

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y TENACIDAD DE
UN MATERIAL COMPUESTO A PARTIR DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR Y
ALMIDÓN DE YUCA, A TRAVÉS DE LOS ENSAYOS DE TENSIÓN Y DE
IMPACTO CHARPY

JORGE ALFONSO AYALA CORREA
CRISTIAN ALEJANDRO BARBOSA FONTECHA

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
TRABAJO DE GRADO
BOGOTÁ D.C
2014

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y TENACIDAD DE
UN MATERIAL COMPUESTO A PARTIR DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR Y
ALMIDÓN DE YUCA, A TRAVÉS DE LOS ENSAYOS DE TENSIÓN Y DE
IMPACTO CHARPY

JORGE ALFONSO AYALA CORREA
CRISTIAN ALEJANDRO BARBOSA FONTECHA

Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Mecánico en modalidad de
solución a un problema de ingeniería.

Director
RICARDO ALBERTO FORERO RUBIANO
Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
BOGOTÁ D.C.
2014

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del director del proyecto de grado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá D.C 28 de julio de 2014

DEDICATORIA

A Dios por estar siempre con nosotros y nunca desampararnos durante el proceso de aprendizaje.

Les dedicamos este trabajo a nuestros padres, por todo el apoyo durante nuestra formación profesional, personal y moral, además de la incondicional ayuda y su disposición.

A nuestros familiares y amigos por la ayuda prestada durante el desarrollo del trabajo, por la colaboración y la paciencia que nos tuvieron.

AGRADECIMIENTOS

Le agradecemos al ingeniero Ricardo A. Forero R. por haber sido nuestro director de proyecto de grado, habernos guiado en el desarrollo del trabajo y por sus valiosos consejos que sirvieron para culminar la carrera.

Al señor Camilo Zapata Soler, por dejarnos participar en parte de su investigación, a partir de la cual surgió este proyecto que con tanto esfuerzo y dedicación, hemos concluido.

Al señor Juan Manuel Vázquez por prestarnos su taller para poder desarrollar este proyecto, pues sin su ayuda seguramente no hubiésemos podido lograr terminar el trabajo de investigación.

CONTENIDO

	Pág.
LISTA DE TABLAS	VIII
LISTA DE FIGURAS	X
GLOSARIO	XII
RESUMEN	17
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
JUSTIFICACIÓN	19
INTRODUCCIÓN	20
OBJETIVOS	22
1 ESTADO DEL ARTE	23
1.1 RESEÑA HISTÓRICA	23
1.2 POLÍMEROS	23
1.2.1 Clasificación de los polímeros	24
1.2.2 Polímeros biodegradables	25
1.2.3 Almidón	27
1.2.4 Procesos de transformación de los polímeros	28
1.3 MATERIALES COMPUESTOS	31
1.3.1 Tipo de compuestos	31
1.3.2 Clasificación de los compuestos por fibras	33
1.3.3 Fibras naturales	36
1.3.4 Procesos de transformación de los materiales compuestos	38
1.4 CAÑA DE AZÚCAR	41
1.4.1 Aplicaciones	42
1.4.2 Residuos (Bagazo de caña)	45
1.4.3 Estudios sobre el Bagazo de caña	45
1.5 ENSAYOS MECANICOS	47
1.5.1 Ensayo de Tensión	47
1.5.2 Ensayo de Impacto	49
2 MATERIALES Y METODOLOGÍA	52
2.1 MATERIALES	52
2.1.1 Bagazo de caña	52
2.1.2 Almidón de yuca	53
2.1.3 Glicerina o Glicerol	53
2.1.4 Agua	54
2.1.5 Prensa Mecánica	54
2.1.6 Trituradora	55
2.1.7 Cronometro	56
2.1.8 Balanza digital	56
2.1.9 Maquina universal de ensayos	57

2.1.10	Péndulo de impacto	57
2.2	METODOLOGÍA	58
2.2.1	Preparación de materias primas	62
2.2.2	Fabricación de las probetas	64
2.2.3	Mapa de proceso	66
2.2.4	Realización ensayos mecánicos	67
3	RESULTADOS	71
3.1	CALCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD TEÓRICO	71
3.2	RESULTADOS DE CADA MUESTRA A TRACCIÓN	73
3.2.1	Grafico comparativo de muestras a tracción.	80
3.2.2	Diseño de experimentos	80
3.3	RESULTADOS DE CADA MUESTRA A IMPACTO	84
3.3.1	Grafico comparativo de muestras a impacto	89
3.4	ANALISIS COMPARATIVO DEL COMPUESTO	89
	CONCLUSIONES	91
	RECOMENDACIONES	92
	BIBLIOGRAFÍA	94

LISTA DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1 CLASIFICACIÓN POR SU ESTRUCTURA MOLECULAR.	25
TABLA 2 NOMBRES DE LA CAÑA DE AZÚCAR	42
TABLA 3 TOP 10 EXPORTADORES MUNDIALES 2007 CAÑA DE AZÚCAR	44
TABLA 4 CARACTERÍSTICAS DEL BAGAZO DE CAÑA	52
TABLA 5 CARACTERÍSTICAS DEL ALMIDÓN DE YUCA	53
TABLA 6 DATOS USADOS PARA EL CALCULO DE LA LONGITUD CRITICA	58
TABLA 7 PORCENTAJES DE ALMIDÓN	61
TABLA 8 RESULTADOS ENSAYO DE TENSIÓN	67
TABLA 9 RESULTADOS ENSAYO A IMPACTO CON MUESCA	70
TABLA 10 RESULTADOS ENSAYO A IMPACTO SIN MUESCA	70
TABLA 11 EFICACIA DEL REFUERZO SEGÚN LA ORIENTACIÓN DE LA FIBRA	71
TABLA 12 DATOS USADOS PARA EL CÁLCULO DE LAS FRACCIONES VOLUMÉTRICAS	72
TABLA 13 FRACCIONES VOLUMÉTRICAS	72
TABLA 14 MÓDULOS DE ELASTICIDAD TEÓRICOS	72
TABLA 15 ESPÉCIMEN 1 TENSIÓN	73
TABLA 16 ESPÉCIMEN 2 TENSIÓN	73
TABLA 17 ESPÉCIMEN 3 TENSIÓN	74
TABLA 18 ESPÉCIMEN 4 TENSIÓN	74
TABLA 19 ESPÉCIMEN 5 TENSIÓN	75
TABLA 20 ESPÉCIMEN 6 TENSIÓN	75
TABLA 21 ESPÉCIMEN 7 TENSIÓN	76
TABLA 22 ESPÉCIMEN 8 TENSIÓN	76
TABLA 23 ESPÉCIMEN 9 TENSIÓN	77
TABLA 24 ESPÉCIMEN 10 TENSIÓN	77
TABLA 25 ESPÉCIMEN 11 TENSIÓN	78
TABLA 26 ESPÉCIMEN 12 TENSIÓN	78
TABLA 27 ESPÉCIMEN 13 TENSIÓN	79
TABLA 28 ESPÉCIMEN 14 TENSIÓN	79
TABLA 29 ESPÉCIMEN 15 TENSIÓN	80
TABLA 30 MATRIZ DE RESULTADOS	81
TABLA 31 RESUMEN	81
TABLA 32 ANÁLISIS DE VARIANZA	81
TABLA 33 TABLA DE COMPARACIÓN ENTRE LAS MEDIAS DE PORCENTAJES DE ALMIDÓN	82
TABLA 34 MÓDULOS DE ELASTICIDAD	83
TABLA 35 ESPÉCIMEN 1 IMPACTO	84
TABLA 36 ESPÉCIMEN 2 IMPACTO	84
TABLA 37 ESPÉCIMEN 3 IMPACTO	85
TABLA 38 ESPÉCIMEN 4 IMPACTO	85
TABLA 39 ESPÉCIMEN 5 IMPACTO	86

TABLA 40 ESPÉCIMEN 6 IMPACTO	86
TABLA 41 ESPÉCIMEN 7 IMPACTO	87
TABLA 42 ESPÉCIMEN 8 IMPACTO	87
TABLA 43 ESPÉCIMEN 9 IMPACTO	88
TABLA 44 ESPÉCIMEN 10 IMPACTO	88
TABLA 45 RESULTADOS ESTADÍSTICOS DE LAS PROBETAS A IMPACTO A 72% DE ALMIDÓN	89
TABLA 46 ESFUERZOS DE LOS COMPUESTOS	90

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1 MORFOLOGÍA GRANULAR DEL ALMIDÓN.	27
FIGURA 2 MOLDEO POR INYECCIÓN.	28
FIGURA 3 MOLDEO POR EXTRUSIÓN.	29
FIGURA 4 MOLDEO POR COMPRESIÓN.	30
FIGURA 5 COMPUESTO POR DISPERSIÓN	32
FIGURA 6 COMPUESTO LAMINAR	33
FIGURA 7 DIRECCIONES DE FIBRAS.	34
FIGURA 8 INTERFASE	36
FIGURA 9 PULTRUSIÓN.	38
FIGURA 10 MOLDEO POR COMPRESIÓN DE PRE-IMPREGNADOS SMC	39
FIGURA 11 BOBINADO DE FILAMENTOS	40
FIGURA 12 APLICACIÓN MANUAL.	41
FIGURA 13 CAÑA DE AZÚCAR.	41
FIGURA 14 VENTA DE AZÚCAR ANUAL NEW YORK (2013)	43
FIGURA 15 BIOCOMBUSTIBLES	44
FIGURA 16 BAGAZO DE CAÑA EN CALDERA	45
FIGURA 17 COMPORTAMIENTO DE LOS MATERIALES.	49
FIGURA 18 PROBETA A TENSIÓN SEGÚN ASTM D3039	49
FIGURA 19 A) ENSAYO IZOD (LB.PIE/PLG O J/M) B) ENSAYO CHARPY (LB.PIE O J)	50
FIGURA 20 PROBETA SEGÚN ASTM D 6110-02	51
FIGURA 21 BAGAZO DE CAÑA	52
FIGURA 22 ALMIDÓN EN POLVO.	53
FIGURA 23 ESTRUCTURA MOLECULAR DE LA GLICERINA	54
FIGURA 24 PRENSA MECÁNICA	55
FIGURA 25 TRITURADORA	55
FIGURA 26 CRONOMETRO	56
FIGURA 27 BALANZA DIGITAL	56
FIGURA 28 MAQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS	57
FIGURA 29 MAQUINA DE IMPACTO CHARPY	57
FIGURA 30 PERFIL DE DISPOSICIÓN DE ESFUERZOS CUANDO LA FIBRA ES MAYOR A LA LONGITUD CRÍTICA	58
FIGURA 31 BAGAZO HUMEDECIDO COMPLETAMENTE POR EL ALMIDÓN	59
FIGURA 32 COMPUESTO QUEMADO	60
FIGURA 33 COMPUESTO ADECUADO	60
FIGURA 34 MEZCLAS CON PORCENTAJES MENORES DEL 70%	61
FIGURA 35 MEZCLA SATURADA PORCENTAJE DE ALMIDÓN MAYOR AL 80%	61
FIGURA 36 PRESENTACIONES DEL BAGAZO TRITURADO POLVO, FIBRA Y ASTILLAS	63
FIGURA 37 MEZCLA DE ALMIDÓN	63
FIGURA 38 MEZCLA BAGAZO ALMIDÓN	64

FIGURA 39 PROBETA COMPACTADA	65
FIGURA 40 PROBETA TERMINADA	65
FIGURA 41 MAPA DE PROCESO	66
FIGURA 42 PROBETA MONTADA EN LA MAQUINA	68
FIGURA 43 EJEMPLO DE FALLA CON Y SIN MUESCA	69
FIGURA 44 PROBETAS CON MUESCA	69
FIGURA 45 PROMEDIO DE CARGA ÚLTIMA	80
FIGURA 46 GRAFICAS DE LAS MEDIAS DE LOS PORCENTAJES OBSERVADAS	83
FIGURA 47 COMPARACIÓN DE LA ENERGÍA ABSORBIDA DE LAS PROBETAS A IMPACTO AL 72% DE ALMIDÓN	89
FIGURA 48 GRAFICA COMPARATIVA CON OTROS COMPUESTOS	90

GLOSARIO

Aceleradores: aditivos especiales que ayudan a agilizar el proceso de compactación de la matriz y el refuerzo del material.

Aditivos: sustancias las cuales son agregadas al material para mejorar algunas propiedades, en algunos casos pueden acelerar procesos de fabricación.

Aglomerado: material compuesto a base de fibras naturales, que se compactan mediante distintos procesos de compresión, usualmente son hechos de aserrín, donde se compactan para formar paneles llamados triplays, muy utilizados en la industria

Aglutinantes: son adhesivos especiales agregados a la matriz para una mejor consolidación del material

Almidón: polímero de origen natural compuesto de almidosa y almidopectina.

Almidosa: polímero subproducto de la condensación del almidón, que le produce excelentes propiedades mecánicas cuando su porcentaje sobre almidón es bastante alto.

Almidopectina: polímero derivado del almidón perteneciente a los polisacáridos, su forma molecular parece a un árbol, generalmente le brinda bajas propiedades mecánicas con respecto al almidón.

Amorfo: es una de las estructuras de los materiales que no tiene un orden específico

Anisotropico: característica que presentan los materiales cuando se deforman más fácil en una dirección que en otra

Aramid: Hidrocarburo aromático, representa los grupos químicos del tipo benceno.

Carga: fuerza física la cual se aplica a los materiales para medir su resistencia.

Carga máxima: magnitud límite de la fuerza que puede soportar un material cuando se le aplica una carga

Clasificación: orden y selección de los diferentes parámetros de fabricación y de ensayo de los materiales.

Compresión: fuerza física aplicada sobre un material para aplastarlo, un ejemplo claro es la presión que tiene fuerzas compresivas.

Copolimero: es una molécula tipo macro que se compone de 2 o más monómeros.

Deformación: propiedad que tienen los materiales como resultado al aplicarles algún tipo de carga

Degradabilidad: propiedad o característica que tienen los materiales para descomponerse con el paso del tiempo, todos los materiales se degradan, solo que unos más rápido que otros.

Dieno: son hidrocarburos que tienen dos moléculas de alquenos en su enlace

Dirección longitudinal: se define como una trayectoria que va paralela sobre un solo eje

Dirección transversal: se define como una trayectoria que va ortogonal a un eje

Elasticidad: propiedad de un material para deformarse y volver a su geometría inicial.

Elastómeros: materiales pertenecientes a la familia de los polímeros

Elongación: es la distancia que, en cada instante, separa a una partícula sometida a oscilación.

Emparedado: forma de llamar a un material compuesto que tiene dos paneles en sus partes superior e inferior y por dentro tiene alguna fibra asemejándose a la forma de un emparedado.

Enrollado de filamentos: proceso por el cual se pueden fabricar materiales compuestos con fibra, es muy utilizado en la industria

Endurecedor: aditivo especial para mejorar las propiedades de dureza de un material, es muy utilizado en el concreto para mejorar su tenacidad y resistencia.

Ensayo mecánico: practica utilizada en los materiales para determinar sus propiedades, se clasifican en ensayos destructivos y no destructivos, los destructivos como tracción e impacto, y los no destructivos como la radiografía y las tintas penetrantes.

Esfuerzo: es la magnitud física que mide la fuerza por un área determinada, por lo general existen esfuerzos de tensión, cizalla torsión y flexión en los materiales al someterlos a un trabajo determinado.

Esfuerzo último: es la magnitud física que mide la fuerza máxima que puede soportar un material sobre un área determinada.

Fase: en materiales compuestos se define como el agente reforzante el cual cambiara las propiedades del compuesto, dependiendo de su geometría.

Fase dispersa: es un material compuesto que maneja una fase de fibras den distintas direcciones al azar.

Fase matriz: La fase matriz se define como un material compuesto reforzado con fibras que cumple varias funciones debido a la orientación de las fibras y su respectiva longitud.

Fibra: se define como pequeños trozos de material en donde su longitud es mayor a su diámetro, además la unión de varias fibras dan paso a un aglomerado que unido a una matriz, formarían un material compuesto.

Impacto: choque entre dos cuerpos donde se puede producir falla dependiendo de la resistencia de cada uno de ellos

Interfase: para los materiales compuestos es el punto de unión del compuesto o más conocida como la región de contacto entre la matriz y el refuerzo.

Lamina: es un objeto cuya superficie es superior a su espesor, se utiliza como paneles superficiales para encerrar otro tipo de material, como fibras.

Manufactura: es una fase de la producción de productos, en donde las materias primas se transforman en productos útiles para el consumidor.

Masa: propiedad física que mide la cantidad de materia que puede tener un cuerpo, siendo esta una propiedad intrínseca.

Material: es un elemento el cual puede agruparse y transformar su geometría y propiedades dependiendo el uso que se le piense dar.

Material compuesto: es un material que se compone de 2 o más materiales.

Matriz: parte del material compuesto, que es la encargada de mantener agrupado el refuerzo, se encarga de darle propiedades químicas y físicas, y darle cohesión al material.

Metodología: es un procedimiento racional por el cual se piensa desarrollar y solucionar un problema.

Mezclado: es un proceso por el cual se revuelven las materias primas, que por lo general son en estado líquido.

Normas: consolidado y clasificado de reglas especiales en donde se basan los procedimientos para elaboración de ensayos y pruebas físicas

Módulo de elasticidad: es un parámetro utilizado para poder caracterizar mecánicamente el comportamiento de un material elástico.

Modulo específico: resulta ser la división del módulo elasticidad con la densidad

Monómero: es una molécula pequeña que al unirse con cientos de miles de ellas mismas pueden formar un polímero.

