lo que permite eliminar toda la humedad sin necesidad de sacar las muestras al aire libre. Desafortunadamente la Universidad Autónoma de Aguascalientes no cuenta con el equipo requerido.
- VII. Debido a que el material no puede someterse a las pruebas de la siguiente fase se espera que esta investigación pueda ser retomada esperando conseguir los equipos necesarios para realizar más pruebas, variando temperaturas y presiones hasta lograr que el material obtenga la calidad necesaria y así poder someterlo a los estudios necesarios que marca la normativa.

Conclusiones generales

Para llevar a cabo esta investigación se enfocó en el uso de un solo textil para formar la fase reforzadora del material compuesto, el textil que se utilizó fue la mezclilla; sin embargo, después del proceso de experimentación se llegó a la conclusión de que se puede utilizar cualquier tipo de textil.

Solo que en caso de que el textil seleccionado sea sintético, el material o compuesto no se catalogaría como un biomaterial, ya que como se explicó en el capítulo I para que un material sea considerado como biocompuesto todos sus componentes deben ser naturales.

Cabe mencionar que toda investigación se basa en teorías e información de otros autores, esto para dar sustento teórico y fidedigno a la misma, así mismo esta información obtenida puede enriquecerse con nuevos aportes ya sea por información obtenida en otras fuentes sobre el mismo tema o por interpretaciones del autor de la investigación.

Así, en este sentido la investigación no se convierte en una recopilación de datos sobre el mismo tema sino en un documento estructurado a base de teorías ya existentes enriquecidas con información nueva o contradicciones propias del autor.

Dentro de esta investigación se consideraron diversos autores que en la teoría explican los detalles de los elementos que conforman un material, sin embargo, después del proceso de investigación se pueden ampliar estas aportaciones y definiciones.

En el capítulo I se mencionaron las clasificaciones de los materiales reforzados por fibras, sin embargo, solo se especifican dos clasificaciones: continuos y discontinuos, no obstante, el material obtenido en esta investigación no entra en esta clasificación, por lo que se puede incluir una nueva clasificación dentro de los materiales con fibra continua y se podría denominar continua orientada al azar, además de que se combinan fibras cortas con fibras largas.

Para la realización de este proyecto se incursionó en áreas que no tienen una relación tan cercana con la formación profesional de la autora, áreas como la física y la química, situación que permitió:

- a) Aprender sobre cadenas de estructuras.
- b) Conocer sobre una cantidad importante de elementos en la naturaleza que pueden fungir como adhesivos, pero cada uno con un propósito diferente.
- c) En el caso de aglutinantes naturales cuyas estructuras son muy similares no siempre se les puede dar el mismo uso, por ejemplo, los almidones utilizados tienen cadenas similares, pero reacciones muy distintas al momento de someterse al calor.

El componente del nuevo biocompuesto obtenido en esta investigación, que requirió de mayor tiempo tanto en investigación como en experimentación fue el aglutinante, al ser un elemento con el que no se había tenido contacto previo por parte de la autora, se requirió una mayor cantidad de pruebas para lograr obtener la mejor combinación entre el almidón (polvo) y el agua para que la consistencia, resistencia y durabilidad fueran las óptimas para el resultado esperado.

Por otra parte, también se buscó la manera de prevenir el deterioro del material que puede ser causado por la humedad y se distingue por la aparición de moho, por esto con el apoyo de ingenieros bioquímicos de la Universidad Autónoma de Aguascalientes se encontró una solución natural adecuada para evitar estos fenómenos, dicha solución consistió en agregar conservadores naturales como el vinagre y el bicarbonato de sodio a la fórmula.

En cuanto a la selección de la fibra que se utilizó como fase reforzadora, se consideraron los datos extraídos de la industria textil para determinar el textil con más uso y del cual se obtiene una cantidad de merma considerable. Por las cantidades de merma en esta industria se optó por utilizar la mezclilla, sin embargo, después de realizar algunas pruebas, se dedujo que se puede utilizar cualquier tipo de textil, siempre y cuando pueda desfibrarse.

Otra deducción importante derivada de la experimentación en este proyecto es que el resultado óptimo solo puede obtenerse a partir de varios ensayos y para lograr que las muestras estén en condiciones adecuadas para continuar con las pruebas físico mecánicas, se requiere de otro tipo de maquinaria especializada, en la que se pueda extraer la humedad al mismo tiempo que se ejerce presión sobre la muestra.

Para esta investigación no se pudo contar con la maquinaria necesaria, por lo que la última fase del proceso de experimentación quedó fuera del alcance del estudio por el momento, lo que deja la puerta abierta para continuar con la investigación más adelante.

