 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Mejoramiento de formulación de compuesto de madera plástica para fabricar piezas sometidas a esfuerzos críticos de flexión

Bryhan Steven Gómez Manco

Jesús Yamir Mosquera Mosquera

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero electromecánico

Asesor

Ing. Carlos Andrés Vargas Isaza

Ingeniero Mecánico

**INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE MECATRÓNICA Y ELECTROMECAÁNICA
MEDELLÍN
JUNIO 2017**

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RESUMEN

La empresa Prila SAS, dedicada al desarrollo de productos elaborados en compuestos de madera plástica para diferentes aplicaciones de construcción y arquitectura, hace algún tiempo solicitó realizar un estudio acerca de las propiedades mecánicas de un material de compuesto madera-plástico (WPC) para su posterior desarrollo. En la solicitud se requería el análisis de una placa de forma rectangular, con poco espesor y que estaría apoyada en cuatro puntos para ser usada en construcciones inmobiliarias más exactamente en el suelo del inmueble (perfil para piso).

Gracias a los excelentes resultados obtenidos en el análisis mencionado anteriormente, la empresa ha requerido un nuevo estudio a otro de sus productos, pero en este caso el material posee una geometría de cilindro hueco, que al estar expuesto a sufrir esfuerzos de flexión y debido a su longitud propician roturas o fallas prematuras en el producto.

Para poder cumplir con el objetivo del siguiente estudio se tiene planeado realizar una serie de ensayos mecánicos en el cual, el material y sus diferentes tipos de composiciones serán sometidos a una prueba de “flexión en 3 puntos”. Finalmente, con esto se desea analizar los resultados obtenidos, comparar el comportamiento de cada uno y estudiar cómo se podría mejorar una formulación de compuesto de madera plástica (WPC) para fabricar piezas sometidas a esfuerzos críticos de flexión.

Se consigue el objetivo principal el cual era mejorar la formulación de un material compuesto de madera-plástico para obtener un mayor rendimiento en su aplicación. se consigue determinar las variables más significativas que influyen en el comportamiento del compuesto para tener mejores propiedades mecánicas para las aplicaciones requeridas.

Palabras clave: Compuestos, flexión, tracción, deformación, polímero, madera, muestra

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RECONOCIMIENTOS

Agradecerle a Dios, a mis familiares que me apoyaron en los momentos más difíciles, a mis amigos que estuvieron en las buenas y las malas, a los profesores por brindarme sus conocimientos para hacer de mí un gran profesional, al **INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO** por darme la oportunidad de ser parte de su núcleo estudiantil, al profesor Carlos Andrés Vargas por brindarnos sus conocimiento y asesoría en el desarrollo de este trabajo de grado.

Bryhan Steven Gómez Manco
 Jesús Yamir Mosquera Mosquera

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ACRÓNIMOS

WPC	Compuesto madera-plástico
PP	Polipropileno
HDPE	Polietileno de alta densidad
LDPE	Polietileno de baja densidad
PVC	Cloruro de polivinilo
PET	Tereftalato de polietileno
PS	Poliestireno
ASTM	American Society for Testing and Materials
GPa	Giga pascal
MPa	Mega pascal
σ	Esfuerzo normal
τ	Esfuerzo cortante
N	Newton
Cm	Centímetros
FVP	Polietileno reforzado con fibra de vidrio

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	2
RECONOCIMIENTOS	3
ACRÓNIMOS.....	4
1. INTRODUCCIÓN	7
1.1 Generalidades	7
1.2 OBJETIVOS	8
1.2.1 General	8
1.2.2 Específicos	8
2. MARCO TEÓRICO	109
2.1 Compuesto de madera-plástico (WCP).....	109
2.1.1 Compuestos de la madera plástica	1244
2.2 Composición	1413
2.2.1 Materiales plásticos.....	1513
2.2.2 Madera	1514
2.2.3 Aditivos	1514
2.3 Tipos de esfuerzos	1514
2.3.1 Esfuerzos de flexión.....	1615
2.3.2 Esfuerzo a tracción.....	1715
2.3.3 Esfuerzo a compresión	1716
2.4 Propiedades WPC's	1816
2.4.1 Propiedades mecánicas.....	1817
2.5 Características especiales WPC's.....	1918
2.6 Aplicaciones WPC's.....	2018
3. METODOLOGÍA	2120
3.1 Descripción.	2120
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	3633

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	61102
REFERENCIAS	66106
APÉNDICE.....	69108

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades

Se desarrollará una serie de estudios enfocados en el uso, desarrollo y mejoramiento de un producto compuesto de madera-plástico (Wood Plastic Composites) reutilizando los materiales generados por las industrias del plástico (reciclado), plásticos vírgenes y madera, con el fin de mejorar su resistencia a los esfuerzos de flexión generados en su lugar de aplicación.

Además de proporcionar innovación y desarrollo tecnológico, los WPC's que se estudiarán, tienen ciertas características que permiten reemplazar la necesidad de utilizar materias primas vírgenes (plástico, madera), al ser un producto con muchas características de la madera, pero conservando los principios del plástico, lo que lo hace una opción interesante para el estudio y posterior aplicación en diferentes ámbitos industriales.

Para el presente estudio, se cuenta con varios prototipos iniciales formados a partir de mezclas de plástico con madera en diferentes porcentajes en su composición de mezclado, diferentes polímeros, fibras y aditivos.

Dichos productos están sufriendo rupturas al ser sometidos a esfuerzos de flexión a la hora de su aplicación industrial/comercial, los cuales al ser diseñados se creería que soportaría las cargas a las que se necesitaba someter; se cree que el motivo de la falla se debe a la longitud del material, ya que a mayor longitud el momento de flexión producido es mayor.

Los materiales están siendo sometidos en el laboratorio a ensayos mecánicos con el fin de encontrar su límite o esfuerzo de ruptura máxima e identificar cuál de las composiciones presentan mayor resistencia.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 General

Mejorar una formulación de compuesto de madera plástica para fabricar piezas sometidas a esfuerzos críticos de flexión

1.2.2 Específicos

- Realizar una búsqueda bibliográfica de propiedades mecánicas (flexión) de compuestos de madera plástica.
- Determinar las variables a evaluar en la formulación del compuesto de madera plástica.
- Determinar un diseño de experimentos para lograr obtener una mejora en las propiedades mecánicas a flexión de compuestos de madera plástica.
- Realizar pruebas mecánicas a flexión de perfiles fabricados en compuestos de madera plástica

1.3 Organización de la tesis

Este trabajo de investigación consta de 5 capítulos a través de su desarrollo, el primer capítulo es la introducción el cual se divide en tres partes y donde se describe de forma resumida la importancia de la investigación, los objetivos que se desea lograr al cabo de finalizar la investigación y la organización de la tesis en donde se resume cada capítulo correspondiente a la tesis.