Panel: conjunto ligero pero rígido, formado por una tira de aluminio unida y expandida para formar el núcleo de una estructura tipo emparedado.

Péndulo: es un sistema físico que oscila por acción de la gravedad, la maquina Charpy funciona bajo este principio.

Plastificantes: son aditivos que suavizan los materiales.

Plasticidad: propiedad física que mide la deformación del material cuando supera su zona elástica y su deformación es permanente.

Polímero: unión de cientos y miles de cadenas formadas por monómeros.

Polisacáridos: son biomoléculas formadas por cantidades de monosacáridos, son polímeros los cuales son unidos por enlaces de glucosa, un ejemplo claro son las proteínas y el ADN.

Proceso: es un conjunto de actividades las cuales por lo general van una detrás de otra, en donde a una materia prima se le hace un proceso de manufactura y se obtiene un producto terminado

Peso: propiedad física, en donde mide la fuerza gravitatoria que actúan sobre los cuerpos

Refuerzo: parte del compuesto, una fase en donde su carácter es discreto y su geometría es fundamental a la hora de definir la geometría del material.

Regla de mezclas: enunciado que habla acerca de las propiedades de un material compuesto, depende de su fracción volumétrica de cada material que conforma el compuesto.

Relación de forma: relación la cual define la división de la resistencia de un material entre su densidad.

Resistencia: es la capacidad que tienen los materiales de soportar cargas antes de pasar por su zona elástica

Resistencia específica: resultado de la división de la resistencia de un material entre su densidad.

Sacarosa: conocida como azúcar común perteneciente a los disacáridos, que son un tipo de glúcidos formados por la unión de 2 azúcares monosacáridos.

Selección: forma de escoger la mejor opción, alternativo y o producto dependiendo de sus características

Tracción: carga ejercida sobre un cuerpo a tensión, en donde la fuerza va perpendicular al área provocando esfuerzos tensores.

Tenacidad: la tenacidad es la energía total que absorbe un material antes de romperse

Triturado: proceso por el cual se reduce el material a polvo y fibras.

RESUMEN

Con el presente proyecto se desarrolló un material compuesto con base a fibra natural de bagazo de caña de azúcar, como material de refuerzo y polímero de almidón de yuca como matriz, el cual, se determinó la resistencia a la tracción y la tenacidad.

En primer lugar se recopiló una serie de investigaciones acerca de los materiales compuestos y sus respectivas caracterizaciones. Por otra parte, se determinó la mezcla en porcentajes de matriz y refuerzo, creando una mezcla compacta y rígida. A continuación, se estandarizó el proceso de fabricación de las probetas a partir de la formulación del material, donde se realizaron las respectivas probetas para los ensayos, bajo la norma ASTM D3039. Luego se realizaron las pruebas mecánicas en el centro de ensayos de materiales del SENA. Los resultados se analizaron estadísticamente a partir del diseño de experimentos planteado. Finalizando con el planteamiento de posibles aplicaciones industriales para el material elaborado.

Ya que la mayoría de investigaciones sobre la caracterización de materiales compuestos matriz polímero, han sido con base a matriz sintética y fibras naturales, se optó por caracterizar un material netamente natural que adicionalmente sea amigable con el ambiente, a partir de su posibilidad de degradación, lo cual se recomienda estudiar en un proyecto posterior, en cuanto tiempo se puede biodegradar en distintos ambientes.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido a la creciente población mundial, aumenta la comercialización de productos para el hombre. Cada vez se vuelven escasos los materiales no renovables con los que se fabrican dichos productos, un ejemplo son los derivados del petróleo, en donde se crean los polímeros sintéticos. Una aplicación de los polímeros son las fibras industriales, siendo las más utilizadas a un elevado costo y una toxicidad alta para los seres humanos.

También con la creciente industria de aserraderos, deforestación, tala de árboles y la fabricación de aglomerados, además del acelerado incremento manufacturero son necesarios materiales de rápida y fácil fabricación. Surge la necesidad de conocer las propiedades de nuevos materiales que puedan competir con la madera y no provoquen daños al ambiente.

Por lo anterior, se presenta en este proyecto de grado la determinación de la resistencia a la tracción y al impacto de un material compuesto de fibras de bagazo de caña con matriz en almidón de yuca.

JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo se realiza debido a que las fibras utilizadas en la industria de autopartes, de la construcción, etc., como las fibras de carbono, son fibras sintéticas que no se degradan fácilmente en el ambiente y algunas son perjudiciales para la salud. Un ejemplo la fibra vidrio y la lana mineral de roca, las cuales se deben manipular con cuidado ya que al contacto directo con la piel producen alergia. Por ende hay que utilizar un equipo de protección para manipularlas.

La fibra natural de bagazo de caña, es un residuo en la industria de la producción de azúcar y panela, se encuentra en grandes cantidades en el mundo y su implementación es baja a la hora de fabricar materiales compuestos. El objetivo es acoplarla a una matriz de almidón de yuca y determinar la resistencia mecánica a la tracción y al impacto.

También se debe destacar que la matriz y el refuerzo son de origen natural, no contaminantes para el ambiente y con la conciencia de reciclar, de cuidar y no contaminar, puede ser una idea atractiva trabajar con estos materiales, ya que pueden pasar de ser un residuo a un producto utilizado por el hombre.

Por esta razón muchas Universidades de países industrializados como la Universidad Politécnica de Valencia en España realizan estudios con materiales compuestos hechos a base de fibras naturales, entre ellas el cáñamo, el coco, el bagazo y el kenaf, con futuras aplicaciones en el sector automotriz y el sector aeroespacial, debido a su rigidez y a su bajo peso, características típicas de los compuestos.

INTRODUCCIÓN

Pese a la problemática ambiental por la contaminación generada por desechos y la gran deforestación, los países exportadores de caña de azúcar, como lo son Brasil e India, han caracterizado materiales compuestos reforzados con bagazo de caña, kenaf y fibras de coco, tomando matrices poliméricas sintéticas, como resinas de poliéster, resinas epoxicas y polietileno. En España hay estudios de materiales compuestos, donde han caracterizado otro tipo de fibras sintéticas como la fibra de vidrio.

Además de la caracterización de los materiales compuestos, Los investigadores le han encontrado usos en la industria. Por ejemplo los materiales reforzados con fibras naturales se están implementando en la fabricación de autopartes, ya que bajo peso del material ayuda a disminuir el peso del vehículo. También se están elaborando muebles aglomerados con los residuos de las hojas de maíz, de palma y cáñamo, donde se trituran y se comprimen a tal punto de hacer mesas, cajones y muebles en general.

Se ha decidido caracterizar un material compuesto a base de bagazo de caña de azúcar, donde se tomó una matriz polimérica de almidón de yuca, haciendo un material compuesto natural que se pueda degradar fácilmente en el ambiente. Por otra parte la matriz de almidón, fue fácil de conseguir y su preparación no tuvo inconvenientes de carácter toxico, como a la hora de trabajar matrices de algunos polímeros sintéticos.

En el primer capítulo, se hace una recopilación de información que sirvió de base para la realización del trabajo, partiendo de una breve reseña de los materiales y llegando a los materiales compuestos por fibras, profundizando su composición y comportamiento. Por ende se clasifica la matriz y el refuerzo para la fabricación del compuesto, después se buscan los procesos más implementados en la industria para fabricar materiales compuestos.

También se habla de países que trabajan con caña, su exportación mundial y otros estudios similares a este trabajo, donde caracterizan diferentes tipos de fibra con matrices naturales y sintéticas.

En el segundo capítulo se describe el proceso de fabricación y los materiales que se utilizaron para realizar el trabajo, además de hablar de los ensayos destructivos que se realizaron, también de la fabricación de las probetas y las normas que se utilizaron en cada ensayo.

En el tercer capítulo se presentan los resultados obtenidos.

OBJETIVOS

GENERAL

Determinar la resistencia a la tracción y la tenacidad de un material compuesto a partir de fibras de bagazo de caña de azúcar y almidón de yuca.

ESPECÍFICOS

- Determinar el proceso de obtención del material compuesto.
- Estandarizar el proceso de fabricación del material compuesto teniendo en cuenta sus variables de proceso para la realización de las probetas.
- Determinar los porcentajes de mezcla en peso de la matriz y el refuerzo, adecuados para el material.
- Realizar los ensayos a tensión bajo la norma ASTM D3039 e impacto bajo la norma ASTM D6110 para los porcentajes de mezcla adecuados del material.
- Realizar un análisis estadístico de los datos obtenidos a partir de las pruebas de tracción y de impacto.
- Determinación de la resistencia a la tracción y tenacidad de las mezclas propuestas.

1 ESTADO DEL ARTE

1.1 RESEÑA HISTÓRICA

A través de la historia, el hombre se ha valido de los materiales para adaptar sus entornos y satisfacer sus necesidades básicas en el mundo. Le han servido como herramientas para construir, fabricar y sobretodo poder progresar con el paso del tiempo. (1)

Gracias a materiales metálicos como el cobre, el hierro y el aluminio se han fabricado desde armas de la edad del bronce hasta transbordadores espaciales en la actualidad. De los árboles, se ha utilizado la madera para construir casas y muebles. Y de los minerales se han obtenido materiales semiconductores para fabricar microchips, tecnología para computadores y celulares.

Existen varios tipos de materiales, cada uno con propiedades especiales y utilizados para diferentes aplicaciones, entre ellos están: los metales, semiconductores, los cerámicos, los polímeros y los compuestos. (2)

1.2 POLÍMEROS

Los polímeros son un conjunto o cadena de moléculas, conocidas como monómeros, los cuales forman materiales que van de la familia de los plásticos al caucho. Son compuestos orgánicos que se basan en carbono e hidrogeno, también contienen elementos no metálicos en su composición y se caracterizan por tener largas uniones de estructuras moleculares. Los polímeros suelen caracterizarse por tener densidades muy bajas y una gran flexibilidad. (3)

En la historia, durante cientos de años, el hombre ha utilizado polímeros naturales, con procedencia de animales y plantas, es el caso del caucho y el cuero, también las proteínas, las enzimas, los almidones y la celulosa, hasta comienzos del siglo XX los científicos empezaron a descifrar la estructura molecular de los polímeros y desarrollaron varios tipos de este material, estos eran sinterizados por medio de pequeñas moléculas. Después de la segunda guerra mundial, comenzó la revolución de los polímeros sintéticos como material, puesto que la síntesis era barata y las propiedades del material eran similares a las que tenían los materiales con bases naturales, comenzaron a reemplazar la madera por polímeros sintéticos

por su bajo costo, sin darse cuenta que son grandes contaminantes por su prolongada biodegradación, que puede tardar miles de años. (3)

1.2.1 Clasificación de los polímeros

Los polímeros se pueden clasificar por su obtención, su estructura molecular y su naturaleza.

La forma de clasificarlo por su obtención se extiende a dos grupos, polímeros por adición y polímeros por condensación.

La forma de clasificarlo por su obtención se extiende a dos grupos, polímeros por adición la cual se caracteriza por la unión de moléculas de monómeros. Las moléculas originales no sufren descomposición alguna. Y polímeros por condensación se puede observar la unión química de dos moléculas, en donde el proceso de unión puede contener partículas de desecho. (4) (5)

Por su estructura molecular se derivan tres grupos Tabla 1: termoplásticos, termoestables (termofijos) y elastómeros.

Los termoplásticos se caracterizan por moldearse con temperatura, reblandeciéndose y al enfriarse recuperan su consistencia original, se les puede dar la forma mientras se les aplique calor. Los termoestables se caracterizan por tener una forma permanente, fija y adquieren un cierto grado de dureza y rigidez, producida por una reacción química. Estos no se pueden volver a fundir como los termoplásticos, ya que empiezan a degradarse por las altas temperaturas. Los elastómeros tienen una estructura intermedia entre las cadenas lineales que son flexibles formando cadenas con enlaces covalentes cruzados los cuales le dan propiedades elásticas grandiosas considerándolos gomas artificiales, donde el material se puede estirar sin perder su elasticidad ni deformarse. (6) (4) (2)

Tabla 1 Clasificación por su estructura molecular.

Termoplasticos	Amorfos		PC-PMMA-PS-PVC
	semicristalinos		PP-PE-PET-PA-POM
Termoestables	termofijo		recina epoxica EP y poliester insaturado UP
Elastomeros	Naturales		poliisopreno o latex NR
	Semisinteticos		neopreno CR
	Sinteticos		Termoplastico: EVA-Fomy
			termoestable: PUR

Fuente: Los Autores.

La clasificación por su naturaleza se derivan tres grupos: Los polímeros sintéticos son materiales totalmente creados por el hombre, los cuales ofrecen propiedades únicas comparándolos con los materiales de origen natural. Son productos que vienen de origen de la petroquímica y la carboquímica, son materiales utilizados para la fabricación de recipientes domésticos y herramientas de laboratorio. Los polímeros semisintéticos también conocidos como polímeros artificiales, son el resultado del tratamiento de polímeros naturales mediante químicos para dar resultado a un polímero con propiedades modificadas en relación a las sustancias de origen. Los polímeros naturales fueron los primeros que utilizó el hombre a través de la historia, porque la madre naturaleza era la única que proporcionaba materiales a la humanidad, como: el ámbar, el almidón, la gutapercha y la goma laca, siendo los precursores de los polímeros actuales, además tienen la ventaja de poderse degradar fácilmente en el medioambiente (7) (8)

1.2.2 Polímeros biodegradables

El estudio de los polímeros biodegradables se empezó a desarrollar en la década de 1980 con la contaminación de basuras en las ciudades del mundo. La décima parte de los desperdicios sólidos equivalen a desechos plásticos no renovables. De la producción de plásticos, la tercera parte se destina a la producción de productos desechables, como: platos, bolsas, botellas plásticas entre otros. La biodegradabilidad es una propiedad de algunos materiales donde los microbios del ambiente degradan una parte del material, en muchos casos pueden degradar la totalidad del material. (9)

“Los plásticos biodegradables son la alternativa actual más sencilla ante el inminente agotamiento del petróleo y la creciente acumulación de residuos plásticos.” (10)

En la actualidad siendo la opción más viable con respecto a la contaminación, los polímeros de procedencia natural, que antiguamente lo utilizaban los egipcios como resinas fenólicas para embalsamar a sus muertos, se pueden utilizar de otras maneras, puesto que ya se tiene conocimientos más profundos sobre los polímeros, sobre su composición y comportamiento, para crear materiales biodegradables con excelentes propiedades físicas. (8)

Se han desarrollado tres tipos de plásticos biodegradables, donde cada uno tiene diferentes propiedades y características de biodegradabilidad, los cuales unos son más aplicados que otros. Los que más se conocen son: el sistema basado en lácticos, sistema basado la fermentación de azúcares y el sistema basado en almidones. (9)

1.2.2.1 Sistema basado en lácticos

Se produce por un proceso químico conocido como fermentación en el cual se forma el ácido láctico, donde se polimeriza y se forma una resina de poliéster la cual es muy utilizada en la industria médica y farmacéutica. (9)

Los polímeros y biopolímeros de ácido láctico son respetuosos con el medio ambiente debido a su degradabilidad en productos inocuos, lo que les hace deseables como sustitutos de los polímeros petroquímicos. (11)

1.2.2.2 Sistema basado en la fermentación de azúcares

Este sistema produce una reacción al agregar ácidos orgánicos a un material de alimentación de azúcar, se utiliza un proceso desarrollado, en donde la reacción produce un polímero con características cristalinas y una rigidez bastante elevada, después de otros procesos este polímero se comporta de manera muy similar a la de los derivados del petróleo. (9)

1.2.2.3 Sistema basado en almidones

Este sistema como su nombre lo indica, se basa en extraer el almidón de productos de procedencia natural como: la papa, la yuca, el arroz, la caña y el maíz. Para sacar almidón se tritura de tal manera que salgan polvos y se mezcla con unos aditivos especiales, que forman un líquido muy pegajoso. Este líquido se

mezcla con aglutinantes, después, se enfría y se solidifica formando planchas de un plástico biodegradable, que en la actualidad se está produciendo polímeros de polietileno y almidón para hacer bolsas de basura degradables. (9)

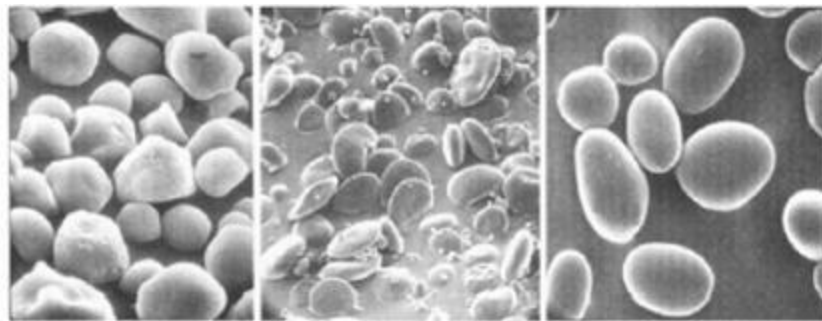
1.2.3 Almidón

El almidón se define como un polisacárido con alta reserva energética gracias a la unión de varios monosacáridos, por esta razón se define como un polímero natural, al igual que el ADN. Se puede encontrar en varias semillas tubérculos y hojas, su función principal es reservar los carbohidratos en los vegetales y se presenta en la naturaleza con forma de gránulos. (10)

Tiene muchos tipos de gránulos como se muestra en la Figura 1, dependiendo de la procedencia y el tamaño de los mismos, se puede clasificar y determinar a qué cereal pertenece. (10)

Se compone estructuralmente de alminosa y alminopectina, donde la alminosa es un polímero lineal que forma macromoléculas compuestas de glucosa que se repiten y la alminopectina es un polímero semisacarido y altamente ramificado que forma grandes moléculas de polisacáridos en el almidón. (10)

Figura 1 Morfología granular del almidón.