En relación a las pruebas de las propiedades del material que deben de compararse con el MDF deben de realizarse bajo las mismas condiciones físicas que el nuevo biocompuesto, debido a que existen factores como la calibración de la máquina en donde se realizan dichas pruebas, el tamaño de la muestra, condiciones climáticas, etc. que pueden afectar el resultado y veracidad de la comparación. Este apartado de pruebas finales quedará pendiente hasta que las muestras del biocompuesto se encuentren en condiciones adecuadas para realizar el estudio.

Al igual que en muchos proyectos de investigación surgieron diversas limitaciones para poder concluir, sobre todo en la parte experimental, pero que pueden considerarse áreas de oportunidad para mejorar los resultados finales. Algunos de estos problemas fueron:

- a) La falta del equipo necesario para concretar las muestras; inicialmente se había considerado necesario el uso de una prensa mecánica para ejercer presión directa sobre la mezcla ya preparada y así obtener una calibración homogénea. Además, que se pudo detectar a partir de una aplicación de calor (radiación solar dentro de la cajuela de un automóvil) el material endureció de mejor forma que al exponerlo a la luz solar directa. Dicho hallazgo llevó a la deducción de que es necesaria la presión de la prensa y la aplicación de calor simultánea, debido a que se debe de extraer toda la humedad del aglutinante para que al momento de sacarse del molde no se

deforme y quede completamente rígida. En estas condiciones se puede establecer que para lograr la rigidez necesaria del nuevo material se puede hacer uso de una prensa de platos calientes misma que es utilizada para fabricar tableros laminados derivados de la madera.

- b) En relación al tamaño de la muestra; no se cuenta con parámetros que ayuden a determinar si el tamaño de la muestra es representativo para ser considerada como viable al momento de realizar las pruebas físico-mecánicas del material.
- c) Finalmente, respecto al tiempo; se considera que es necesario más tiempo para el proceso de experimentación, para poder conseguir la maquinaria necesaria y realizar una mayor cantidad de muestras con diferentes variaciones en, ya sea proporciones, temperaturas y presión.

Avances positivos

Es importante mencionar que se lograron avances favorables en esta investigación aun cuando existieron algunas limitaciones que frenaron la obtención del resultado óptimo. Dichos avances fueron:

- 1) En el Aglutinante (fase matriz):
 - a) En este componente se considera que se logró el mayor avance para la investigación ya que con la fórmula obtenida, se puede formar un adhesivo que puede ser útil para otro tipo de aplicaciones en la industria como uso escolar, en la industria del papel y en la fabricación de nuevos materiales.
 - b) Los materiales utilizados son completamente naturales, de bajo costo y fácil obtención, además su preparación no requiere de maquinaria especializada.

Durante el proceso de experimentación se ajustó la fórmula tanto en cantidades como en compuestos, en un principio no se había contemplado el uso de un conservador. Sin embargo, después de que se realizó la primera prueba al cabo de tres semanas se detectó moho dentro de las muestras lo que llevó a investigar sobre conservadores naturales, al ajustar la fórmula se erradicó este problema, se siguieron haciendo ajustes hasta que se logró obtener un aglutinante con características y consistencia adecuadas para su uso.

2) Fibra (fase reforzadora):

Al igual que en el proceso para obtener el aglutinante, la proporción de las fibras se ajustó conforme se llevó a cabo el proceso de experimentación. Se pudo observar que la mezclilla trozada al integrarse al aglutinante genera una cantidad importante de burbujas, situación que hace más complicada la integración plena del textil con el adhesivo por lo que se tuvo que hacer una combinación de mezclilla trozada con desfibrada con la intención de llegar a un mejor resultado con menos burbujas de aire. También se hicieron pruebas en donde se utilizó únicamente el textil desfibrado, en este caso el resultado tenía mejor calidad visual.

El resultado de usar ambos textiles (trozado y desfibrado) dependió completamente de la presión aplicada al molde que contenía el material dentro de la prensa, y como ya se mencionó, este proceso aún es factible de mejora en la medida que se hagan más pruebas.

La deducción más importante del proyecto es que en las condiciones actuales el material resultante se puede utilizar como objeto decorativo o como aislante. Situación que se considera como un aporte importante del proyecto.

Por último, es fundamental retomar la hipótesis y objetivos establecidos al inicio de esta investigación esto con la finalidad de establecer hasta donde se logró cumplir con los resultados obtenidos hasta el momento y de igual manera establecer el punto de partida para futuras investigaciones, así mismo se determinan posibles líneas de investigación.

Con respecto a la hipótesis se puede afirmar que se ha cumplido de forma parcial, ya que el resultado obtenido si es un nuevo material biocompuesto. Solo que aún no se han podido realizar las pruebas físico-mecánicas finales del mismo. Aquí queda abierta una posible línea de investigación que puede dar continuidad al proyecto, solo es cuestión de conseguir ya sea la maquinaria necesaria o diversificando la investigación para obtener una solución que logre extraer completamente la humedad del material sin necesidad de maquinaria especializada.