El segundo capítulo del trabajo de grado corresponde al marco teórico, en este espacio es en donde se describe la teoría y todos los conceptos pertinentes a la investigación, ya que son necesarios para que cualquier persona pueda entender e interpretar el desarrollo de dicha investigación.

En el tercer capítulo, el cual pertenece a la metodología se explica el proceso de fabricación de los productos de compuesto de madera plástica, se hace una breve descripción de las pruebas mecánicas que se realizan y el proceso a seguir, partiendo del punto de evaluación y resultado de la muestra M0 F. Además, se presentan todas las formulaciones realizadas durante la investigación

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En el cuarto capítulo del presente trabajo, se detalla cada uno de los resultados de la prueba de flexión pura realizada a cada material creado después de haber reformulado en varias ocasiones el compuesto inicial M0 F variando el porcentaje de matriz del polímero, reforzando con fibras y empleando diferentes tipos de matrices poliméricas del compuesto. En este se muestra de forma detallada las gráficas de fuerza vs desplazamiento, se detalla el valor de la resistencia de cada material y su deformación, se muestra el resultado del esfuerzo de tracción y la resistencia a la flexión de las piezas.

En el último capítulo del presente trabajo de grado se presentan las conclusiones obtenidas luego de finalizar el desarrollo de la investigación además se hace referencia de algunas recomendaciones que se pueden tomar durante el avance de la investigación y otras sugerencias para trabajos posteriores en caso de que dicha investigación sea sometida a nuevos estudios.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Compuesto de madera-plástico (WCP)

El WPC (**Wood Plastic Composite**) es un material ecológico que procede de la mezcla de varios compuestos reciclados de madera y plástico. Es el formado por madera, en cualquier tipo de formato, combinado con materiales termoplásticos. No hay que confundirlos con los productos plásticos que tienen la forma externa de madera maciza.

Los compuestos de madera y plástico son un nuevo híbrido de materiales. Los polímeros son el material matriz y la madera el relleno. En Estados Unidos estos compuestos están más extendidos que en Europa. Las diferencias entre Estados Unidos y Europa radican en que en EE. UU. habitualmente los compuestos se realizan con un 50 por ciento de polímeros y un 50 por ciento de madera, mientras que, en Europa, el material está compuesto por más madera (80 por ciento) que plástico ("Las ventajas de los compuestos de madera y plástico", 2017).

El plástico es uno de los materiales menos biodegradables. Por lo mismo, es altamente contaminante en el planeta. Sin embargo, el 90% de los plásticos es reciclable ("Club Contacto", 2017).

La primera generación de WPC's que se produjeron en los años 1900's fueron una combinación de harina de madera reciclada y un aglutinante para aplicaciones relativamente poco exigentes (Rowell & Youngquist, 1991).

Un material compuesto comercializado bajo la marca comercial "Bakelite", estaba hecho de fenol - formaldehído y harina de madera (Mantia & Morreale, 2011). Su primer uso comercial fue según se informa como una perilla de cambio para Rolls Royce en 1916 (Clemons, 2000).

El nacimiento de la industria WPC involucró la interconexión de dos industrias de diferentes conocimientos, experiencia y perspectivas (Mantia & Morreale, 2011). La industria de plásticos tiene conocimiento de la transformación de plásticos y la industria de productos forestales tiene más experiencia y recursos en el mercado de productos de construcción (Meran et al, 2008). No es de extrañar que, algunas de las primeras empresas para producir WPC fueron fabricantes de ventanas que tenían experiencia tanto con madera y plásticos (Kokta et al, 2010).

Por un lado, la industria del plástico ve en la madera un relleno relativamente barato que está fácilmente disponible que puede mejorar las propiedades mecánicas tales como rigidez y condiciones de procesamiento tales como velocidades de extrusión del perfil aumentadas. Por otro lado, la industria forestal ve a los plásticos como medios para fabricar materiales de construcción innovadores con características que la madera no tiene; Por ejemplo, resistencia a las adversidades

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ambientales tales como la humedad y los ataques de insectos (Caufield et al, 2007). También se menciona que casi todos los WPC pueden ser mecanizados, lijados, manchados y sujetados de la misma manera que la madera sin necesidad de ninguna otra tecnología (Semeralul, 2009).

La industria de los plásticos ha utilizado tradicionalmente cargas inorgánicas tales como talco, carbonato de calcio, mica y fibra de vidrio para mejorar el rendimiento de los plásticos (Meran et al, 2008). Las fibras naturales como la madera, el kenaf, el lino y el cáñamo se introdujeron más tarde como cargas porque son recursos renovables, menos costosos, más ligeros y menos abrasivos en los equipos de procesamiento (Meran et al, 2008).

En 1991 se convocó la Primera Conferencia Internacional sobre Compuestos de Plástico de Madera en Madison, Wisconsin, con la intención de reunir a investigadores y representantes industriales del sector de plásticos y productos forestales para compartir ideas y tecnología sobre materiales compuestos de fibra de madera. Conferencias similares en años alternos comenzaron en Toronto, Ontario, al año siguiente. Estas conferencias crecieron constantemente en la década de 1990 (Youngquist et al, 1994; Meran et al, 2008).

A través de varias investigaciones, las nuevas generaciones de WPC tienen buenas propiedades mecánicas, alta estabilidad dimensional y se puede utilizar para fabricar formas complejas. Estas propiedades hacen que los productos WPC de alta tecnología y se pueden utilizar en muchas aplicaciones.

El tipo más común de los nuevos WPC se produce mezclando harina de madera o fibra y plásticos para producir un material que puede ser procesado como un plástico convencional, pero tiene las mejores características de madera y plásticos (Meran et al, 2008). El objetivo principal fue la conversión y el uso eficiente de los recursos de fibra de madera, la producción de más fibra en una base de tierra cada vez más reducida, el uso de procesos y tecnologías respetuosos con el medio ambiente y la competitividad en el mercado mundial. La competencia en mercados de gran volumen ha centrado la atención en materiales de bajo precio que ofrecen una relación fuerza / peso más favorable (Clemons, 2000).

Comparado con otros materiales poliméricos, el compuesto plástico de madera (WPC) tiene el costo de material más bajo (Rowell & Youngquist, 1991). Los compuestos de plástico de madera son una alternativa atractiva porque su proceso de fabricación es altamente automatizado y adaptable a varias especies y formas de materias primas (Ashori & Nourbakhsh, 2009).