Fuente: (10)

1.2.3.1 Limitaciones del almidón

“Los polimeros termoplásticos biodegradables derivados del almidón deben tener un porcentaje de amilosa superior del 70% para conseguir una fabricación con buenas propiedades físicas. Para mejorar las escasas propiedades mecánicas del almidón es común someterlo a modificaciones tanto físicas como químicas.” (10)

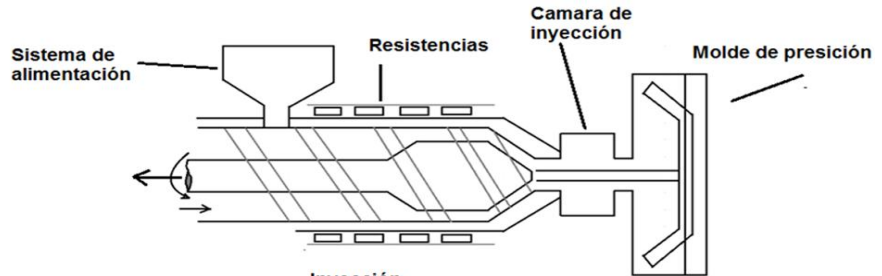
Las mezclas que forman termoplásticos de almidón generan cierta inconsistencia y por esta razón se debe agregar plastificantes y aglutinantes para mejorar las

propiedades de flexibilidad y ductilidad del polímero natural. Para algunas mezclas agregan glicerina que mejora las propiedades del almidón. (12)

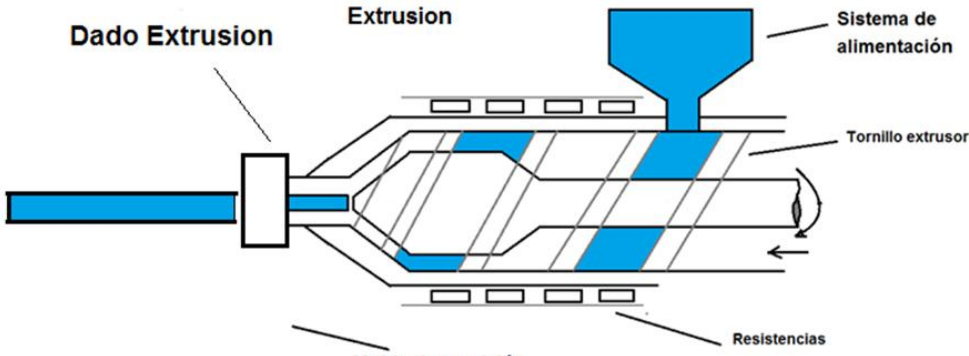
1.2.4 Procesos de transformación de los polímeros

Entre los más utilizados se encuentran los procesos de: inyección, extrusión y Moldeo por compresión.

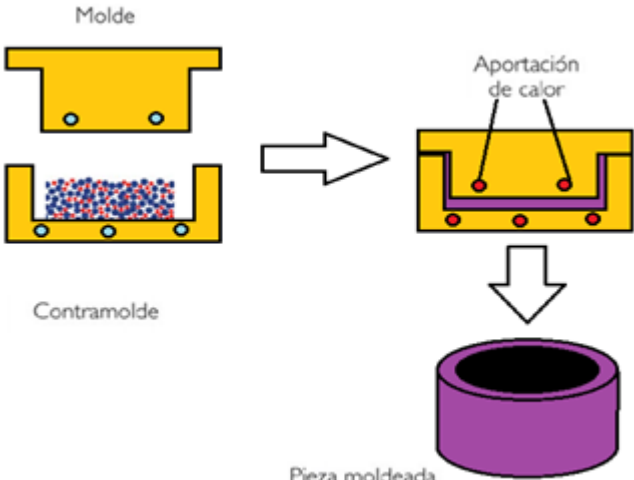
1.2.4.1 Moldeo por inyección

Nombre del proceso	Descripción
Moldeo por inyección	Es un proceso el cual consiste en inyectar el material fundido a alta temperatura en un molde Figura 2, donde se forman distintos tipos de geometrías y productos de uso cotidiano. (4)
	Este proceso se caracteriza por los ciclos rápidos de producción del producto final, el moldeo por inyección puede acoplar geometrías complicadas como jarras y botellas, por lo que es muy implementado en la industria del plástico. (6)
	Además “El análisis del proceso de inyección de plástico y su sus fases tiene en la actualidad un conjunto de herramientas disponible que permiten determinar las condiciones idóneas para el procesado de materiales poliméricos. Estas herramientas permiten correlacionar el resultado final en pieza con los parámetros del proceso”. (3)
Ilustración	
Figura 2 Moldeo por inyección.  Fuente: (3)	

1.2.4.2 Moldeo por extrusión

Nombre del proceso	Descripción
Moldeo por extrusión	Es un proceso mecánico el cual consiste en pasar la materia prima, por un orificio con una geometría específica a compresión, en donde el material adopta la geometría del orificio Figura 3. Por lo general en plásticos, el material se encuentra en temperatura de fluidez. (4)
	“Hay dos tipos de extrusión, extrusión directa y extrusión indirecta o invertida. En el primer caso, el émbolo y el dado están en los extremos opuestos del cilindro y el material es empujado en contra y a través del dado. En la extrusión indirecta el dado es sujetado en el extremo de un émbolo hueco y es forzado contra el cilindro, de manera que el metal es extruido hacia atrás, a través del dado.” (13)
Ilustración	
Figura 3 Moldeo por extrusión.  Fuente: (3)	

1.2.4.3 Moldeo por compresión

Nombre del proceso	Descripción
Moldeo por Compresión	“El método más viejo y sencillo de procesar los materiales de moldeo termoendurecidos es el Moldeo por Compresión. El molde consiste de un lado con cavidad, con una o más cavidades en el lado de fuerza. El molde está calentado por calentadores de cartucho eléctrico, vapor y aceite” (14)
	El moldeo por compresión es bastante utilizado en la industria, ya que es muy simple y fácil de aplicar, por lo general son polímeros a los que se le aplica el proceso, aunque hay materiales reforzados a los cuales también se les puede emplear la compresión, otro proceso utilizado en los cauchos, en donde se aplica presión y calor, se llama vulcanizado, donde se le agrega azufre y se calienta para darle más dureza al caucho. (2)
	“Con el molde a la temperatura, el material se coloca en la cavidad o cavidades. Los materiales fenólicos o melaminofenólicos pueden estar en la forma de gránulos sueltos y sin calentar llamado polvo frío, pastillas compactas de varias formas llamadas preformas, que se puede usar frías o calentadas”. (14)
Ilustración	
Figura 4 Moldeo por Compresión.  Fuente: (9) The diagram illustrates the compression molding process in three stages. Stage 1: A yellow 'Molde' (mold) with a central cavity and a blue 'Contramolde' (counter-mold) with a matching cavity are shown. A layer of multi-colored granular material is placed between them. Stage 2: An arrow points to the second stage where the mold and counter-mold are closed. Red dots, labeled 'Aportación de calor' (heat input), are shown on the inner surfaces of both the mold and counter-mold, indicating heating elements. Stage 3: A downward arrow points to the final stage, showing a solid purple cylindrical 'Pieza moldeada' (molded part) that has been formed from the material under heat and pressure.	

1.3 MATERIALES COMPUESTOS

En la industria se manejan muchos tipos de materiales que se denominan compuestos, un ejemplo claro es el triplex de la madera, compuesto por fibras de aserrín y dos tablas a ambos lados. También está la unión del cemento con varillas metálicas en su interior para darle más rigidez y resistencia al material denominado concreto de construcción.

A través de la historia a medida que el hombre ha venido evolucionando en las diferentes edades, ha implementado materiales los cuales están clasificados en materiales compuestos. Un ejemplo claro es la madera, que se compone de varias fibras de celulosa, otro el hueso, que se compone de tejidos duros y blandos. (15)

Un material compuesto es una unión no química de dos o más materiales, dando el resultado a nuevos materiales con propiedades distintas a los materiales que lo conforman, en algunos casos aumentan las propiedades mecánicas, térmicas, químicas entre otras. (16)

La composición de estos materiales se forma mediante una matriz y un refuerzo. La matriz es la encargada de tener unido el compuesto, el refuerzo como su nombre lo indica debe aumentar la rigidez del material

1.3.1 Tipo de compuestos

Teniendo una visión más clara del material, se pueden entrar a clasificar los tipos de materiales compuestos que se han implementado hasta ahora, habiendo tres grupos que son: los compuestos por dispersión, estructurales y por fibras. (2)

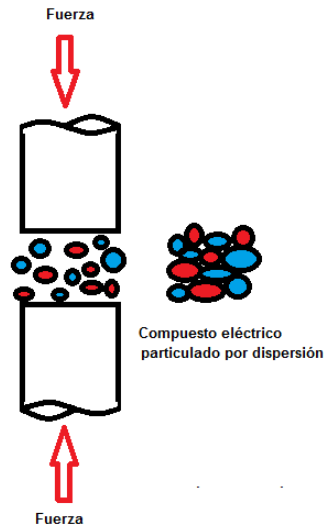
1.3.1.1 Compuestos por dispersión

Se consideran compuestos por partículas de 10 a 250 nano milímetros denominados dispersiones, que por lo general son óxidos metálicos, los cuales se introducen en la matriz, que bloquean el movimiento de las dislocaciones lo que conlleva a un pronunciado efecto de endurecimiento. (2)

Comúnmente las partículas son más duras y frágiles y la matriz del compuesto es blanda y dúctil, pueden tener resistencia a la fluencia térmica, superior a la de las aleaciones metálicas. La matriz del material no cambia su dirección ya que está sobre el contorno pero los refuerzos pueden tener distintas direcciones, lo que cambia drásticamente sus propiedades mecánicas y dependiendo la dirección en

donde se coloque el refuerzo se puede elevar o disminuir una propiedad mecánica. (3)

Figura 5 Compuesto por dispersión



Fuente: (3)

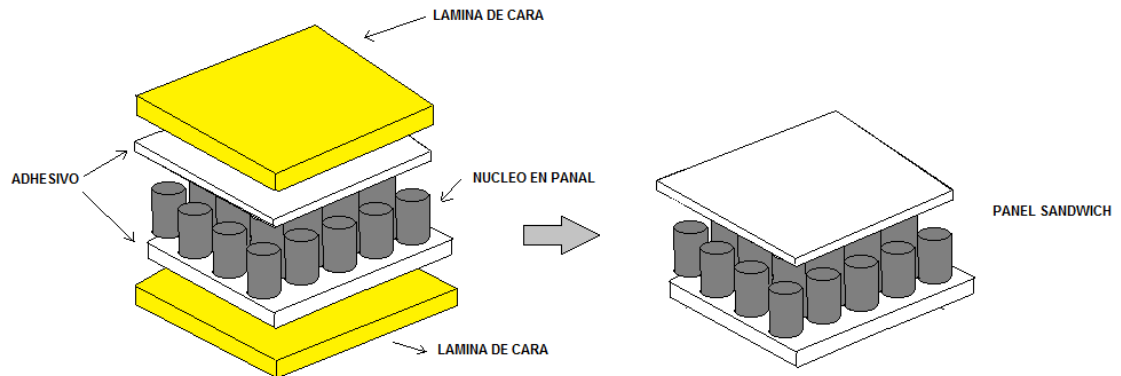
En la Figura 5 se muestra un ejemplo de un compuesto por dispersión y su proceso de obtención mediante la compresión de ambos materiales.

1.3.1.2 Compuesto laminares

Se componen de materiales con geometrías básicas, tienen propiedades homogéneas, donde el resultado final de estos materiales no solo depende de los componentes sino también de su geometría, el diseño y la forma de estos materiales. Un ejemplo claro de los compuestos laminares son los conocidos como tipo emparedado o sándwich, siendo una unión no química de dos placas de madera de pino con resina de poliéster en el centro, como se ilustra en la figura 6. (3)

El triplex es ampliamente usado en las construcciones, con él se pueden hacer viviendas y estructuras. Se compone de dos láminas delgadas con astillas de aserrín en el centro para darle mayor rigidez y disminuir su peso, al ser menos denso. (3)

Figura 6 Compuesto laminar



Fuente: (3)

1.3.1.3 Compuesto por fibras

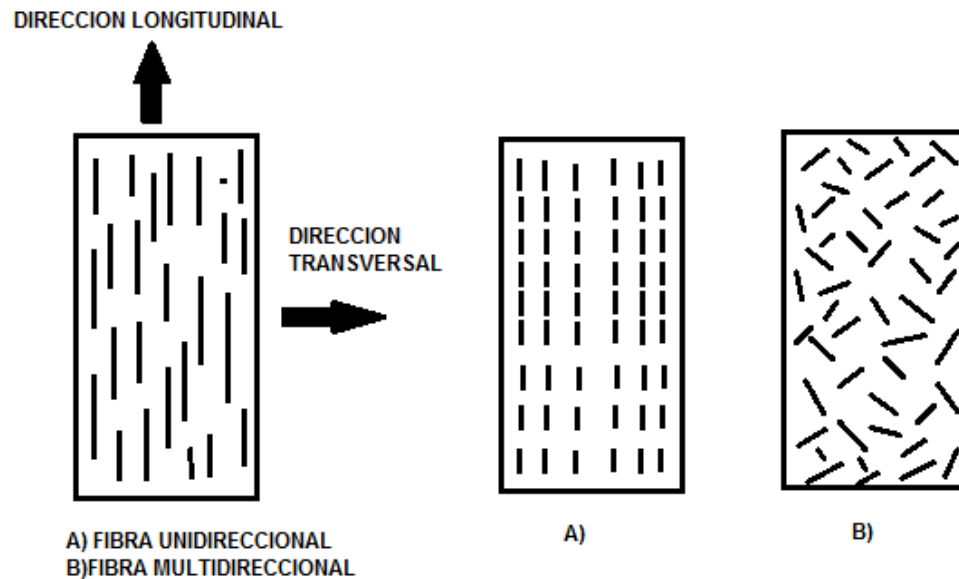
Los compuestos que se refuerzan con fibras son los más importantes a la hora de hablar de materiales compuestos, ya que la unión da como resultado una alta resistencia a la tracción y una baja densidad generando un material duro y liviano.

También tienen buenas propiedades térmicas y sonoras. Un ejemplo es la lana mineral de roca, la cual se usa para aislar estructuras como teatros y cabinas, también en hornos ya que puede soportar temperaturas hasta de 450 grados Celsius. (3)

1.3.2 Clasificación de los compuestos por fibras

Una clasificación puede ser la longitud de las fibras, ya que con esto se puede calcular su resistencia mecánica, pero también se debe tener en cuenta la dirección de las fibras puesto que cambian drásticamente sus propiedades si las fibras están en distintas direcciones.

Figura 7 Direcciones de fibras.



Fuente: (3)

En la Figura 7 muestra las distintas formas que puede tener un material compuesto por fibras y sus respectivas direcciones.

Una característica interesante de los compuestos por fibras, en especial los de fibra de vidrio, con diámetros pequeños, soportan mucho más carga que el compuesto macizo, ya que es muy difícil que se presente una imperfección superficial que conlleve a la falla del material puesto que se aumenta el volumen específico del compuesto, lo que puede generar una alta resistencia a la tracción. (3)

1.3.2.1 Longitud de la fibra

Teniendo en cuenta que la longitud de la fibra, es un factor importante a la hora de resistir carga, también la transmisión de la carga por medio de la matriz hacia las fibras, sin embargo una buena alineación se presenta cuando todo el compuesto recibe la carga homogénea sin que las fibras se salgan de la matriz. (3)

1.3.2.2 Matriz

Es la encargada de proteger el refuerzo del material compuesto y retenerlo de tal forma que la unión de matriz-refuerzo se presente de forma homogénea a la hora de aplicar esfuerzos sobre el compuesto. (3)

Existen varios tipos de matrices en la industria de los materiales compuestos: la matriz metálica, la matriz cerámica y la matriz polimérica, cada una de ellas genera propiedades diferentes en cada compuesto. (3)

La matriz metálica básicamente se compone de aluminio, titanio y magnesio. El aluminio es el metal más usado para formar matrices ya que cuenta con alta resistencia a la oxidación y es el más liviano entre el magnesio y el titanio. Las fibras suelen ser de boro y de carburo de silicio que al unirse con matrices de aluminio, titanio y magnesio forman metales compuestos con alta resistencia a la abrasión y módulo de rigidez elevado. (17)

Las matrices cerámicas básicamente son denominadas vítreas y cerámicas convencionales: las vítreas, que tienen propiedades parecidas a las del vidrio, son de fácil fabricación y se encuentran: los borosilicatos y aluminosilicatos. Las cerámicas convencionales son el carbono y el hormigón que tienen la capacidad de incrementar la tenacidad de los materiales entre esas están aleaciones de SiC; Al_2O_3 ; Si_3N_4 . (17)

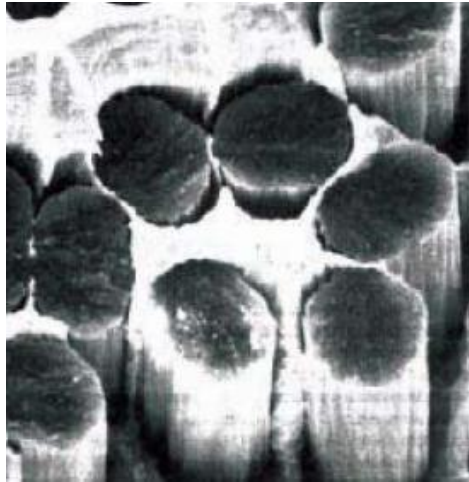
En la matriz polimérica se encuentran las resinas termoestables y los termoplásticos; las resinas termoestables tienden a ser frágiles, se solidifican por medio de enlaces intermoleculares (Red 3D), sus propiedades varían en función de los enlaces intermoleculares, los termoplásticos son dúctiles, no tienen enlaces intermoleculares y pueden ser cristalinos o amorfos. (17)

1.3.2.3 La interfase

Después de conocer las características de la matriz y el refuerzo de fibras, se puede hablar de la interface, siendo esta la unión del compuesto o más conocida como la región de contacto entre la matriz y el refuerzo, es importante que la interface este conglomerado con el material de lo contrario una mala interface puede llevar a la rotura de la pieza. (18)

“Lograr una buena adhesión entre la fibra y la matriz no es tarea fácil, ya que en general se trata de materiales de familias diferentes (polímero - vidrio, metal - cerámico) y la buena adhesión depende del contacto íntimo de los átomos en la superficie de uno y otro componente. Es por eso que existe toda un área de desarrollo de aditivos con los cuales recubrir a las fibras para que resulten más compatibles con la matriz, y aumenten la adhesión entre los componentes del material compuesto”. (17)

Figura 8 Interfase



Fuente: (18)

1.3.3 Fibras naturales

En el planeta encontramos muchos tipos de fibras naturales, sobre todo en la industria textil, los hilos, la seda, el algodón y la lana, hasta otro tipo de industrias como la utilización del amianto, una fibra natural que se usa para el aislamiento de las tuberías.