En cuanto a los objetivos, específicamente del objetivo general, se puede decir que se cumple la primera parte del mismo ya que como se mencionó anteriormente si se logró desarrollar un material biocompuesto que al momento puede ser utilizado, sin embargo, aún no se puede establecer si puede emplearse para la producción de mobiliario.

De los objetivos específicos se puede destacar que se cumplen los dos primeros ya que aún sin las pruebas físico-mecánicas se puede asentar que:

- 1) La mezclilla trozada crea demasiados vacíos internos (burbujas) que debilitarían el material y causarían fracturas al usarlo como elemento estructural. Por lo que se establece que el proceso de desintegración óptimo para la generación de este biocompuesto es el desfibrado.
- 2) Las pruebas realizadas a los aglutinantes mostraron que:
 - a. El aglutinante a base de almidón de maíz tarda más tiempo en endurecer con respecto al que tiene como base el almidón de papa.
 - b. El aglutinante a base de almidón de maíz retiene mayor humedad en relación al de base de almidón de papa
 - c. El aglutinante a base de almidón de papa gelatiniza en una menor cantidad de tiempo y endurece casi tres veces más rápido en relación con el de base de almidón de maíz.

A partir de lo anterior se puede determinar que el aglutinante óptimo es el creado con la combinación de almidón de papa, agua, bicarbonato, vinagre y glicerina.

Como última conclusión es necesario destacar que los logros obtenidos son un avance importante para los que colaboran en el ámbito de los nuevos materiales, ya que se ha logrado una propuesta que permite reutilizar los residuos de una de las industrias más grandes del mundo y también se logra que los elementos utilizados sean de fácil reinsertión al medio ambiente.

Se logró desarrollar un material con materia prima que no está destinada para este fin, con una estética particular que puede considerarse suigeneris y bastante agradable a la vista.

Y lo más importante, esta investigación permite establecer algunas bases metodológicas que pueden ser utilizadas para crear nuevos materiales que sean amigables con el medio ambiente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AITPA. (2010). La industria textil. Recuperado 24 de noviembre de 2016, a partir de <http://www.aitpa.es/algodon.html>
- Alarcón, A., Alvarez, S., Freire, J., Galarza, F., & Sánchez, C. (2014). *“ELABORACIÓN DE PLÁSTICO BIODEGRADABLE UTILIZANDO FÉCULA DE PAPA”*. Riobamba, Ecuador: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.
- Alonso Rubio, M. V. (2005). *Formulación y curado de resinas fenol-formaldehído tipo «resol» con sustitución parcial del fenol por lignosulfonatos modificados: memoria para optar al grado de doctor*. [Universidad Complutense], Servicio de Publicaciones, Madrid.
- Andrade, J., & Carreón, R. (2002, mayo). *Proyecto de inversión para la instalación de una fabrica de pantalones de mezclilla*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Aristizábal, J., Sánchez, T., & Mejía-Lorío, D. J. (2007). *Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Baugh, G. (2011). *Manual de tejidos para diseñadores de moda: guía de las propiedades y características de las telas y de su potencial para el diseño de moda*. Barcelona: Parramón.
- Beylerian, G. M., Dent, A., & Quinn, B. (2008). *Ultramateriales: formas en que la innovación en los materiales cambia el mundo*. Barcelona: Blume.
- CONACYT, SEGOB, & CIBIOGEM. (s. f.). *Algodón*. Recuperado a partir de <http://www.conacyt.mx/cibiogem/index.php/algodon>
- Congreso Forestal Español. (2009). *5° Congreso forestal Español*. Avila: Sociedad Española de Ciencias Forestales.
- Delgado, R. (2013, marzo 15). México se suma a moda verde de la mano de Levi's [Periódico digital]. Recuperado 9 de noviembre de 2016, a partir de <http://eleconomista.com.mx/industrias/2013/03/15/mexico-se-suma-moda-verde-mano-levi-s>
- Departamento de Montes. (1957). *Unasylya - Vol. 11, No. 4 - Productos forestales*. Recuperado 26 de mayo de 2017, a partir de <http://www.fao.org/docrep/x5385s/x5385s06.htm>
- Enciclopedia de Clasificaciones. (2016). Tipos de telas. Recuperado 25 de noviembre de 2016, a partir de <http://www.tiposde.org/general/680-telas/>