A veces la madera no se considera un material de ingeniería porque no tiene propiedades consistentes, predecibles, reproducibles, continuas y uniformes. Esto podría ser cierto para la madera maciza, pero no es necesariamente cierto para los materiales compuestos de madera (Rowell & Youngquist, 1991).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

La importancia y el potencial de crecimiento de los materiales compuestos de madera y plástico se evidenciaron en 1991 con el advenimiento de la conferencia internacional sobre materiales compuestos de fibra de madera, un foro sobre ciencia y tecnología para el procesamiento y desarrollo de estos materiales. El uso de rellenos por la industria plástica ha crecido constantemente junto con el crecimiento en la producción de las clases principales de resinas plásticas.

En 2000, Clemons informó que, en los últimos 10 años, la industria WPC ha crecido rápidamente debido al creciente mercado de cubiertas. La mayor parte de este crecimiento ha ocurrido en formas de perfil extruido, pero también ha ocurrido también en productos moldeados por inyección y moldeados por compresión (Clemons, 2000). El crecimiento en aplicaciones de WPC ha estimulado un aumento en los esfuerzos de individuos tanto en la industria como en el mundo académico (Gallagher 2006).

El laboratorio de materiales de madera e ingeniería de la Universidad Estatal de Washington ha dirigido un programa de investigación interdisciplinario e interinstitucional para el desarrollo de materiales compuestos de HDPE (polietileno de alta densidad) y PVC para uso en estructuras de frente de agua. Un gran esfuerzo de investigación y desarrollo se centra en las aplicaciones frente al mar para las instalaciones de la Marina (Clemons, 2000).

El WPC está siendo investigado para reemplazar la madera tratada actualmente utilizada para soportar muelles y absorber el impacto de los buques de ataque. El componente de desarrollo de materiales del proyecto de la Marina se centra en la evaluación y mejora de las tecnologías compuestas de madera y plástico existentes, así como en el desarrollo de nuevos sistemas apropiados para la producción de componentes estructurales del muelle (Sobczak et al, 2012).

2.1.1 Compuestos de la madera plástica

En los Compuestos de madera-plástico (WPC's) los principales materiales plásticos empleados como matrices del compuesto son los siguientes

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.1.1.1 Polietileno de alta densidad (HDPE)

El polietileno se produce a partir del etileno derivado del petróleo o gas natural. El etileno se somete en un reactor a un proceso de polimerización. Este se realiza en presencia de un catalizador, en condiciones de presión y temperatura que posibilitan la formación de polímeros, que en el producto final tienen la forma de gránulos, denominados pellets. Dependiendo de las condiciones del proceso de fabricación existen variedades de polietileno. Las más conocidas son: el polietileno de alta densidad PEAD y el polietileno de baja densidad PEBD; de este último se producen dos tipos: el PEBD convencional y el PEBD lineal.

2.1.1.2 Polietileno de baja densidad (LDPE)

El polietileno de baja densidad (LDPE) es un polímero que pertenece a la familia de los polímeros olefínicos, es decir que se deriva de la polimerización de las olefinas.

La estructura del LDPE es de cadenas muy ramificadas. Esta característica hace que su densidad sea más baja en comparación con el polietileno de alta densidad.

El polietileno es probablemente el polímero que más se ve en la vida diaria. Por ser un material tan versátil, tiene una estructura muy simple, la más simple de todos los polímeros comerciales.

2.1.1.3 Polipropileno (PP)

El polipropileno es un hidrocarburo que pertenece a la familia de las poliolefinas y es producido a través de la polimerización del propileno (el cual es un gas resultante como subproducto de la industria petroquímica), utilizando catalizadores de tipo Ziegler Natta o Metallocenos para su reacción. Su estructura molecular consiste de un grupo metilo (CH₃) unido a un grupovinilo (CH₂). El polipropileno también puede ser copolimerizado con etileno para formar los copolímeros random (mejor transparencia y brillo) y los copolímeros de impacto (buena resistencia al impacto a temperatura ambiente y bajas temperaturas).

2.1.1.4 Tereftalato de polietileno (PET)

El PET está constituido de petróleo crudo, gas y aire. Un kilo de PET es 64% de petróleo, 23% de derivados líquidos del gas natural y 13% de aire. A partir del petróleo crudo se extrae el paraxileno

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

y se oxida con el aire para obtener ácido tereftálico. El etileno, que se obtiene principalmente a partir de derivados del gas natural, es oxidado con aire para formar el etilenglicol. La combinación del ácido tereftálico y el etilenglicol produce como resultado el PET.

2.1.1.5 Poliestireno (PS)

El poliestireno es el polímero resultante de la síntesis orgánica entre el etileno y el benceno (hidrocarburos derivados del petróleo) para formar el monómero del estireno que se polimeriza a poliestireno. Los tipos principales de PS son el poliestireno uso general y el poliestireno de alto impacto.

2.1.1.6 Cloruro de polivinilo (PVC)

El PVC es considerado el termoplástico más versátil. En su composición están presentes tres elementos naturales: carbono e hidrógeno, en forma de etileno, derivado del petróleo o gas, y cloro, obtenido a partir de la sal común. Mediante la combinación del etileno y el cloro se obtiene el monómero cloruro de vinilo, que a su vez se polimeriza mediante procesos de suspensión, emulsión o masa, para obtener como resultado el PVC en su estado de resina virgen. En una etapa siguiente la resina se mezcla con diversos aditivos para obtener compuestos que incorporan así todas las propiedades requeridas para su procesamiento y uso. Dependiendo de los aditivos seleccionados, los productos de PVC pueden ser totalmente rígidos o flexibles, transparentes u opacos y adquirir cualquier forma, textura o color.

2.2 Composición

Las fibras de madera se distribuyen de forma aleatoria dentro de la matriz de materiales plásticos. El porcentaje de fibras de madera varía en función del producto, desde un 70% (tanto coníferas como frondosas) e incluso porcentaje mayores, hasta llegar a los productos de plástico reciclados que no contienen fibras de madera.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.2.1 Materiales plásticos

Se pueden utilizar los termoplásticos (que se reblandecen cuando se les aplica calor) o los termoendurecibles (que no se reblandecen con calor una vez que han fraguado). Dentro del grupo de los termoplásticos se encuentran los polietilenos y polipropilenos que se utilizan en multitud de aplicaciones no estructurales, como botellas o contenedores; y en el grupo de los termoendurecibles las resinas estructurales de poliéster y epoxi. Los residuos plásticos se pueden reforzar o aumentar de tamaño con fibras naturales, fibras de vidrio y otros materiales como el caucho.