Para la clasificación de las fibras naturales existen tres categorías, fibras minerales, fibras animales y fibras vegetales, las fibras minerales como el asbesto suelen ser resistentes al calor y se utilizan en el sector de construcción se pueden obtener de forma natural o ligeramente modificadas, las fibras animales están constituidas generalmente por proteínas como la lana, la seda, las plumas etc., y generalmente son utilizadas en la industria textil, las fibras vegetales como el lino, el cáñamo, el algodón o el bagazo están principalmente constituidas de celulosa, las cuales son principalmente utilizadas para la fabricación de tela y papel. (19)

“Las fibras naturales están presentes en el material vegetal fibroso (plantas), como resultado de la fotosíntesis. Existen, además, otras fibras naturales que no son frecuentemente utilizadas en la ingeniería, como la seda, el pelo, las plumas, etc. Las propiedades mecánicas de las fibras naturales se comenzaron a aprovechar alrededor del año 6000 a.c. en el refuerzo de cerámicas y momias. Más tarde, los lienzos para pinturas y los textiles de numerosas calidades fueron los protagonistas en el uso de fibras naturales, que eran impregnadas en resinas y mieles con sal para prolongar su vida útil”. (20)

La conciencia ambiental de hoy, motiva a los investigadores en todo el mundo. Los estudios de la fibra natural como refuerzo, son una opción rentable para los materiales compuestos reforzados con fibra sintética. La disponibilidad de fibras naturales y facilidad de fabricación han tentado a los investigadores a tratar fibras de bajo costo, disponibles en la localidad y estudiar su viabilidad como refuerzo para diferentes aplicaciones. (21)

Históricamente las fibras naturales se han utilizado por muchas culturas del mundo, como en la civilización egipcia, usaban el ramio para hacer telas para las momias. También utilizaban la hierba y la paja como fibra de refuerzo en el barro para hacer ladrillos. (22)

Según el instituto tecnológico del plástico (AINPLAS) en España, utilizaron fibras naturales de cañamo y kenaf para reforzar un polímero termoplástico, el cual se va usar para fabricar autopartes de automóviles basándose en una mezcla de 70 % de polipropileno y 30 % de fibras naturales. (23)

Después de la preparación de las fibras. Obtuvieron ventajas como: buenas propiedades biodegradables, aumento del módulo elástico y buena absorción acústica y una baja densidad. Lo que lleva a pensar que los componentes del material, cada uno por aparte no le podría dar esas propiedades que tiene ahora el compuesto. (23)

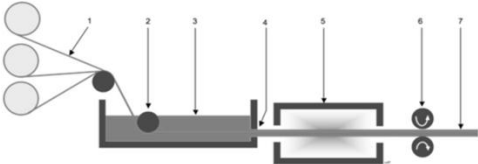
“Actualmente, cada vez se utilizan más materiales reforzados con fibras que sean más económicas y de menor impacto medioambiental. Para ello, se están reforzando muchos polímeros. Es muy utilizada en la industria aeronáutica para disminuir el peso de los aviones. Su elevado precio limita las aplicaciones en la industria del automóvil. Con fibras provenientes de productos naturales como el lino o la fibra de coco; utilizando demás en la industria del automóvil”. (18)

Como dice Mata Cabrera acerca del aprovechamiento de las fibras para la fabricación de carrocerías y partes de autos. Se puede ver cómo se reducen costos y se obtienen propiedades únicas. “Una de las aportaciones más importantes de la industria del automóvil ha sido el desarrollo de nuevos materiales para responder a las necesidades básicas de resistencia y de ligereza. De este modo, han aparecido paulatinamente materiales metálicos más ligeros y resistentes, materiales plásticos reforzados con fibra de vidrio, etc. Los materiales compuestos ocupan hoy en día un lugar preeminente tanto en la construcción de carrocerías como en el diseño de componentes mecánicos diversos. Los llamados composites aglutinan diferentes tipos de fibras de vidrio, carbono, aramida, etc.” (24)

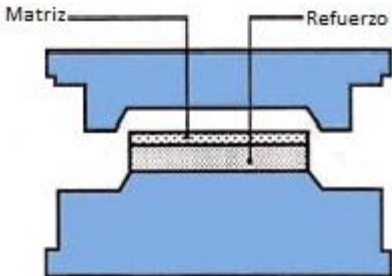
1.3.4 Procesos de transformación de los materiales compuestos

Se dividen en dos procesos: de molde cerrado y de molde abierto. Los de molde cerrado como la pultrusión y el moldeo por compresión de pre-impregnados entre otros. En procesos de molde abierto como proceso de bobinado de filamento y la aplicación manual.

1.3.4.1 Pultrusión

Nombre del proceso	Descripción
Pultrusión	“Este término se define como un procedimiento para obtener perfiles de plástico reforzado, de forma continua, sometiendo las materias primas a un arrastre y pasando por operaciones de impregnado, conformado, curado y corte”. (25)
	“En la actualidad, dado el avance tecnológico en materiales y equipos, es uno de los procesos de mayor futuro en el campo de los materiales compuestos con refuerzos de fibra”. (25)
	Consiste en humedecer las fibras con resina, pasando por un dado caliente y luego se extraen como material compuesto cuya sección transversal tiene una geometría constante como se muestra en la Figura 9. (6)
Ilustración	
Figura 9 Pultrusión.  1 - rollo continuo de fibras reforzadas / estera de fibra tejida 2 - Rodillo tensor 3 - Resina Impregnator 4 - Resina empapado de fibra 5 - Die y la fuente de calor 6 - mecanismo de tracción 7 - fibra endurecida finalizado polímero reforzado Fuente: (3)	

1.3.4.2 Moldeo por compresión de pre-impregnados SMC

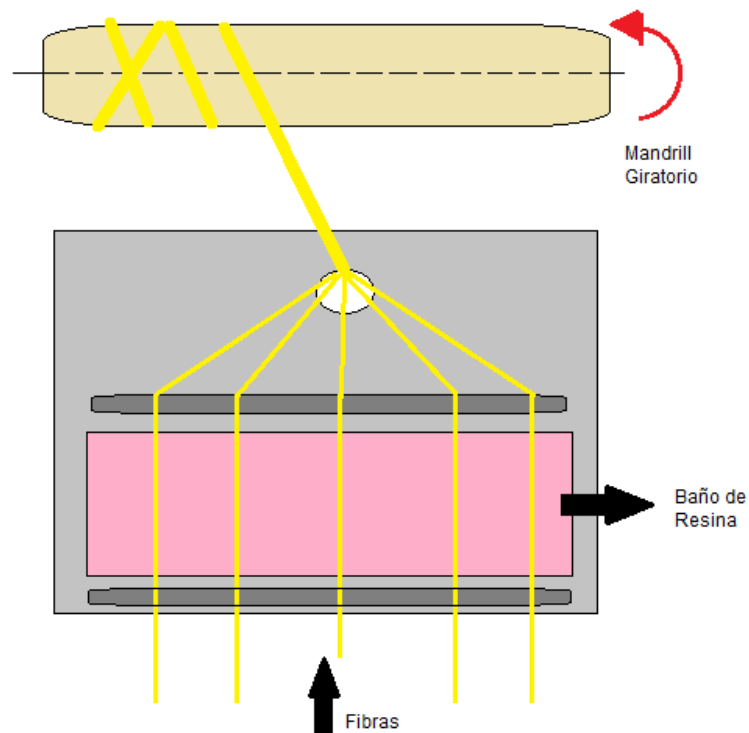
Nombre del proceso	Descripción
Moldeo por compresión de pre-impregnados SMC	“El SMC presenta como características principales una buena estabilidad dimensional, un excelente acabado superficial por ambas caras, la posibilidad de obtener geometrías complejas y una alta capacidad de automatización, con lo que resulta un proceso ideal para la producción de grandes series, siendo el automóvil su principal campo de aplicación”. ⁽²⁶⁾
Ilustración	
Figura 10 Moldeo por compresión de pre-impregnados SMC  Fuente: (26)	

1.3.4.3 Proceso de bobinado de filamento

Nombre del proceso	Descripción
Bobinado de filamentos	“El alto grado de orientación de las fibras y la elevada carga de fibras que se obtienen con este método producen cilindros huecos con resistencia a la tensión extremadamente alta”. (6)
	Proceso por el cual las fibras impregnadas de resina se enrollan alrededor de un mandril giratorio que tiene la geometría que se quiere producir Figura 11. (9)

Ilustración

Figura 11 Bobinado de filamentos



Fuente: Los autores

1.3.4.4 Aplicación Manual

Nombre del proceso	Descripción
Aplicación Manual	Es un método por el cual se aplican capas de resina y refuerzo manualmente en un molde abierto consiste en 5 pasos como se muestra en la Figura 12, es el proceso con más intensidad de mano de obra. (9)
Ilustración	
Figura 12 Aplicación Manual. El diagrama ilustra el proceso de aplicación manual en cinco pasos: Paso 1: Se aplica resina líquida al interior del molde. Paso 2: Se aplica un recubrimiento de gel. Paso 3: Se aplica fibra y resina en capas, utilizando un rodillo (V) para compactar y eliminar burbujas (F). Se indican las capas de fibra y resina. Paso 4: Se eliminan las burbujas restantes. Paso 5: Se muestra la parte terminada, una pieza sólida y curada. Fuente: (9)	

1.4 CAÑA DE AZÚCAR

Figura 13 Caña de Azúcar.



Fuente: (27)

Caña de azúcar *Saccharum* es un género de hasta 37 especies de la familia Poaceae. Es nativo de regiones templadas y tropicales del mundo. Brasil y las islas del Pacífico tropical son los mayores cultivadores de caña de azúcar ahora en el mundo. Tienen tallos fuertes y articulados que son ricos en sacarosa. (22)

También se define como una gramínea (planta herbácea) tropical con tallos gruesos y fibrosos, que puede medir hasta 5 metros de altura. Con la caña se fabrica el azúcar y otros productos como la panela, este es uno de los cultivos más importantes en la industria de países tropicales. (27)

Una vez que la caña se cosecha en los campos, los tallos son lavados, picados y desmenuzados usando cuchillos rotatorios. La caña se tritura se mezcla con agua y se aplasta entre rodillos. Los jugos son recogidos y procesados en azúcar, mientras que los sólidos fibrosos restantes llamado bagazo, se recogen para múltiples usos. (22)

Tabla 2 Nombres de la caña de azúcar

Nombre	Caña de azucar
Nombre científico	<i>Saccharum officinarum</i>
Nombres comunes	Caña de azucar Caña miel Cala dulce Sugar cane Noble cane white salt

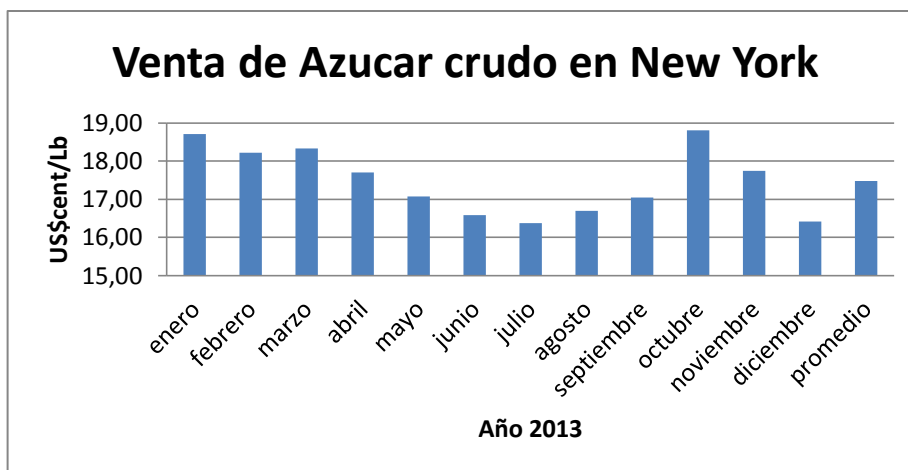
Fuente: (22)

1.4.1 Aplicaciones

Además de ser la productora de azúcar, en Colombia y países de América latina, se utiliza para producir panela, un alimento energético muy dulce, el cual tiene buenas propiedades saludables, también se produce el jugo de caña el cual se pasa por unos trapiches que aplastan la caña y extraen su jugo. (28)

Las ventas de azúcar crudo, para la ciudad de New York Figura 14, durante el 2013, según ASOCAÑA (28), donde las exportaciones de azúcar son bastante altas y generan ingresos para los agricultores de la nación.

Figura 14 Venta de azúcar anual New York (2013)



Fuente: (28)

Mundialmente la exportación de azúcar, genera muchas ganancias para los países que exportan este producto como se muestra en la Tabla 3, un ejemplo de ello, lo tiene Brasil que ocupó el primer lugar en el año 2007 como el país que más exporto azúcar, con un valor de 12,4 millones de toneladas, generando ganancias de 3.130 millones de dólares, con más del 55 % del comercio mundial del azúcar. (29)

El segundo lugar lo ocupó Tailandia y el tercero lo ocupó India, dejándoles muchas ganancias, vendiendo más de 500 millones de dólares y con más de 1.4 millones de toneladas por metro cuadrado. Según la siguiente tabla se podrá visualizar mejor los datos. (29)

Tabla 3 Top 10 exportadores mundiales 2007 caña de azúcar

US\$ millones y toneladas		
PAÍS	VALOR	PESO
Brasil	3.130	12.443.221
Tailandia	525	2.082.322
India	389	1.365.259
Guatemala	358	1.295.088
Mauricio	297	442.145
Cuba	249	696.187
Guyana	156	231.313
Suazilandia	120	206.546
Fiji	114	273.877
República Dominicana	112	233.311
OTROS	1.345	3.109.819
TOTAL	6.794	22.379.088

Fuente: Trademap-Cálculos Proexport

Otra aplicación, es la fabricación de biocombustibles Figura 15, sacando etanol a partir de la caña. Lo que se busca principalmente es mezclar la caña con productos químicos y extraer el etanol. El uso de energías limpias se plantea actualmente como una buena opción de desarrollo para la región de Latinoamérica. (27)

Figura 15 Biocombustibles



Fuente: Los autores

1.4.2 Residuos (Bagazo de caña)

Como tal la producción de azúcar y de panela, genera un residuo conocido como bagazo de caña, este tiene un uso energético el cual utilizan para quemar las calderas y mantenerlas a elevadas temperaturas como se muestra en la Figura 16. Sin embargo, está contaminando el ambiente. Se debería buscar otras alternativas para aprovechar este producto. (27)

El bagazo molido generalmente contiene 50 % de humedad, 47% en material fibroso, 2,5% en azúcar, y una pequeña cantidad de cenizas (0,5 %). El bagazo se puede secar y se utiliza para la fabricación de papel o materiales compuestos. (22)

En Colombia no se lleva un registro del bagazo de caña, puesto que es un residuo el en cual separan la cascara del relleno de fibras, la cascara como tal sirve como fuente para las calderas y para hacer fogatas, la parte interior fibrosa, la separan de la cascara y la utilizan como abono para la tierra.

Figura 16 Bagazo de caña en caldera



Fuente: (31)

Al no haber un control estadístico de cuanto se aprovecha el bagazo de caña, es importante ver que la producción de biodiésel utiliza su jugo como tal, no las fibras de caña.