- FAO. (1998, septiembre). Los almidones tropicales no llegan al mercado. *Enfoques*.
- FAO. (2005). Tendencias y perspectivas del sector forestal en América Latina y el Caribe. Recuperado 9 de noviembre de 2016, a partir de <http://www.fao.org/docrep/009/a0470s/a0470s-04.htm>
- FAO. (2009). Año Internacional de las Fibras Naturales. Recuperado 7 de noviembre de 2016, a partir de <http://www.naturalfibras2009.org/es/fibras/algodon.html>
- Fernández, J., Arias, A., & Gorriño, J. (2002). *ECODISEÑO: INTRODUCCIÓN DE CRITERIOS AMBIENTALES EN EL DISEÑO INDUSTRIAL*. Santander, España.
- Foundation Ellen MacArthur. (s. f.). Economía circular. Recuperado a partir de http://economiacircular.org/wp/?page_id=62
- Grupo Denim. (2014, mayo 31). Mezclilla tipos y su clasificación. Recuperado 16 de febrero de 2018, a partir de <http://www.grupodenim.com/blogs/mezclilla-tipos-y-su-clasificaci%C3%B3n>
- Gurunathan, T., Mohanty, S., & Nayak, S. (2015). *A review of the recent developments in biocomposites based on natural fibres and their application perspectives*.
- Hernández Manzano, C. D. (2013). *El MDF como material escultórico: estudio analítico, técnico, estructural y comparativo del conglomerado de fibras de densidad media*. Editorial de la Universidad de Granada, Granada.
- Hernández Ruiz, M., & Vergara Narvaez, A. (2008, noviembre). *ELABORACIÓN Y EVALUACIÓN DE UN ADHESIVO A PARTIR DEL ALMIDON DE YUCA NATIVO, (Manihot sculenta crantz), VARIEDAD M-TAI, UTILIZANDO HIDROXIDO DE SODIO COMO AGENTE HIDROLIZANTE*. Universidad de Sucre, Sincelejo, Sucre.
- Hevia, F. (s. f.). Componentes químicos y algunas propiedades físicas del grano de trigo y su relación con la funcionalidad de las harinas.
- INE. (2000). La industria en México y la generación de residuos. Recuperado a partir de <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/10031/Capitulo1.pdf>
- ISO. (2004). Norma internacional ISO 14001.
- Kelly, A. (1994). An itroduction to composite materials.
- Marambio, B. (s. f.). Demodé. Recuperado 11 de noviembre de 2016, a partir de <http://www.bernarditamarambio.cl/Demode>
- Marín, C. (2015, junio). El imparable mercado de los tableros. *Bogotá D. C., Colombia*, 88, 141.

McDonough, W., & Braungart, M. (2005). *Cradle to cradle: (de la cuna a la cuna) : rediseñando la forma en que hacemos las cosas*. Madrid: Mc Graw-Hill.

Moral, A., & Nogueira, M. (2007, junio). MATERIALES DE ULTIMA GENERACION Y MATERIALES EFICIENTES: MATERIALES COMPUESTOS - COMPOSITES.

OCDE, & FAO. (2015). *Ocde-Fao Perspectivas Agricolas 2015*. Paris: Organization for Economic Cooperation & Development. Recuperado a partir de http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2015-es

Papanek, V. (1977). *Diseñar para el mundo real: ecología humana y cambio social*. Madrid: H. Blume.

Real Academia Española. (2014). *Diccionario de la lengua española (23.ª ed.)*. Madrid.

Rios, F. (2015). *Desperdicio textil: un nuevo reto en la era del reciclaje*. Medellin, Colombia. Recuperado a partir de https://www.youtube.com/watch?v=OsM_f-R8mgg

Rodriguez, I. (2015, febrero 13). Jeans... la prenda más vendida en México - Industria - Manufactura.mx. Recuperado 9 de noviembre de 2016, a partir de <http://www.manufactura.mx/industria/2015/02/13/jeans-la-prenda-mas-vendida-en-mexico>

Rodríguez, L. (s. f.). El diseño en la posmodernidad: discursos y tesis.

Schinitman, N. (2003, octubre 23). Normas ISO 14000, Ambiente y Sociedad. Recuperado a partir de http://www.ecoportal.net/Temas-Especiales/Desarrollo-Sustentable/Normas_ISO_14000_Ambiente_y_Sociedad

Smith, W. F., & Hashemi, J. (2004). *Foundations of materials science and engineering* (3rd ed., International ed). Boston [Mass.]: McGraw-Hill.

Tovar, T. (2008). *Caracterización morfológica y térmica del almidón de maíz (Zea mays L) obtenido por diferentes métodos de aislamiento*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Pachuca de Soto, Hidalgo.

Valgañón, V. (2008). *Biología aplicada a la conservación y restauración*. Madrid: Síntesis.

Veolia. (2008). *PROACTIVA en la provincia de Aguascalientes (México) Una gestión integral y sostenible del agua y del alcantarillado*. Conferencia internacional presentado en Políticas urbanas integrales y convivencia en las ciudades de América Latina – Servicios urbanos e inclusión, Quito. Ecuador.

Yan, L., Chouw, N., & Jarayaman, K. (2014). *Flax fibre and its composites – A review*.