2.2.2 Madera

El porcentaje de madera, tanto en forma de harina como de fibras cortas (inferiores a 5 mm), varía normalmente desde el 50 hasta el 80 %. La harina de madera se utiliza para dar cuerpo al producto, pero tiene una misión diferente al de las cargas que se utilizan en los adhesivos ya que en este caso su misión es de armado. Se desaconseja la utilización de polvo de madera o de otros materiales por el riesgo de explosión.

2.2.3 Aditivos

Los aditivos más frecuentes son los lubricantes, retardadores del fuego, productos que mejoran a unión madera - plástico, estabilizadores de rayos ultravioleta, pigmentos, etc.

La mezcla de materias primas se realiza por lotes o por procesos continuos y se fuerza su paso por una laminadora o por una extorsionadora, para inyectarse en los moldes correspondientes. La gran mayoría de los productos de madera y plástico son perfiles extruidos, macizos o huecos.

2.3 Tipos de esfuerzos

Los elementos de una estructura deben de soportar, además de su propio peso, otras fuerzas y cargas exteriores que actúan sobre ellos. Dependiendo de su posición dentro de la estructura y del tipo de fuerzas que actúan sobre ellos, los elementos o piezas de las estructuras soportan diferentes tipos de esfuerzos. Una fuerza sobre un objeto tiende a deformarlo, la deformación producida

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

dependerá de la dirección, sentido y punto de aplicación donde esté colocada esa fuerza. Estas fuerzas tienen distintos orígenes:

- Debidas a su propio peso (toda estructura debe soportarse a sí misma).

- Debidas al peso, movimiento o vibraciones de los elementos que componen el conjunto del sistema técnico.

- Debidas a agentes externos al propio sistema técnico.

2.3.1 Esfuerzos de flexión

En ingeniería se entiende como ensayo de flexión al tipo de deformación que presenta un material estructural alargado. La palabra "alargado" se aplica cuando una longitud es dominante en comparación con las otras. Un caso usual son las vigas, que están diseñadas para trabajar, principalmente, por flexión. (Ver figura 1. El esfuerzo de flexión puro o simple se determina cuando se ejerce sobre un elemento pares de fuerza perpendiculares a su eje longitudinal, de modo que provoquen el giro de las secciones transversales con respecto a los inmediatos. La flexión es un concepto muy importante, ya que se utiliza en el diseño de muchos componentes estructurales y de máquinas; durante el esfuerzo de flexión, el material en su parte externa sufre también esfuerzo de estiramiento y compresión (debido a la flexión producida, una cara de la pieza se comprime, mientras la otra parte se estira).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

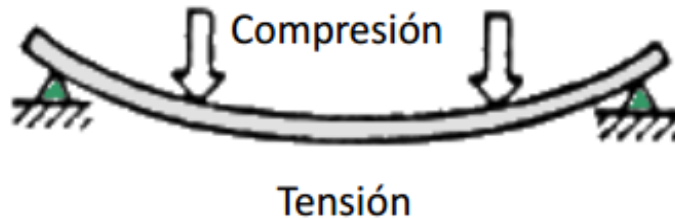


Figura 1. compresión-tensión en flexión pura. Recuperado de: <http://math4you2.wixsite.com/math4you/esfuerzo-y-deformacin-c139d>

2.3.2 Esfuerzo a tracción

Las fuerzas internas de un elemento están ubicadas dentro del material por lo que se distribuyen uniformemente en toda el área del mismo, al aplicar sobre el dos fuerzas de igual magnitud, direcciones opuestas y totalmente normales a su superficie se generan esfuerzos internos denotados con la letra σ (sigma), estos esfuerzos producen que se separen entre si las distintas partículas que componen la pieza, tendiendo a alargarla (deformaciones positivas) ya que las fuerzas se encuentran en sentido opuesto, el esfuerzo interno σ generado por estas características se llama esfuerzo de tracción.

2.3.3 Esfuerzo a compresión

El esfuerzo de compresión es el resultante de las tensiones o presiones que existe dentro de un sólido deformable, estas se caracteriza porque contrario a la tracción tienden a provocar una reducción de volumen o acortamiento en determinada dirección, las características de las fuerzas aplicadas en este caso son iguales a las que generan el esfuerzo a tracción, pero las fuerzas invertidas ocasionan en este caso que el material quede comprimido (deformación negativa), también es el esfuerzo que resiste el acortamiento de una fuerza de compresión.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.4 Propiedades WPC's

Las propiedades que evaluar dependen de su uso en exterior o en interior, pero todavía no existe norma de especificaciones, aunque hay un primer borrador de las normas de ensayo (norma técnica internacional ASTM) para comprobar las siguientes propiedades:

- Físicas: densidad, contenido de humedad, etc.
- Mecánicas: resistencia al impacto, tracción, etc.
- Durabilidad: envejecimiento artificial, hinchazón y absorción, etc.
- Térmicas: dilatación lineal, conductividad térmica, acción del calor.
- Fuego: límite de oxígeno, reacción al fuego.

El principal problema de estos compuestos es la temperatura de proceso que, en general, no debe sobrepasar los 190 °C.

2.4.1 Propiedades mecánicas

Los productos de madera - plástico son menos rígidos que la madera, su resistencia también es menor, se deforman cuando están sometidos a cargas, se reblandecen bajo la acción del calor y son quebradizos a bajas temperaturas. Su resistencia a la tracción y a la compresión son similares a la de la madera de coníferas, pero en la mayoría de las aplicaciones estas propiedades no son relevantes. En aquellas aplicaciones que requieran unas mayores rigideces, como por ejemplo en los suelos de terrazas exteriores, la solución es aumentar su sección transversal o su espesor o reducir la distancia entre apoyos.

2.4.1.1 Flexibilidad

El módulo elástico en pruebas de flexión incrementa en el orden de 1GPa, la tensión incrementa en varios MPa, mientras que la flexibilidad disminuye drásticamente, por lo que el material es más frágil y menos elástico, sin embargo, es más fuerte que el polímero base.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.4.1.2 Impacto

Con una carga de más de 50% de madera en el compuesto, para LDPE, HDPE y PP, las pruebas de impacto presentan absorción de energía en el orden de LDPE < HDPE < PP.

2.4.1.3 Durabilidad y envejecimiento

La acción del sol tiende a oscurecerla motivo por el cual suele ser de color gris claro. Tiene elevadas resistencias frente al ataque de hongos, insectos xilófagos de ciclo larvario, termitas y xilófagos marinos. Algunos productos incorporan protectores para prevenir la aparición de mohos y el crecimiento de hongos, aunque en los primeros prototipos para suelos se producían pudriciones cubicas, pudriciones blandas, fendas, deshilachados y meteorizaciones. Posteriormente se perfeccionaron los productos en este sentido.