1.4.3 Estudios sobre el Bagazo de caña

Unos estudiantes del *Cellulose and Paper Department*, del *National Research Center*, investigaron la conversión del bagazo en un material termo-moldeable, donde tuvieron que esterificar las fibras para determinar su estabilidad dimensional y comprobar sus propiedades mecánicas mediante pruebas a tracción y flexión, el material que probaron era un polímero termoplástico natural. (30)

Según Redalyc, una red de revistas científicas en toda Latinoamérica, aparece un artículo donde presentan una caracterización mediante la espectrometría de un compuesto a base de caña de azúcar con polietileno, siendo el polímero la matriz

y el refuerzo de partículas de caña. Donde no hay degradación por parte del polietileno y no se presenta posible degradación del bagazo, ni posibles enlaces entre los dos materiales, tampoco se produce ninguna reacción química al estar en contacto la matriz y las partículas de caña. (31)

Lo anterior indica que se pueden fabricar compuestos híbridos de parte natural y parte sintética, sin que se produzca ninguna reacción que pueda perjudicar a los seres humanos, recordemos que no todos los materiales se pueden conglomerar ya que pueden producir reacciones químicas.

Por otra parte la revista iberoamericana de polímeros, debido a la problemática ambiental, publicó un artículo en donde unos estudiantes elaboraron una caracterización de materiales de carácter biodegradable, compuestos de polietileno de baja densidad con bagazo de caña modificado, mediante un tratamiento alcalino, además estudiaron las propiedades del material mediante el esfuerzo a tensión según la norma ASTM D1708, después de ponerlos en la tierra durante 3 meses para comparar si había degradación y si el material perdía rigidez y propiedades químicas. (32)

De la misma revista, salió otro artículo de la Universidad Nacional de Costa Rica en donde estudiaban de los materiales compuestos de residuos por la industria de la caña de azúcar, en donde caracterizan las fibras molidas de caña por su tamaño y verificaban el contenido de celulosa. Luego tomaban un sustituyente parcial conocido como PG-300, reactivo utilizado para fabricar espumas de poliuretano y se fabricaban compuestos de espumas de poliuretano reforzados con las fibras de caña, en donde los resultados arrojan que con las fibras de caña como refuerzo se presenta una reducción en la densidad de un 10%, también se disminuye la temperatura de degradación y se adquiere una mayor rigidez a la compresión. (33)

En la Universidad de Hawái, estudiaron el comportamiento del bagazo, donde concluyeron que la fibra de bagazo es similar a la madera y se acopla al cartón compuesto, tomaron unas termitas y comprobaron que ellas sobrevivieron al igual que con madera de pino Oregón. El bagazo puede tener más potencial de mercado en un producto conservante tratado de valor añadido como una mercancía de gama baja para competir con los productos de madera comparables. (34)

Estudiantes de Administración de Empresas de la Universidad Militar Nueva Granada (Bogotá, Colombia) desarrollaron un proyecto de creación de empresa, a partir de la elaboración de platos biodegradables con base a caña de azúcar.

Estos se fabrican con base a varios procesos que moldean las diferentes fibras de caña obtenidas a partir de su trituración. Concluyendo que para iniciar una idea de negocio no solo basta con el proyecto de evaluación financiera y empresarial, sino que también, se requiere el desarrollo técnico de la materia prima y del producto. (35)

1.5 ENSAYOS MECANICOS

“A medida que avanza la ciencia de materiales puede llevar a mejores materiales para soportar mayor estrés mecánico, estos materiales deben ser mecánicamente probados para verificar cuáles son sus aplicaciones en la ingeniería, además de si se puede poner en práctica los procesos continuos de fabricación o de si se trata de un uso puramente experimental”. (36)

Los materiales compuestos se han estudiado en cuanto a sus propiedades físicas y mecánicas, también en lo relacionado con sus procesos de producción. (37) Debido a su manufactura, los materiales que conforman los compuestos responden de manera diferente a los esfuerzos aplicados, este aspecto los hacen benéficos a diferencia de los materiales metálicos que en su mayoría responden de manera similar a cualquier aplicación de esfuerzo. (36)

La caracterización de los materiales se desarrollaron con base en las normas internacionales ASTM D 6110-02 la cual indica el método de prueba estándar para hallar la resistencia al impacto con muesca de especímenes plásticos y la ASTM D 3039 Método de prueba estándar para hallar las propiedades de tracción en compuestos de matriz polimérica.

1.5.1 Ensayo de Tensión

Es la prueba más común para determinar las propiedades de los materiales, requiere de la preparación de un espécimen según las especificaciones de las organizaciones correspondientes. (9)

Además de ofrecer una riqueza de información acerca del material a utilizar, aunque una variedad de normas que son específicas de la ASTM, muestran los procedimientos a seguir con diferentes tipos de materiales. Pero la metodología básica del ensayo es la misma para todos los materiales, utilizando principios básicos del ensayo. (5)

Consiste en la aplicación de una fuerza unidireccional al espécimen mediante un cabezal móvil. (2) Las propiedades obtenidas por este ensayo son resistencia, ductilidad, tenacidad, módulo elástico, endurecimiento por deformación entre otras.

En algunas investigaciones con compuestos fibrosos, se ha determinado que en la medida que se incrementa el porcentaje de fibra en el compuesto, su resistencia se ve mejorada ampliamente. (37)

Donde los esfuerzos de la probeta en cuestión parten de la fórmula 1:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Donde,

σ : Esfuerzo [MPa, Lb/in²]

F: Fuerza [N, Lb]

A: Área [m², in²]

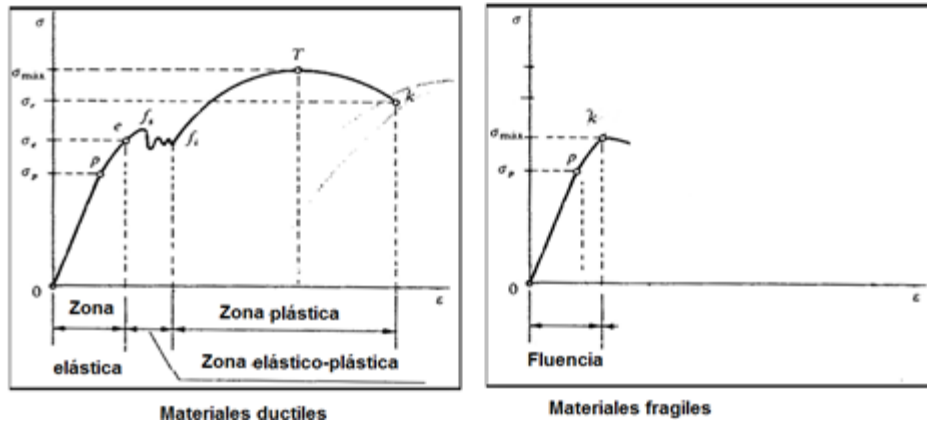
Se observa que $F (N, Lb)$ es la fuerza y $A(m^2, in^2)$ es el área de la sección transversal donde se pone la carga y $\sigma (Pa, \frac{Lb}{in^2})$ es el esfuerzo. También está la deformación unilateral fórmula 2, tomando en cuenta que este ensayo solo se prolonga en una dirección, de deformación ε uniáxica:

$$\varepsilon = \frac{L - L_0}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (2)$$

Donde ε es la deformación, $L (mm)$ es la longitud final y $L_0 (mm)$ es la longitud inicial antes de comenzar el ensayo.

En este ensayo como se muestra en la Figura 17 se pueden encontrar dos tipos de comportamiento: dúctil y frágil. De esta manera se puede clasificar el material y se puede determinar su resistencia a la tracción, por medio de los datos consignados en el ensayo.

Figura 17 Comportamiento de los materiales.

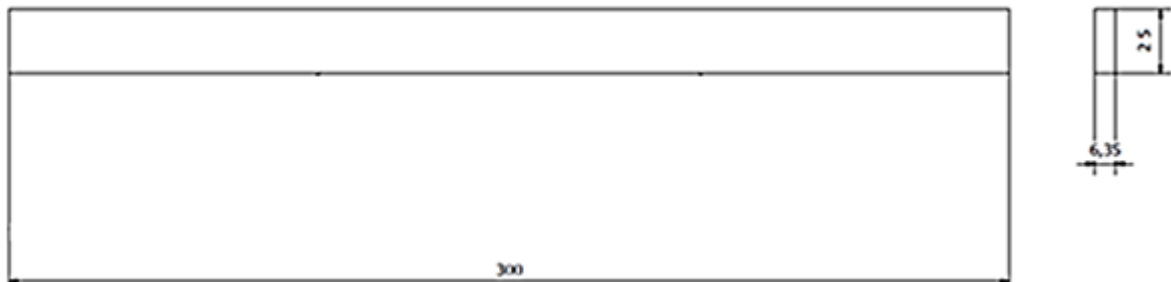


Fuente: (3)

1.5.1.1 Probeta según ASTM D3039

Probeta estándar para ensayos de materiales compuestos Figura 18

Figura 18 Probeta a Tensión según ASTM D3039



Fuente: (38)

1.5.2 Ensayo de Impacto

La tenacidad, indica la resistencia de un material a un golpe severo, y se puede medir a través del ensayo a impacto. En un ensayo a impacto tipo charpy se asegura un péndulo con un martillo a cierta altura (h_0) y se suelta, dejando que rompa de un solo impacto la probeta. (5)

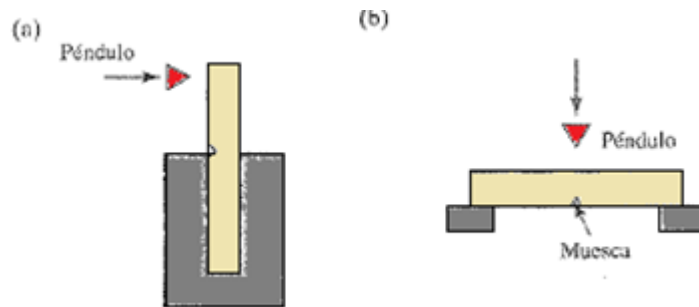
La energía potencia del martillo, se transforma en energía cinética durante el recorrido descendente. El martillo rompe la probeta y continúa su trayectoria (ahora ascendente) hasta lograr una altura máxima (h_f) que depende de la energía absorbida de la probeta. Asumiendo que no hay fricción o que esté muy baja.

La energía de impacto se calcula con la ecuación (3) en donde la masa (m) y la gravedad (g) son constantes.

$$ei = m \times g(h_0 - h_f) \quad (3)$$

El ensayo de impacto generalmente consiste en romper una probeta con muesca, donde se monta la probeta en un péndulo oscilatorio. Dos de las pruebas más usadas en el ensayo de impacto, son la prueba Izod y Charpy. En la prueba Izod como se muestra en la figura 19a, la probeta es soportada en un solo extremo y en la prueba Charpy como se muestra en la figura 19b, la probeta es soportada en los dos extremos. (9)

Figura 19 a) ensayo Izod (lb.pie/plg o J/m) b) ensayo Charpy (lb.pie o J)



Fuente: (3)

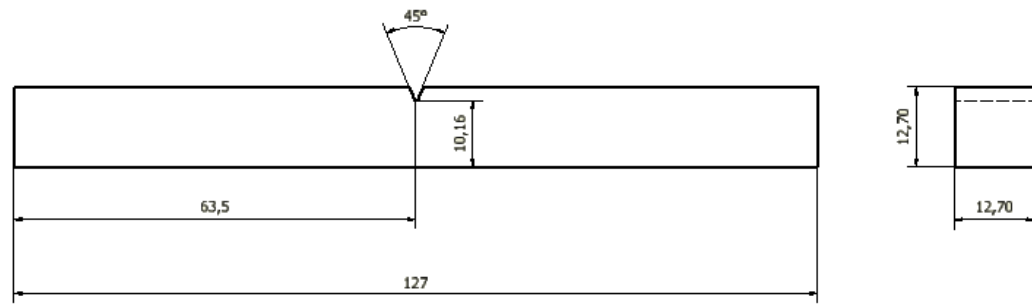
En el ensayo el péndulo oscilatorio inicia desde una altura inicial h_0 , al golpear y romper la probeta llega a una altura h_f que es menor que h_0 . Conociendo las alturas, se puede calcular la energía potencial. (2)

La finalidad del ensayo es determinar si el material tiene una transición dúctil-frágil. (3)

1.5.2.1 Probeta según ASTM D 6110-02

Probeta estándar para ensayos de impacto Charpy Figura 20

Figura 20 Probeta según ASTM D 6110-02



Fuente: (39)

2 MATERIALES Y METODOLOGÍA

2.1 MATERIALES

2.1.1 Bagazo de caña

Es el residuo del proceso de azúcar y panela, son como tal los tallos de la caña con la mayor parte del jugo extraído, su poder calorífico es alto y es utilizado como combustible en las calderas, donde el bagazo tiene un poder calorífico de 7.64 MJ/kg las características mecánicas se muestran en la Tabla 4. (27)

Tabla 4 Características del bagazo de caña

Diámetro (μm)	Resistencia a Tracción (Mpa)	Módulo de Young (Gpa)	Referencia
10-34	20-290	-	(22)
-	222	27,1	(40)
-	170-290	15-19	(41)

En esta investigación se utilizó bagazo de caña de azúcar proveniente de la población La Vega (Cundinamarca, Colombia), fue necesario un bulto de bagazo equivalente a 10Kg y es el refuerzo del material compuesto, con un costo por kilogramo de \$1800.

Figura 21 Bagazo de Caña



Fuente: Los Autores

2.1.2 Almidón de yuca

Es un polisacárido de origen de la yuca, un tubérculo que se da mayormente en Latinoamérica. “Es una harina que se obtiene de la yuca de la variedad *Manihot esculenta*” como se muestra en la Figura 22, y con él se puede elaborar adhesivo, para actuar como la matriz polimérica del compuesto y sus características mecánicas se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5 Características del almidón de yuca

Resistencia a la tracción (Mpa)	Módulo de Young (Mpa)	Referencia
1,74±0,36	19,56±6,74	(12)

Porcentajes de mezcla 70% de almidón, 18% de glicerina, 12% de agua.

Figura 22 Almidón en polvo.



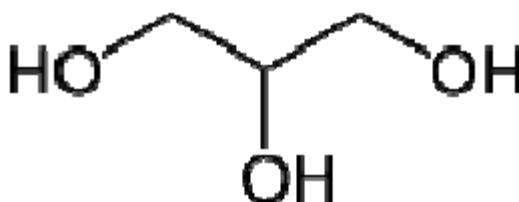
Fuente: Los Autores

2.1.3 Glicerina o Glicerol

Se puede definir como un alcohol que contienen tres grupos de hidroxilo, permitiéndole ser soluble en agua, es viscoso e incoloro además de no ser toxico y por lo general lo implementan en la industria alimenticia. Junto con el agua, el glicerol es el plastificante más comúnmente utilizado en los diferentes estudios que se han realizado sobre la fabricación de polímeros termoplásticos a partir del almidón. (10)

Para esta investigación fue necesario un litro de glicerina, es el plastificante para el almidón de yuca.

Figura 23 Estructura molecular de la glicerina



Fuente: (10)

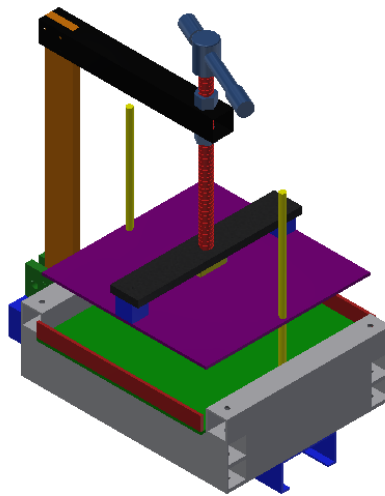
2.1.4 Agua

Otro plastificante, es el agua del acueducto de la ciudad de Bogotá, necesaria para la elaboración del almidón de yuca.

2.1.5 Prensa Mecánica

Maquina implementada para hacer presión, se utiliza en la industria como un elemento de sujeción y también como un elemento de conformado de piezas, se compone de un tornillo de potencia que es un dispositivo que cambia el movimiento angular en movimiento lineal y por lo tanto es muy útil para generar compresión en elementos y piezas. Las vulcanizadoras de plásticos son un ejemplo claro donde utilizan este tipo de mecanismo. Fue necesaria para la compactación y fabricación de las probetas, se le adapto dos resistencias de 1600W cada una, elemento que convierte la energía eléctrica en energía térmica, utilizado para calentar los moldes donde se introducía el material a compactar y un termostato de 0 a 300°C, que se utilizó para regular y mantener la temperatura adecuada de manera automática.

Figura 24 Prensa mecánica



Fuente: Los Autores

2.1.6 Trituradora

Se define como una maquina capaz de disminuir las partículas de tamaño de un material, puede convertir un objeto macizo en fibras, partículas y polvos, se utiliza para transformar el bagazo en fibras y polvo. Las características de la trituradora son las siguientes: marca TRAPP, referencia TRF300 y potencia 4HP

Figura 25 Trituradora



Fuente: Los autores

2.1.7 Cronometro

Elemento de precisión para medir intervalos de tiempo muy pequeños con precisión de 1 centésima de segundo. Se utiliza para medir el tiempo de compactado y de inducción de calor a las probetas.

Figura 26 Cronometro



Fuente: Los Autores

2.1.8 Balanza digital

Elemento de medición que se utilizó para medir los pesos de la probetas con un máximo peso de 30 kg y una precisión de 1 gr.

Figura 27 Balanza digital



Fuente: Los Autores

2.1.9 Máquina universal de ensayos

Se utilizó la máquina universal de ensayos del centro de materiales y ensayos del SENA, que es marca SHIMADZU referencia UH-50A. Con una capacidad de 100 KN y se utilizó una velocidad de 5 mm/min

Figura 28 Máquina universal de ensayos



Fuente: Los Autores

2.1.10 Péndulo de impacto

Se optó por utilizar un péndulo ya que la máquina de impacto Charpy de la Universidad Santo Tomas no estaba en óptimas condiciones para este trabajo.

Figura 29 Máquina de impacto Charpy



Fuente: Los Autores

2.2 METODOLOGÍA

Calculo teórico de longitud de fibra crítica

Para verificar teóricamente que la fibra es adecuada, se utiliza la ecuación (4) de longitud de fibra crítica, donde se calcula la longitud mínima que debería tener la fibra.

$$l_c = \frac{\sigma_f \cdot d}{2\tau_c} \quad (4)$$

Fuente: (3)

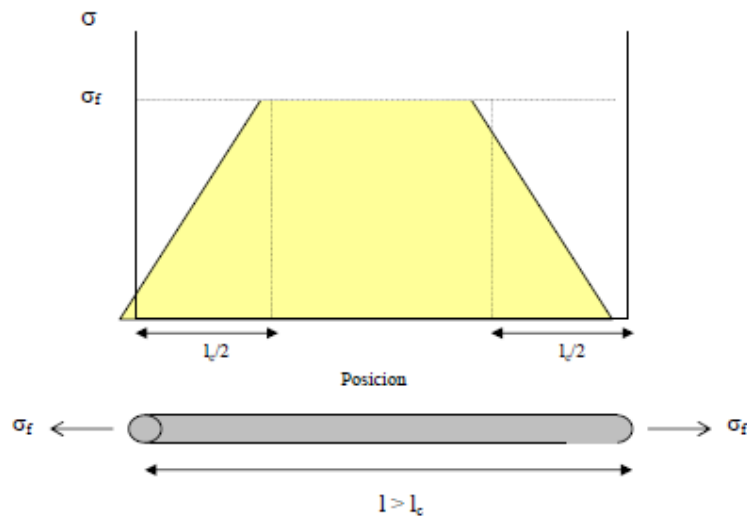
Donde σ_f es la resistencia a la tracción. d es el diámetro de la fibra y τ_c es el esfuerzo a la cizalla.

Tabla 6 Datos usados para el calculo de la longitud critica

σ_f (Mpa)	d (m)	τ_c (Mpa)	l_c (mm)
222	0,000034	20	0,1887

Esto quiere decir que la fibra es adecuada ya que la longitud de la fibra triturada es mayor a la longitud crítica, por lo que tiene el mejor perfil de disposición de esfuerzos como se muestra en la Figura 30.

Figura 30 Perfil de disposición de esfuerzos cuando la fibra es mayor a la longitud crítica



Fuente: (3)

Para la obtención de las mezclas y las variables adecuadas del proceso, se implementó una metodología de ensayo y error, la cual consistía en fijar una variable del proceso, en este caso fue la temperatura la cual fue de 180°C. Puesto que se dificultaba manipular el proceso a mayores temperaturas debido a que la seguridad de los autores se podía ver en riesgo de una quemadura.

Cabe resaltar que la variable de presión no se tuvo en cuenta en el proceso, sin embargo, se compactó la mezcla en la prensa de tornillo con el mismo número de vueltas para todas las probetas, para tratar de garantizar la misma presión en todas las formulaciones.

Para determinar la variable de tiempo de cocción del material compuesto, se realizó con una mezcla en donde el almidón humedecía completamente las fibras de bagazo como se muestra en la Figura 31, para garantizar que la matriz recubriera todo el refuerzo y que el compuesto resultante no se le desprendiera las fibras fácilmente. Como se muestra en la figura

Figura 31 Bagazo humedecido completamente por el almidón



Fuente: Los Autores

Para llegar a un tiempo de cocción adecuado se realizó lo siguiente:

se variaron los tiempos, cuando eran menores a los 17 minutos, se obtenía que el material no lograba una buena consistencia, debido a que el almidón no se alcanzaba a secar dentro de las fibras de bagazo de caña.

Con tiempos mayores de 25 minutos el bagazo de caña se quemaba como en la Figura 32. Luego de manipularlo con las manos, se desintegraba fácilmente.

Figura 32 Compuesto quemado



Fuente: Los Autores

Como el compuesto quedaba en condiciones adecuadas Figura 33 en los intervalos de tiempo de 17 a 25 minutos, se opta por dejar un tiempo de 20 minutos. Para llegar a estos valores, se realizaron varias pruebas en el material que duró más de 2 semanas.

Figura 33 Compuesto adecuado

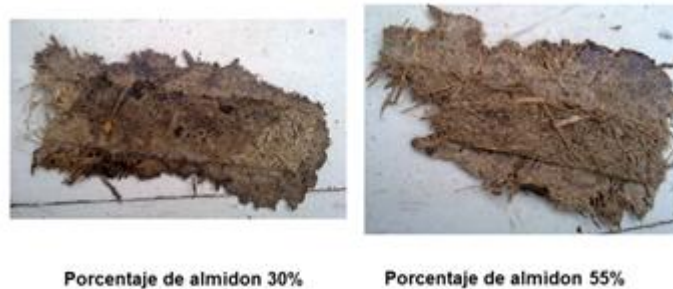


Fuente: Los Autores

Teniendo claro las variables del proceso de fabricación del compuesto, se pasa a determinar los porcentajes de mezcla en peso de la matriz y el refuerzo

En primera medida se varió la mezcla de almidón y bagazo por porcentajes de mezcla en peso y se obtuvo que al tener porcentajes menores del 70% no habrá una buena unión entre la matriz refuerzo y el material se deshará fácilmente, como se muestra en la Figura 34.

Figura 34 Mezclas con porcentajes menores del 70%



Fuente: Los Autores

Si se satura la mezcla, superando el 80% de almidón habrá desperdicios notables de almidón como se muestra en la Figura 35 y tendrá un tiempo mayor para que esté listo el material. En pocas palabras su cocción será más lenta y sus variables de tiempo se verán afectadas.

Figura 35 Mezcla saturada porcentaje de almidón mayor al 80%



Fuente: Los Autores

Por esta razón se tomaron porcentajes de mezcla de almidón entre 70 y 80% que se muestran en la tabla.

Tabla 7 Porcentajes de almidón

Almidón (%)
72
75
78

Fuente: Los Autores

2.2.1 Preparación de materias primas

2.2.1.1 Secado del bagazo

En el proceso de secado se busca que el bagazo esté libre de sacarosa y que se encuentre lo más seco posible, para evitar que se dañe.

Ya que no existe un método estandarizado para el secado de la caña, se optó por un secado similar al del café, el cual consistió en regar todo el material por 2 días soleados 6 horas por día en un sitio descubierto al ambiente a temperaturas entre los 20C° y 24C° y humedad relativa entre 50% y 60%.

Las pruebas se realizaron en el mes de enero entre los días 20 y 24 basándose en datos consultados en el IDEAM (44) esos días se obtuvieron temperaturas de 22C° en Bogotá con humedades relativas del 45% al 59% y se dejó el bagazo en un sitio descubierto al ambiente.

Para tratar de garantizar que el bagazo tuviera las mismas propiedades, se toma una muestra de la misma procedencia y se seca un único lote, con el cual se fabrican todas las probetas.

2.2.1.2 Triturado del bagazo

En este proceso se obtienen tres tamaños diferentes como se muestra en la Figura 36, los polvos que pueden cubrir los vacíos y defectos que dejan las fibras y darle mayor estética al material, las fibras que le dan buena resistencia a la tracción al material y no presentan ningún problema a la hora de la mezcla y las astillas menores de 3 cm pueden utilizarse para la formación del material.

El proceso de trituración del material duró 15 minutos y se obtienen fibras como se ilustra en la figura 36.

Para seleccionar las fibras adecuadas, se clasificó manualmente, teniendo presente que las fibras mayores a 3 cm se devuelven a la trituradora.

Figura 36 Presentaciones del bagazo triturado polvo, fibra y astillas



Fuente: Los Autores

2.2.1.3 Preparación del almidón de yuca

Para la preparación del almidón se utiliza harina de yuca al 70 %, glicerina al 18% y agua al 12%, se revuelven las tres hasta obtener una mezcla homogénea, después se calienta a 67°C por 15 minutos, donde queda una mezcla como se muestra en la figura 37, esto según la investigación de GLADYS RUIZ.

Figura 37 Mezcla de almidón 70%, glicerina 18% y agua 12%



Fuente: Los Autores

2.2.2 Fabricación de las probetas

2.2.2.1 Mezclado

Se mezcló el almidón con el bagazo, en los porcentajes ya establecidos para la realización del experimento.

Figura 38 Mezcla bagazo almidón



Fuente: Los Autores

2.2.2.2 Compactado

En este proceso se busca que la matriz se acople al refuerzo y se logre la unión en el molde, para garantizar la misma fuerza de compresión debido a que no se contaba con un sensor de presión en la prensa, se daban diez vueltas al tornillo de potencia dejándolo siempre en la misma posición para tratar de garantizar que la compresión fuera la misma en la fabricación de todas las probetas. Se prensa con un dado con la forma de la probeta por 20 minutos a una temperatura de 180°C).

Figura 39 Probeta compactada



Fuente: Los Autores

2.2.2.3 Verificación dimensional e inspección visual

Se verifica que las probetas tengan las dimensiones indicadas en la norma y que no presenten defectos como falta de compactación, fragilidad o algún tipo de abertura. Se desecharon las probetas que no cumplían con las especificaciones.

Figura 40 Probeta terminada

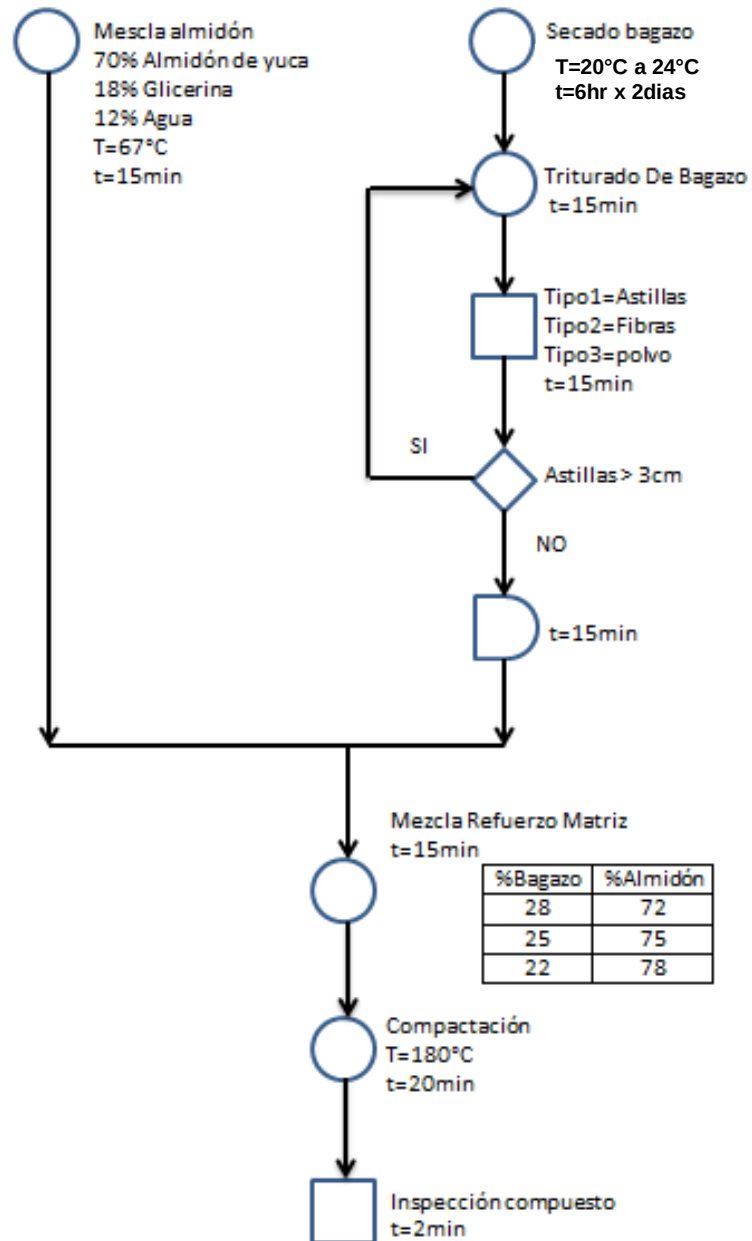


Fuente: Los Autores

2.2.3 Mapa de proceso

Se define el mapa de proceso como se muestra en la Figura 41

Figura 41 Mapa de proceso



Fuente: Los Autores

2.2.4 Realización ensayos mecánicos

2.2.4.1 Ensayo de tensión

El ensayo de tensión se realizó en las instalaciones del SENA en el centro de materiales y ensayos. En total se realizaron 15 pruebas, obteniéndose los siguientes resultados.

Tabla 8 Resultados ensayo de tensión

Espécimen	Porcentaje de almidón	Carga ultima (Kgf)
1	72	57
2	72	51
3	72	63
4	72	93
5	72	61
6	75	44
7	75	56
8	75	58
9	75	53
10	75	60
11	78	45
12	78	33
13	78	34
14	78	50,5
15	78	49

Fuente: Los Autores

Figura 42 Probeta montada en la maquina



Fuente: Los Autores

2.2.4.2 Ensayo de impacto

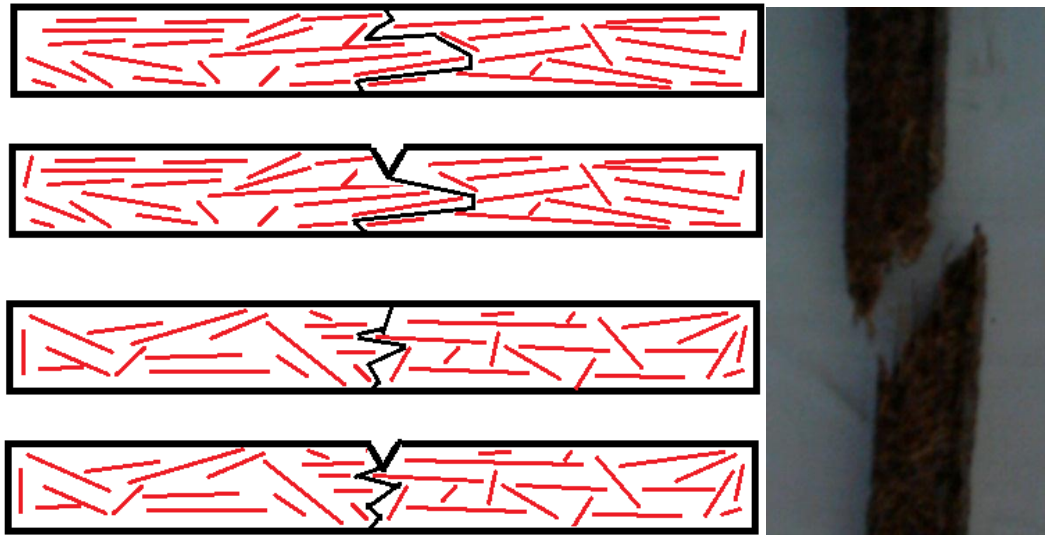
Para el ensayo de impacto se usaron probetas sin muesca.

Según Michael R. Kessler muchas pruebas de impacto Charpy para compuestos se realizan sin la muesca. (44), Adicionalmente al realizar las muescas en las probetas se observaban irregularidades en el interior.

El apartado 7.5 de la ASTM D 6110-02, dice que las probetas deben estar libres de discontinuidades, de lo contrario se rechazan. La muesca también desprotegería el refuerzo y la matriz no podría cumplir una de sus funciones más importantes, transmitir los esfuerzos a las fibras, por lo tanto se optó por no realizar la muesca.

Cuando se realizan ensayos de impacto para materiales compuestos la energía adsorbida por la probeta tiende a irse por las fibras y el material no se comporta como un metal o un plástico en los cuales la fractura es más paralela al impacto, por lo tanto lo único que haría la muesca sería disminuir el área de la sección resistente como se muestra en la figura 43.

Figura 43 Ejemplo de falla con y sin muesca



Fuente: Los Autores

Además se tuvieron bastantes inconvenientes a la hora de hacer la entalla de la probeta, debido a que el material no soportaba la carga y muchas probetas se rompieron antes de poder lograr la muesca deseada.

Figura 44 Probetas con Muesca



Fuente: Los Autores

Sin embargo después de varios intentos se logró un reducido número de probetas con entalla, como se puede observar en la Figura 43, lo cual se le hacen las respectivas pruebas de impacto. A pesar de ello no hubo cambios considerables en la tenacidad del compuesto como se muestra en la tabla 9 y de esta manera se optó por hacer las demás probetas sin entalla.

Tabla 9 Resultados ensayo a impacto con muesca

Espécimen	Tenacidad J
1	2,16
2	2,86
3	2,54

Fuente: Los Autores

Se realizaron 10 pruebas con la máquina de ensayo Charpy y se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 10 Resultados ensayo a impacto sin muesca

Espécimen	Tenacidad (J)
1	1,78
2	2,22
3	2,22
4	1,78
5	2,67
6	2,22
7	2,67
8	3,12
9	2,22
10	3,12

Fuente: Los Autores

Se analizó solo la mezcla del 72% de almidón, ya que en los resultados de tracción las cargas más elevadas se obtuvieron con esta mezcla.