2.4.1.4 Manejabilidad

Se pueden emplear las mismas máquinas que se utilizan para trabajar la madera. No presenta problemas en el clavado y atornillado. Los productos que contienen pocas fibras pueden soldarse entre sí. Algunos tipos de productos pueden pintarse, barnizarse o sellarse con silicona o productos acrílicos. Los perfiles extruidos se obtienen en una sola operación y no requieren ni pueden hacerse mecanizaciones posteriores.

2.4.1.5 Densidad

La densidad de los compuestos de madera y plástico depende principalmente del contenido de madera en el compuesto, la densidad aumenta proporcionalmente de forma lineal, tanto para PE como para PP. La densidad del material se puede controlar por medio de espumantes o por el tipo de proceso, la densidad suele alcanzar valores de más de 1000 kg/m³.

2.5 Características especiales WPC's

- Su resistencia al deslizamiento es mayor que la de la madera natural.
- En ocasiones se pueden producir descargas de electricidad estática.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Se pueden reciclar.
- Están considerados como productos compuestos ecológicos.
- Son más caros que la madera natural y tratada, pero al considerar su ciclo de vida y su ausencia de mantenimiento su coste final saldría mejorado.

2.6 Aplicaciones WPC's

Los Compuestos de madera-plástico (WPC's) han ido ganando popularidad en varias aplicaciones, incluyendo paneles interiores de las puertas, respaldos de asientos, y los cabezas de cartel en la industria automotriz, marcos de ventanas, cubiertas, revestimientos, la esgrima en la construcción, en infraestructuras en puertos marítimos.

Las aplicaciones estructurales son el mercado más grande y de mayor crecimiento de WPC, ya que ofrecen baja densidad, bajo costo, bajo mantenimiento, reciclaje y respeto al medio ambiente con buenas propiedades mecánicas.

Por otra parte, la madera blanda se sustituye cada vez más por los WPC y madera plástica en aplicaciones de construcción de cubierta, ya que mejora la durabilidad.

Se está trabajando en la mejora de las propiedades mecánicas (propiedades mecánicas aceptables con % de madera superiores al 60 %, mejora de la resistencia a impacto, incremento de la resistencia a la tracción, mejora de la resistencia a la intemperie (rayos UV, absorción de humedad) propiedades térmicas (aumento de la temperatura de uso , mejora de la procesabilidad) y mejora de propiedades especiales (conductividad térmica, aislamiento acústico, resistencia al fuego, materiales resistentes al ataque de microorganismos, etc.).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3. METODOLOGÍA

3.1 Descripción.

Para dicho estudio se tiene un grupo de piezas fabricadas de material compuesto madera-plástico (4 objetos con igual características), con forma de cilindro hueco (tubo) con medidas de:

Radio exterior: 2,5 cm

Radio interior: 1,3 cm

Longitud: 50,0 cm.

Fabricación del WPC

La harina de madera se obtiene fuentes fijas de estibas de madera, de las cuales se tritura y lleva el material a un tipo de madera más fino y que tuviese el menor porcentaje de humedad al momento de recolectarlo, luego se hace una extrusión de pellets en una máquina de extrusión doblehusillo.

Mediante método de tamizaje se filtró el polvo de madera de tamaño igual a 0.225 mm, luego fue sometida a secado en un horno para retirar de las partículas cualquier tipo de humedad presente.

El polímero seleccionado, es molido en un molino industrial, tamizado al mismo tamaño de la madera (0.225 mm) con el fin de usar partículas homogéneas de cada material.

La masa de cada material es seleccionada según su densidad y teniendo en cuenta volumen del molde, sabiendo esto se calculará en porcentaje cuanto será la unidad de masa de cada material a ingresar en la mezcla.

Después de obtener la mezcla, se empieza el proceso de calentamiento, extrusión, y moldeo en la extrusora doblehusillo; en el proceso de mezcla son adicionados los aditivos, fibra, entre otros.

Cabe destacar que todo este proceso de creación del compuesto madera- plástico fue realizado por la empresa PRILA S.A.S

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

El diseño llamado **ID: M0 F (muestra 0)**, es la muestra inicia, la cual se le realizara una reformulación, con el fin de aumentar su resistencia (fuerza) a la flexión.

Se planea crear piezas modificando parámetros; aunque cada pieza tendrá como base una mezcla de madera-plástico, su composición se variará en ítems como el porcentaje de madera y plástico usado, aditivos, fibra, plástico usado (PP o PE), plástico reciclado o virgen, entre otros.

Cabe destacar que todas las piezas tendrán en común el uso de un agente de acople (AA) a un porcentaje de 0.5% y un 2% de ácido esteárico.

Cada pieza está compuesta por 4 elementos similares, los cuales van a ser sometidos a esfuerzo de flexión pura en una **MAQUINA DE PRUEBA UNIVERSAL / MULTIPARAMETROS / ELECTROMECHANICA (MPU)**, marca **SHIMADZU AB-X100 kN**. ubicada en el laboratorio de materiales poliméricos del **INSTITUTO TECNOLOGICO METROPOLITANO (ITM)**, en la ciudad de Medellín, Antioquia.

El elemento objeto de ensayo es ubicado en la máquina de prueba, con un apoyo en cada extremo, ubicados a 50.0 cm de distancia el uno del otro; posteriormente es sometido a un esfuerzo de flexión (siguiendo algunos parámetros de la norma internacional **ASTM D 6109: Métodos de ensayo estándar para propiedades de flexibilidad para madera plástica y productos relacionados**) en el punto central de la pieza, ejerciendo una fuerza que va variando a una velocidad de 26 mm/min, hasta que esta sufre una deformación y posterior ruptura, con el fin de calcular la máxima resistencia y deformación posible que puede soportar la pieza a evaluar.