3 RESULTADOS

3.1 CALCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD TEÓRICO

El módulo de elasticidad teórico se calculó con la ecuación 5.

$$E_c = K \cdot E_f \cdot V_f + E_m \cdot V_m \quad (5)$$

Fuente: (3)

Tabla 11 Eficacia del refuerzo según la orientación de la fibra

Orientación de la fibra	Dirección del esfuerzo	Eficacia del refuerzo (K)
Todas las fibras paralelas	Paralela a las fibras	1
	Perpendicular a las fibras	0
Fibras orientadas al azar y uniformemente distribuidas en un plano específico	Cualquier dirección en el plano de las fibras	3/8
Fibras orientadas al azar y uniformemente distribuidas en el espacio de 3D	Cualquier dirección	1/5

Fuente: (3)

Donde K es la eficacia del refuerzo de materiales compuestos dependiendo de la orientación de las fibras, para este caso es de $1/5$ según la Tabla 11, E_f es el módulo de elasticidad de la fibra, E_m es el módulo de elasticidad de la matriz, V_f fracción de volumen de la fibra y V_m es la fracción de volumen de la matriz.

Como los porcentajes se manejaron por peso, se hallaron los volúmenes con las siguientes ecuaciones.

$$m_T = (1 - \%almidón)\rho_f V_f + \%almidón\rho_m V_m \quad (6)$$

$$V_T = V_f + V_m \quad (7)$$

Fuente: Los Autores

Donde m_T es la masa de la probeta, ρ_f, ρ_m son las densidades de la fibra y la matriz respectivamente, V_T es el volumen de la probeta y %*al* es el porcentaje de almidón.

Tabla 12 Datos usados para el cálculo de las fracciones volumétricas

$m_T(\text{g})$	$\rho_f(\text{Kg/m}^3)$	$\rho_m(\text{Kg/m}^3)$	$V_T(\text{cm}^3)$
18	1560	87	36,29

Fuente: Los Autores

Se hallan los valores de las fracciones de volúmenes de las fibras y de la matriz.

Tabla 13 Fracciones volumétricas

% <i>almidón</i>	$V_f(\text{cm}^3)$	$V_m(\text{cm}^3)$
72	20,71	15,57
75	21,30	14,98
78	21,84	14,44

Fuente: Los Autores

Por último se hallan los valores de los módulos de elasticidad del compuesto teórico para cada porcentaje de almidón.

Tabla 14 Módulos de elasticidad teóricos

% <i>almidón</i>	$E_c(\text{Gpa})$
72	3,102
75	3,190
78	3,270

Fuente: Los Autores

3.2 RESULTADOS DE CADA MUESTRA A TRACCIÓN

Tabla 15 Espécimen 1 Tensión

Espécimen 1			
			
Espesor (mm)	4,76	Carga Ultima (N)	559,17
Ancho (mm)	25,4	Tensión Ultima (Mpa)	4,62
% Almidón	72		

Fuente: Los Autores

Tabla 16 Espécimen 2 Tensión

Espécimen 2			
			
Espesor (mm)	4,76	Carga Ultima (N)	500,31
Ancho (mm)	25,4	Tensión Ultima (Mpa)	4,13
% Almidón	72		

Fuente: Los Autores

Tabla 17 Espécimen 3 Tensión

Espécimen 3			
			
Espesor (mm)	4,76	Carga Ultima (N)	618,03
Ancho (mm)	25,4	Tensión Ultima (Mpa)	5,11
% Almidón	72		

Fuente: Los Autores

Tabla 18 Espécimen 4 Tensión

Espécimen 4			
			
Espesor (mm)	4,76	Carga Ultima (N)	912,33
Ancho (mm)	25,4	Tensión Ultima (Mpa)	7,54
% Almidón	72		

Fuente: Los Autores

Tabla 19 Espécimen 5 Tensión

Espécimen 5			
			
Espesor (mm)	4,76	Carga Ultima (N)	598,41
Ancho (mm)	25,4	Tensión Ultima (Mpa)	4,95
% Almidón	72		

Fuente: Los Autores

Tabla 20 Espécimen 6 Tensión

Espécimen 6			
			
Espesor (mm)	4,76	Carga Ultima (N)	431,64
Ancho (mm)	25,4	Tensión Ultima (Mpa)	3,57
% Almidón	75		

Fuente: Los Autores

Tabla 21 Espécimen 7 Tensión

Espécimen 7			
			
Espesor (mm)	4,76	Carga Ultima (N)	549,36
Ancho (mm)	25,4	Tensión Ultima (Mpa)	4,54
% Almidón	75		

Fuente: Los Autores

Tabla 22 Espécimen 8 Tensión

Espécimen 8			
			
Espesor (mm)	4,76	Carga Ultima (N)	568,98
Ancho (mm)	25,4	Tensión Ultima (Mpa)	4,7
% Almidón	75		

Fuente: Los Autores

Tabla 23 Espécimen 9 Tensión

Espécimen 9			
			
Espesor (mm)	4,76	Carga Ultima (N)	519,93
Ancho (mm)	25,4	Tensión Ultima (Mpa)	4,3
% Almidón	75		

Fuente: Los Autores

Tabla 24 Espécimen 10 Tensión

Espécimen 10			
			
Espesor (mm)	4,76	Carga Ultima (N)	588,6
Ancho (mm)	25,4	Tensión Ultima (Mpa)	4,86
% Almidón	75		

Fuente: Los Autores

Tabla 25 Espécimen 11 Tensión

Espécimen 11			
			
Espesor (mm)	4,76	Carga Ultima (N)	441,45
Ancho (mm)	25,4	Tensión Ultima (Mpa)	3,65
% Almidón	78		

Fuente: Los Autores

Tabla 26 Espécimen 12 Tensión

Espécimen 12			
			
Espesor (mm)	4,76	Carga Ultima (N)	323,73
Ancho (mm)	25,4	Tensión Ultima (Mpa)	2,68
% Almidón	78		

Fuente: Los Autores

Tabla 27 Espécimen 13 Tensión

Espécimen 13			
			
Espesor (mm)	4,76	Carga Ultima (N)	333,54
Ancho (mm)	25,4	Tensión Ultima (Mpa)	2,76
% Almidón	78		

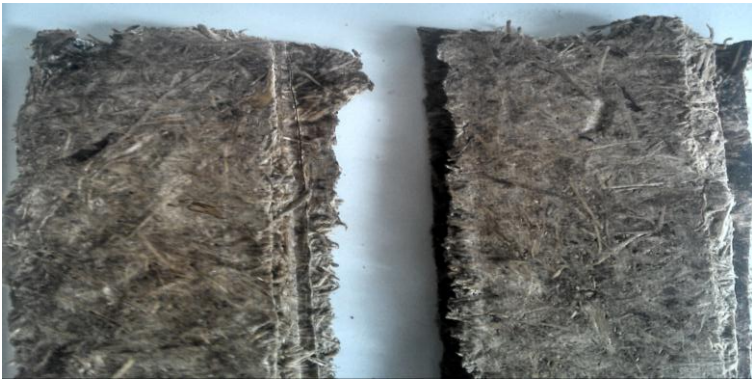
Fuente: Los Autores

Tabla 28 Espécimen 14 Tensión

Espécimen 14			
			
Espesor (mm)	4,76	Carga Ultima (N)	495,4
Ancho (mm)	25,4	Tensión Ultima (Mpa)	4,09
% Almidón	78		

Fuente: Los Autores

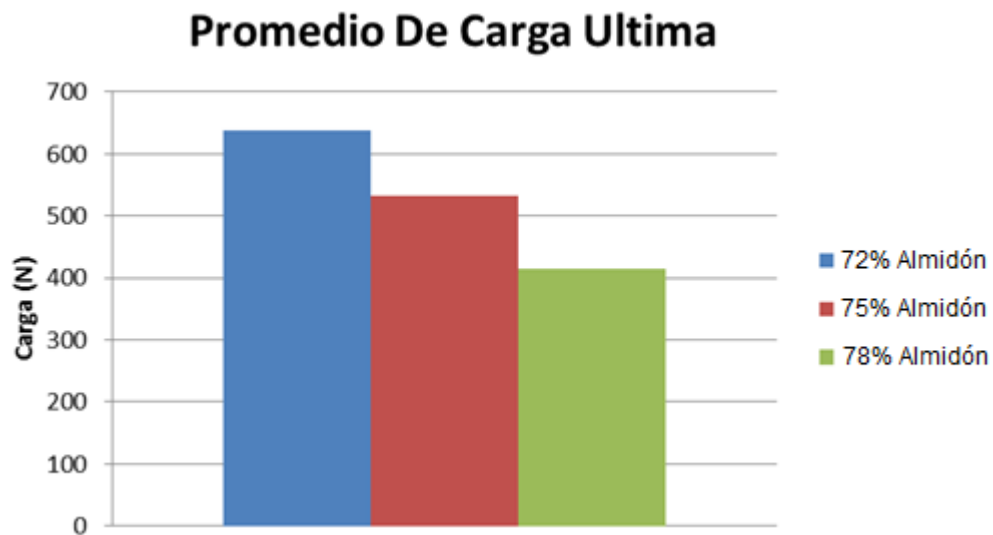
Tabla 29 Espécimen 15 Tensión

Espécimen 15			
			
Espesor (mm)	4,76	Carga Ultima (N)	480,69
Ancho (mm)	25,4	Tensión Ultima (Mpa)	3,97
% Almidón	78		

Fuente: Los Autores

3.2.1 Grafico comparativo de muestras a tracción.

Figura 45 Promedio de carga última



Fuente: Los Autores

3.2.2 Diseño de experimentos

Para el diseño de experimentos se utilizó el análisis de varianza de un solo factor con 3 niveles y un método de comparación múltiple el LSD de Fisher, el cual es

fácil de calcular, trabaja con la distribución t student y es muy sensible a variaciones muy pequeñas. (42)

Después de realizar los ensayos de tracción, se obtuvieron datos en una matriz de experimentos de la siguiente manera:

Tabla 30 Matriz de resultados

% almidón	probeta 1	probeta 2	probeta 3	probeta 4	probeta 5
	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf
72	57	51	63	93	61
75	44	56	58	53	60
78	45	33	34	50,5	49

Fuente: Los Autores

Debido a la variabilidad de los datos se utiliza el método de ANOVA para determinar si el refuerzo de las fibras afecta la resistencia del material.

Se analizan las muestras con el mismo tamaño mediante una tabla ANOVA calculada en Excel, que se muestra en las tablas 31 y 32:

Tabla 31 Resumen

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
72	5	325	65	266
75	5	271	54,2	39,2
78	5	211,5	42,3	68,7

Tabla 32 Análisis de varianza

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	1289,233333	2	644,6166667	5,172104841	0,023993715	3,885293835
Dentro de los grupos	1495,6	12	124,6333333			
Total	2784,833333	14				

Donde el origen de las variaciones entre los grupos se refiere a los porcentajes de mezcla y dentro de los grupos se refiere al error de lo que no se puede explicar entre los porcentajes, la probabilidad (p) que tiende a cero, dice que se rechaza la hipótesis nula que dice que la variación del porcentaje de mezcla no afectaría al compuesto, F o numero Fisher es el cociente entre los promedios de los cuadrados y como es mayor a 1, significa que efectivamente los distintos niveles del factor no producen el mismo efecto en la variable respuesta, quiere decir que los porcentajes de bagazo pueden afectar la resistencia del material.

Para determinar cuáles porcentajes de mezcla son significativamente distintos, se utilizó un método de comparación múltiple *LSD* de Fisher, se utilizó la ecuación 8 de *LSD* (*least significant difference*) para igual tamaño de muestra.

$$LSD = t_{\alpha/2, n_A(n-1)} \sqrt{\frac{2MSE}{n}} \quad (8)$$

Fuente: (42)

Donde n_A es la cantidad de mezclas, n son las observaciones o pruebas por mezcla, α es la confianza, el *MSE* es el promedio de cuadrados dentro de los grupos.

Para una confiabilidad del 95% $t_{0,025,12} = 2.1788$ y $MSE = 124,63$, el *LSD* dio:

$$15,382$$

$$\bar{y}_{72\%} = 65kgf$$

$$\bar{y}_{75\%} = 54,2kgf$$

$$\bar{y}_{78\%} = 42,3kgf$$

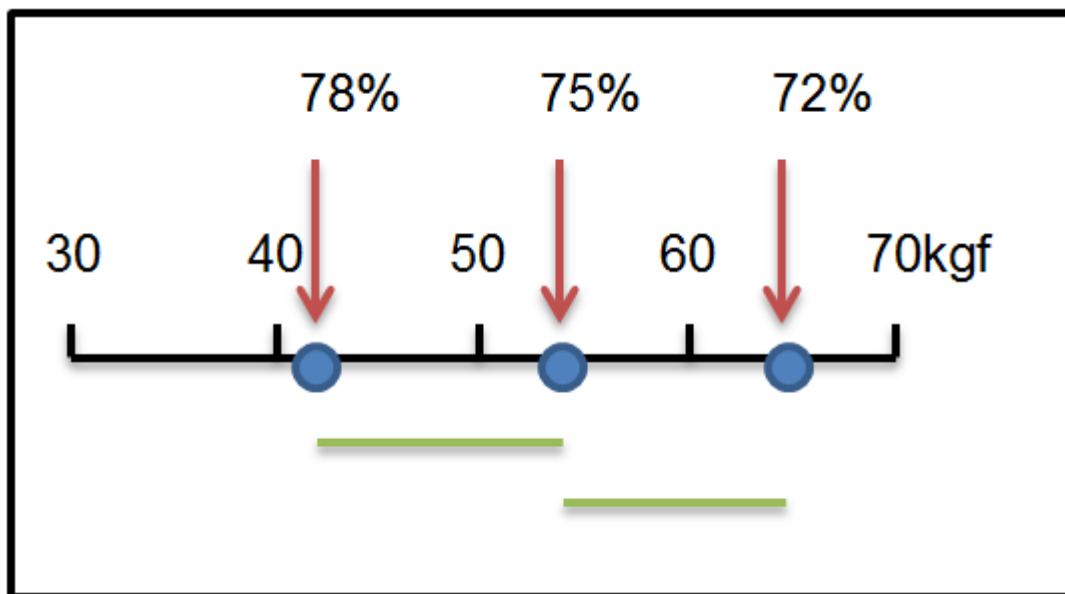
Tabla 33 Tabla de comparación entre las medias de porcentajes de almidón

Enfrentamiento Porcentajes de almidón	Diferencias de medias (Kgf)	Comparación con el LSD
75% Vs 72%	10,8	<15,38
78% Vs 72%	22,7	>15,38
78% Vs 75%	11,9	<15,38

Fuente: Los Autores

El análisis indica que existe una diferencia significativa entre las mezclas del 78% y 72% de almidón, mientras que entre los otros dos porcentajes de mezcla no existe una diferencia significativa, lo que quiere decir que la diferencia en la resistencia entre los porcentajes de mezcla de almidón del 75% con el 72% y 78% con el 75% es pequeña.

Figura 46 Graficas de las medias de los porcentajes observadas



Fuente: Los Autores

Gráfico de las medias observadas, como se muestra en la Figura 46 las medidas que no difieren significativamente están subrayadas.

Comparación de los módulos de elasticidad teóricos con los reales

En promedio de las 15 probetas estuvo en los 5mm sin afectar el porcentaje de almidón, la deformación por lo tanto es de 0,01818 y los módulos de elasticidad se muestran en la tabla 34.

Tabla 34 Módulos de elasticidad

% almidón	Módulo de elasticidad (Mpa)
72	289,869896
75	241,706898
78	188,638409

Fuente: Los Autores

3.3 RESULTADOS DE CADA MUESTRA A IMPACTO

Tabla 35 Espécimen 1 Impacto

Espécimen 1			
			
Espesor (mm)	12,7	Longitud (mm)	127
Ancho (mm)	12,7	Tenacidad (J)	1,78
% Almidón	72		

Fuente: Los Autores

Tabla 36 Espécimen 2 Impacto

Espécimen 2			
			
Espesor (mm)	12,7	Longitud (mm)	127
Ancho (mm)	12,7	Tenacidad (J)	2,22
% Almidón	72		

Fuente: Los Autores

Tabla 37 Espécimen 3 Impacto

Espécimen 3			
			
Espesor (mm)	12,7	Longitud (mm)	127
Ancho (mm)	12,7	Tenacidad (J)	2,22
% Almidón	72		

Fuente: Los Autores

Tabla 38 Espécimen 4 Impacto

Espécimen 4			
			
Espesor (mm)	12,7	Longitud (mm)	127
Ancho (mm)	12,7	Tenacidad (J)	1,78
% Almidón	72		

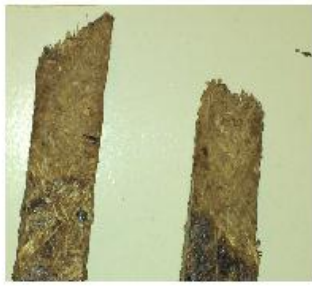
Fuente: Los Autores

Tabla 39 Espécimen 5 Impacto

Espécimen 5			
			
Espesor (mm)	12,7	Longitud (mm)	127
Ancho (mm)	12,7	Tenacidad (J)	2,67
% Almidón	72		

Fuente: Los Autores

Tabla 40 Espécimen 6 Impacto

Espécimen 6			
			
Espesor (mm)	12,7	Longitud (mm)	127
Ancho (mm)	12,7	Tenacidad (J)	2,22
% Almidón	72		

Fuente: Los Autores

Tabla 41 Espécimen 7 Impacto

Espécimen 7			
			
Espesor (mm)	12,7	Longitud (mm)	127
Ancho (mm)	12,7	Tenacidad (J)	2,67
% Almidón	72		

Fuente: Los Autores

Tabla 42 Espécimen 8 Impacto

Espécimen 8			
			
Espesor (mm)	12,7	Longitud (mm)	127
Ancho (mm)	12,7	Tenacidad (J)	3,12
% Almidón	72		

Fuente: Los Autores

Tabla 43 Espécimen 9 Impacto

Espécimen 9			
			
Espesor (mm)	12,7	Longitud (mm)	127
Ancho (mm)	12,7	Tenacidad (J)	2,22
% Almidón	72		

Fuente: Los Autores

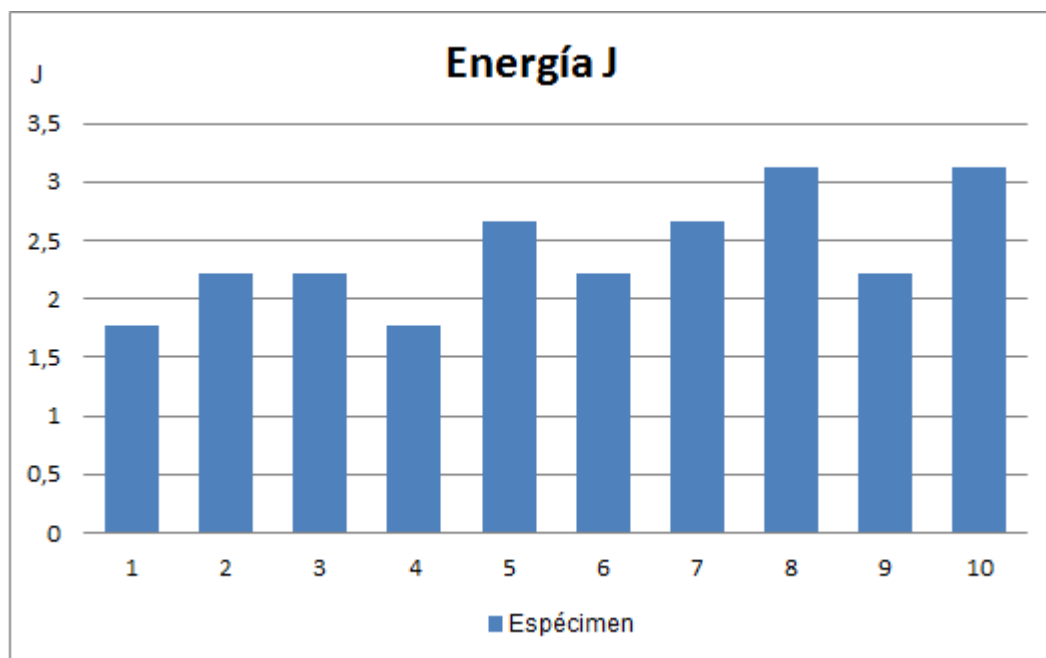
Tabla 44 Espécimen 10 Impacto

Espécimen 10			
			
Espesor (mm)	12,7	Longitud (mm)	127
Ancho (mm)	12,7	Tenacidad (J)	3,12
% Almidón	72		

Fuente: Los Autores

3.3.1 Grafico comparativo de muestras a impacto

Figura 47 Comparación de la energía absorbida de las probetas a impacto al 72% de almidón



Fuente: Los Autores

La varianza de los datos obtenidos de la prueba de impacto estuvo en el rango de 1 a 3 Joule de energía aproximadamente. Se decidió implementar un análisis básico de los datos, arrojando los siguientes resultados:

Tabla 45 resultados estadísticos de las probetas a impacto a 72% de almidón

Promedio	Varianza	Desviación estándar	coeficiente de variación
2,402	0,23121778	0,4808511	0,2001878

Fuente: Los Autores

Al tener una varianza de solo el 23%, se puede establecer que la tenacidad del material es el promedio de las energías absorbidas de todas las pruebas, esto es, 2,4 J de energía.

3.4 ANALISIS COMPARATIVO DEL COMPUESTO

En primera medida se comparo la resistencia del material bagazo/almidon con otros aglomerados como se muestra en la Tabla 46. Este material ocupó el

segundo puesto Figura 48, donde se puede observar que puede servir para distintas aplicaciones en la industria.

Ademas de ver que los materiales como el contrachapado, el tablex y el aglomerado, se usan bastante para la construccion de viviendas domesticas, para el piso, las paredes e incluso los muebles.

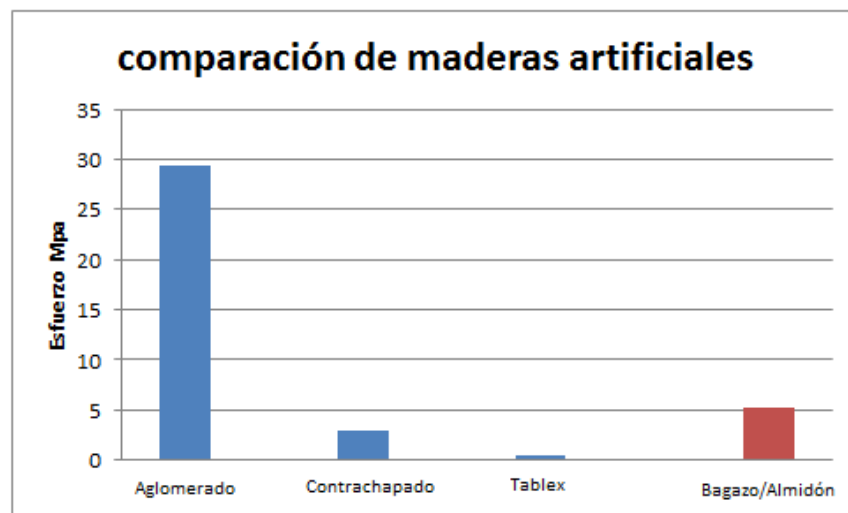
Tabla 46 Esfuerzos de los compuestos

Maderas artificiales	Resistencia (Mpa)
Aglomerado	29,418
Contrachapado	2,8633
Tablex	0,4903
Bagazo/Almidón	5,27

Fuente: Los Autores

Los anteriores datos fueron encontrados en catalogos de las siguientes empresas,Tablemac, empresa colombiana de construccion de viviendas de interes social, WISA, empresa de contrachapado finlandes y Pizano S.A empresa dedicada a fabricar maderas artificiales.

Figura 48 Grafica comparativa con otros compuestos



Fuente: Los Autores

CONCLUSIONES

- Según el método de Fisher se concluyó que al comparar las mezclas del 78% con el 72% de almidón, existe una diferencia clara en la resistencia a la tensión del material.
- La mezcla de 75% de almidón tiene la resistencia a la tracción del material cercana con respecto a las otras dos mezclas.
- La resistencia a la tracción del compuesto, fue comparable con otros aglomerados comerciales.
- El coeficiente estadístico de Anova es mayor a 1, lo que lleva a afirmar que los porcentajes de mezcla del bagazo de caña con respecto al almidón si afectan la resistencia del material.
- En este material la ausencia de muesca no afectó considerablemente los resultados de los ensayos de impacto.
- Según los datos encontrados de la fibra de bagazo de caña en los módulos de elasticidad teóricos, no son comparables con los reales, debido a que los autores caracterizan la fibra con diámetros cercanos a los $34\text{ }\mu\text{m}$, mientras que el compuesto tiene fibras con diámetros más grandes.

RECOMENDACIONES

1. Para trabajos futuros se recomienda realizar otros ensayos mecánicos que permitan complementar la caracterización del material mediante la determinación de otras propiedades mecánicas. Se recomienda realizar pruebas de humedad, para conocer el porcentaje exacto, de absorción de agua del compuesto y su comparativo con otros aglomerados.
2. Se recomienda realizar pruebas de absorción de agua del compuesto de tal forma que su permeabilidad pueda ser comparada con la de otros compuestos.
3. También, se pueden realizar pruebas de degradabilidad, para determinar el tiempo que tarda en deshacerse en el ambiente y estimar vida útil del compuesto en condiciones de intemperie.
4. Se debería hacer un ensayo de micrografía para detectar discontinuidades microscópicas y ver cómo se comporta la interfase.
5. Se puede caracterizar mediante análisis de calorimetría para conocer su comportamiento frente al calor y la máxima temperatura que puede soportar el compuesto sin que pierda sus propiedades.
6. Se debería realizar el compuesto en una configuración tipo sándwich, como el triplex, ya que podría mejorar sus propiedades considerablemente y sería otro tipo de material compuesto de la familia de los tipos paneles.
7. Se puede tratar las fibras químicamente mediante un proceso de tamizado y solución alcalina para que tenga mejor agarre la matriz al refuerzo y por ende mejoren sus propiedades mecánicas.

8. Para futuras investigaciones se recomienda introducir como variable la presión de compactación y controlar la humedad relativa y la temperatura de secado.
9. Es recomendable hacer un estudio sobre las fibras del bagazo que se encuentran en Colombia, ya que hay muy poca información sobre las propiedades mecánicas del bagazo.
10. Haciendo un estudio de costos, se podría verificar si el material es rentable para fabricar muebles aglomerados

BIBLIOGRAFÍA

1. **AGULAR, SAHAGUN.** *El hombre y los materiales.* Ciudad de México : Fondo de cultura económica, 1988. 9681652657.
2. **ASKELAND, DONALD.** *Ciencia e ingeniería de materiales.* Missouri : Thompson internacional, 2004. 9706863613.
3. **CALLISTER, WILLIAM.** *Ciencia e ingeniería de los materiales.* Utah : Reverté S.A, 1997. 10-0470419970.
4. **SANCHEZ, VERGARA.** *Tecnología de materiales.* Ciudad de México : Trillas S.A, 2010. 6071703387.
5. **NEWELL, JAMES.** *Ciencia de materiales.* Stanford : Alfaomega, 2010. 6077071145.
6. **HASHEMI, JAVAD y SMITH, WILLIAM.** *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales.* Florida : McGraw-Hill Interamericana editores S.A., 2004. 9701056388.
7. **LEIDINGER, OTTO.** *Procesos industriales.* Lima : Fondo editorial UCP, 1997. 9972-42-078-7.
8. **GARCÍA, SERGIO.** Referencias históricas y evolución de los plásticos. Valencia : Revista de investigación área de innovación, 2008.
9. **KALPAKJIAN, STEVEN R.** *Manufactura, ingeniería y tecnología.* México : Pearson, 2002. 84-8301-820-9 .
10. **MERE MARCOS, JAVIER.** Estudio del procesado de un polímero termoplástico basado en almidón de patata amigable con el medio ambiente. *Proyecto de grado.* Madrid : Facultad de ingeniería química, 2009.
11. **GARCÍA DEL POZO, MARÍA y DÍAZ LLORENS, FRANCESC.** planta de producción de ácido láctico. *Proyecto de Grado.* Barcelona : Universidad autónoma de Barcelona, 2010.
12. **RUIZ, GLADYS.** *Degradabilidad de un polímero de almidón de yuca.* Medellín : Escuela de ingeniería de Medellín, 2009. 1794-1237.

13. **CASTRO, GUILLERMO.** Fundamentos de conformado de plástico. *Tesis de Maestría*. Buenos Aires : Departamento de ingeniería mecánica F.I.U.B.A, 2008 .
14. **SHEBOYGAN.** *Moldeo por Compresión*. United States : LAKESHORE. 53082-0758.
15. **BESEDNJAK, ALEJANDRO.** *Materiales compuestos*. Barcelona : UPC, 2005. 84-8301-820-9.
16. **BUDYNAS, NISBETT.** *Shigley's Mechanical Engineering Desing*. Missouri : McGraw-Hill Primis, 2008 . 0-390-76487-6.
17. **UNIVERSIDAD TÉCNICA DE NAVARRA.** *Materiales compuestos*. Madrid : Tecnun, 2002.
18. **KIRSCHENBAUM, JUAN MANUEL.** *Guía didáctica Materiales y materias primas*. Buenos Aires : Instituto Nacional de Educación Tecnológica Buenos Aires, 2010. 789.C1229ACE.
19. **MOHINI, SAXENA y ASOKAN, PAPPU.** Composite Materials from Natural Resources: Recent Trends and Future Potentials, CSIR- Advanced Materials and Processes Research Institute Council of Scientific & Industrial Research. India : s.n., 2011.
20. **ESTRADA MEJIA, MARTIN.** Extracción y caracterización mecánica de las fibras de bambú (*Guadua angustifolia*) para su uso potencial como refuerzo de materiales compuestos. *Tesis de Maestría*. Bogotá : Universidad de los Andes, 2010.
21. **PUNYAPRIYA, MISHRA.** *development and characterization of low cost composite from sugarcane bagasse waste (Tesis doctoral)*. India : National Institute of Technology Rourkela , 2011.
22. **K.L.PICKERING.** *Properties and performance of natural-fibre composites*. Massachusetts : WP, 2008. 978-1-84569-267-4.
23. **AIMPLAST.** Desarrollo sostenible de materiales termoplásticos compuestos basados en fibras naturales para aplicación en el sector automoción. Madrid : s.n., 2010.
24. **MATA CABRERA, FRANCISCO.** Utilización de composites de matriz polimérica en la fabricación de automóviles. Castilla : Revista Técnica Industrial, 2004.

25. **CASAMATRIZ.** catálogo de representaciones PQ. Santiago de Chile : s.n., 2011.
26. **PENAGOS GARCÍA, GASPAR.** *Optimización de los materiales empleados y de las técnicas de fabricación de propulsores marinos convencionales con materiales compuestos (Tesis Doctoral).* Andalucía : Universidad de Cadiz, 2011.
27. **Ramírez, Miguel Ángel.** *Cultivos para la producción sostenible de biocombustibles. Una alternativa para la generación de empleos e ingresos.* Tegucigalpa : Servicio Holandés de Cooperación al Desarrollo SNV, 2008. 236-92337.
28. **RAMÍREZ, MIGUEL ÁNGEL.** *Cultivos para la producción sostenible de biocombustibles: Una alternativa para la generación de empleos e ingresos.* Honduras : Consultor Internacional, 2008.
29. **ASOCAÑA.** Guía Ambiental para el Subsector de Caña de Azúcar. Republica de Colombia : Ministerio del medio ambiente, 2013.
30. **PROEXPORT.** *Panela.* 2009.
31. **Suárez, Gildardo.** Dulce tradición. *Dulce tradición.* [En línea] panela, 22 de mayo de 2013. [Citado el: 30 de marzo de 2014.] <http://tradiciondulce.wordpress.com>. 8723.
32. **HASSAN, MOHAMMAD L. y USDA, ROGER M. ROWELL.** Thermoplasticization of Bagasse. II. Dimensional Stability and Mechanical Properties of Esterified Bagasse Composite. Cairo : s.n., 1999.
33. **BERMELLO, ADDISS, y otros, y otros.** *Estudio de un material compuesto de partículas de caña y matriz de polietileno mediante espectrometría FTIR.* La Habana : Red de Revistas Científicas de América Latina, 2008. 0138-6204.
34. *Elaboración de materiales reforzados con carácter biodegradable a partir de polietileno de baja densidad y bagazo de caña modificado.* **SALGADO DELGADO, RENÉ, CORIA CORTÉS, LAURA y GARCÍA HERNÁNDEZ, EDGAR.** Puebla : Revista Iberoamericana de Polímeros, 2010.
35. **VEGA-BAUDRIT, JOSÉ, DELGADO-MONTERO, KARINA y SIBAJA BALLESTERO, MARÍA.** *Materiales poliméricos compuestos obtenidos a partir de los residuos generados por la agroindustria de la caña de azúcar.* Costa Rica : Revista Iberoamericana de Polímeros, 2008.

36. **GRACE, J KENNETH.** Termite response to agriculture fiber composites: Bagasse. *University of Hawaii at Manoa*. Honolulu : Dept of Plant & Environmental Protection Sciences, 2005.
37. **SANCHEZ MORA, LUIS, ZAPATA SOLER, CARLOS y TOLEDO BERNAL, CAMILO ANDRES.** Platos biodegradables a base de caña de azúcar. *Proyecto de grado*. Bogotá : s.n., 2007 .
38. **HERNÁNDEZ, M. G., ENFEDAQUE, A. y SÁNCHEZ-GÁLVEZ, V.** Evaluación del daño a impacto en fibras de GRC mediante ensayos no destructivos por ultrasonidos. Madrid : Departamento de Ingeniería Civil, 2010.
39. **R. CHAOS-MORÁN, M.R. GUDE, M.D. ESCALERA, A. UREÑA.** *Comportamiento mecánico de materiales compuestos nano-reforzados epoxi/nano fibras de carbono (Tesis)* . Mostoles : Departamento de Ciencia e Ingeniería de Materiales, 2008.
40. **ASTM.** *D 3039/D 3039-00 Standard Test Method for Tensile Propirties of Polymer Matrix Composite Materials*. United States : s.n., 2000.
41. —. *D 6110-02 Standard Test Methods for Determining the Charpy Impact Resistance of Notched Specimens of Plastics*. United States : s.n., 2002.
42. **SATYANARAYANA, K.G.** *Studies on lignocellulosic fibers of Brazil: Source, production, morphology, properties and applications*. Brasil : ScienceDirect, 2007. A 38.
43. **SUDHIR KUMAR, SAW y CHANDAN, DATTA.** *BioResources*. India : s.n., 2009.
44. **IDEAM, INSTITUTO DE HIDROLOGÍA METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES.** *BOLETÍN DIARIO DEL ESTADO DEL TIEMPO*. Bogotá : s.n., 2014.
45. **KESSLER, MICHAEL R.** *Advanced Topics in Characterization of Composites*. Victoria : Trafford, 2004. 1-4120-3639-9.
46. **WALPOLE, RONALD E.** *Probabilidad y estadística para ingenieros, 6a. ed.* México : Presntice-Hall Hispanoamericana. S.A., 1999. 970-17-0264-6.