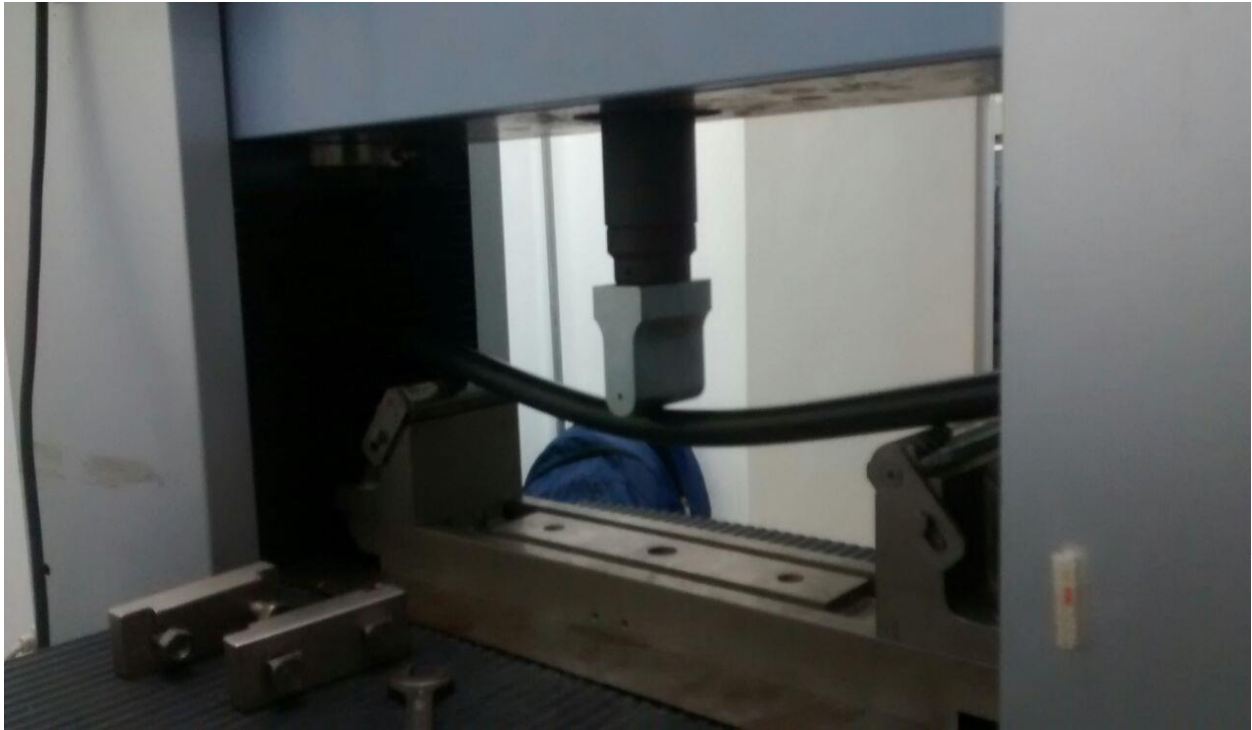


Figura 2. Prueba de flexión en MPU. Elaboración propia.

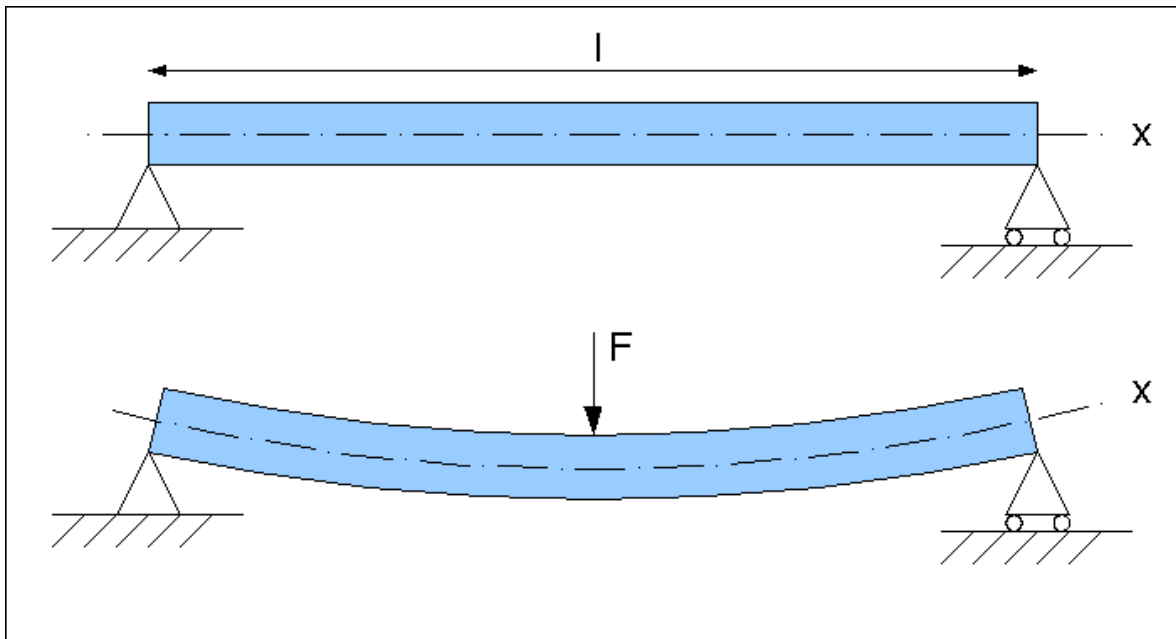


Figura 3. Flexión pura. Recuperado de: http://quintanillasolisj.blogspot.com.co/p/evap-4_25.html

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

La prueba de deformación se realizará para cada muestra creada, utilizando la máquina MPU; mediante un computador conectado vía USB a la máquina de prueba y utilizando el software **TRAPEZIUMX** que adquirirá los datos proporcionados por la máquina, obteniendo la gráfica de fuerza vs deformación (valores para cada variable) que se requiere para llevar la pieza a su máximo esfuerzo (desplazamiento y fuerza) antes de sufrir una ruptura.

A continuación, se detalla el nombre (ID) del primer grupo de material usado y su composición:

- **ID: M0 F**

% Madera	% Polímero	%Cera	Reciclado	Polímero	FIBRA
60,20%	35,10%	1,00%	SI	PE	SI

Composición adicional: 1% de colorante y 0.1% de fibra.

A continuación, se detallan las gráficas de fuerza vs deformación para los 4 productos ID: M0 F obtenidas mediante el software **TRAPEZIUMX** para la prueba de flexión pura del material antes mencionado.

Key Word		Product Name	
Test File Name	M0-1F.xtak	Method File Name	
Report Date		Test Date	
Test Mode	Single	Test Type	3 Point Bend
Speed	26mm/min	Shape	Plate
No of Batches:	1	Qty/Batch:	1

Name
Parameters
Unit
1_1

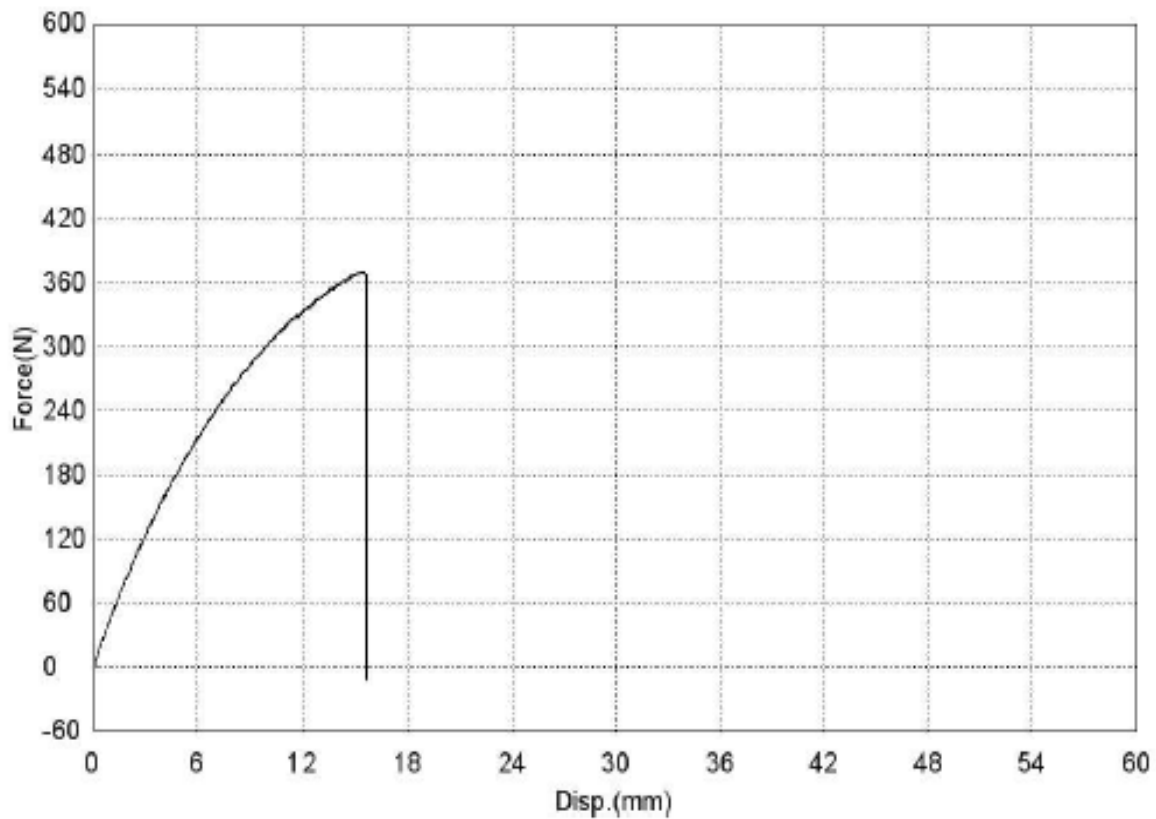


Figura 4. fuerza vs deformación M0-1F. Elaboración propia.

Key Word		Product Name	
Test File Name	M0-2F.xtak	Method File Name	
Report Date		Test Date	
Test Mode	Single	Test Type	3 Point Bend
Speed	26mm/min	Shape	Plate
No of Batches:	1	Qty/Batch:	1

Name
Parameters
Unit
1_1

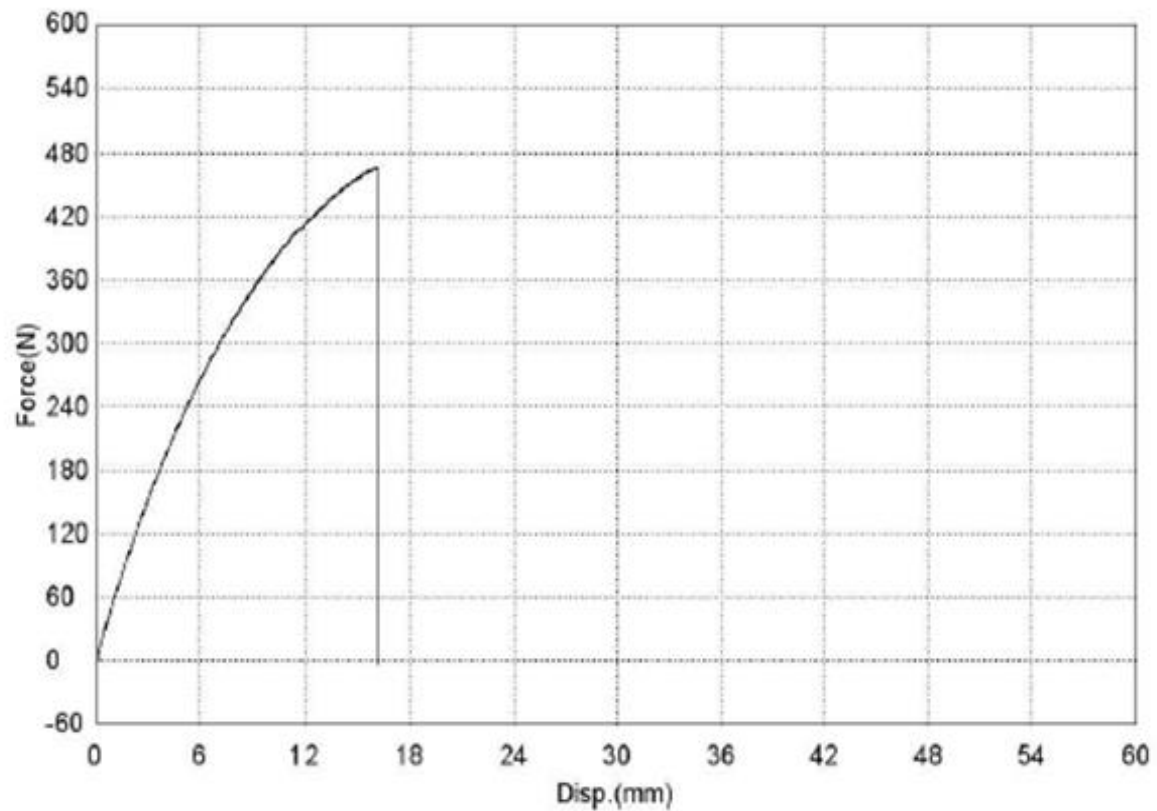


Figura 5. fuerza vs deformación M0-2F. Elaboración propia.

Key Word		Product Name	
Test File Name	M0-3F.xtak	Method File Name	
Report Date		Test Date	
Test Mode	Single	Test Type	3 Point Bend
Speed	26mm/min	Shape	Plate
No of Batches:	1	Qty/Batch:	1

Name
Parameters
Unit
1_1

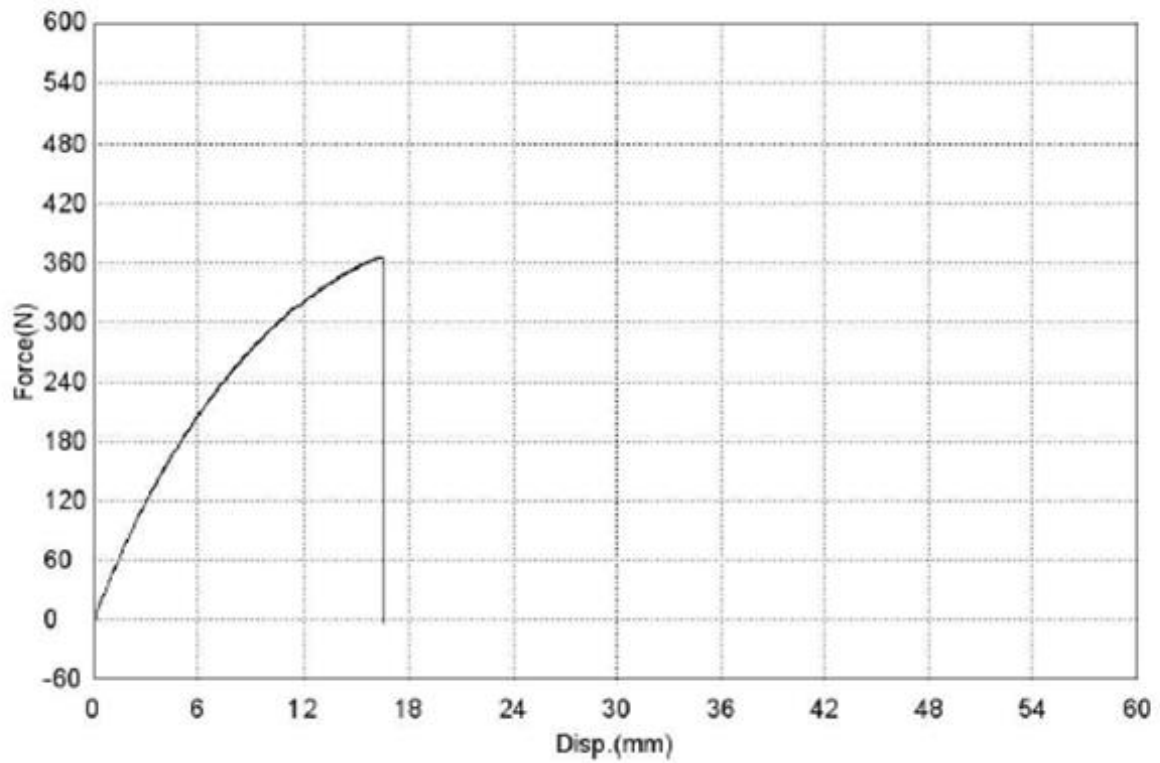


Figura 6. fuerza vs deformación M0-3F. Elaboración propia.

Key Word		Product Name	
Test File Name	M0-4F.xtak	Method File Name	
Report Date		Test Date	
Test Mode	Single	Test Type	3 Point Bend
Speed	26mm/min	Shape	Plate
No of Batches:	1	Qty/Batch:	1

Name
Parameters
Unit
1_1

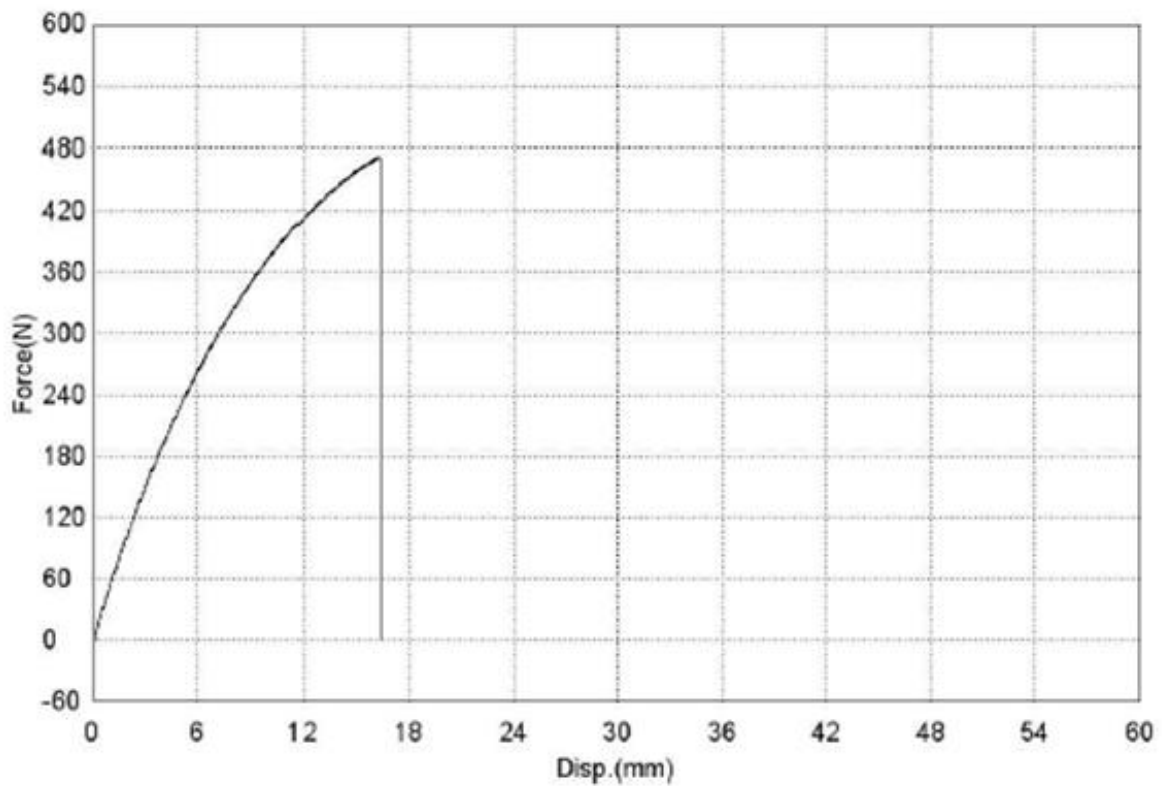


Figura 7. fuerza vs deformación M0-4F. Elaboración propia.

A continuación, se adjunta la Tabla 1 con los datos de fuerza máxima y desplazamiento máximo (con sus respectivas fuerza y desplazamiento promedio) obtenidos de cada pieza del grupo **ID: M0 F**.

Tabla 1. fuerza máxima y desplazamiento máximo M0 F. Elaboración propia.

ID	Fuerza Max (N)	Desplazamiento Max (mm)
M0-1F	370,18	15,60346
M0-2F	463,44	15,60394
M0-3F	360,84	15,60396
M0-4F	465,28	15,60394
	Fuerza Promedio (N)	Desplazamiento Promedio (mm)
	414,94	15,603825

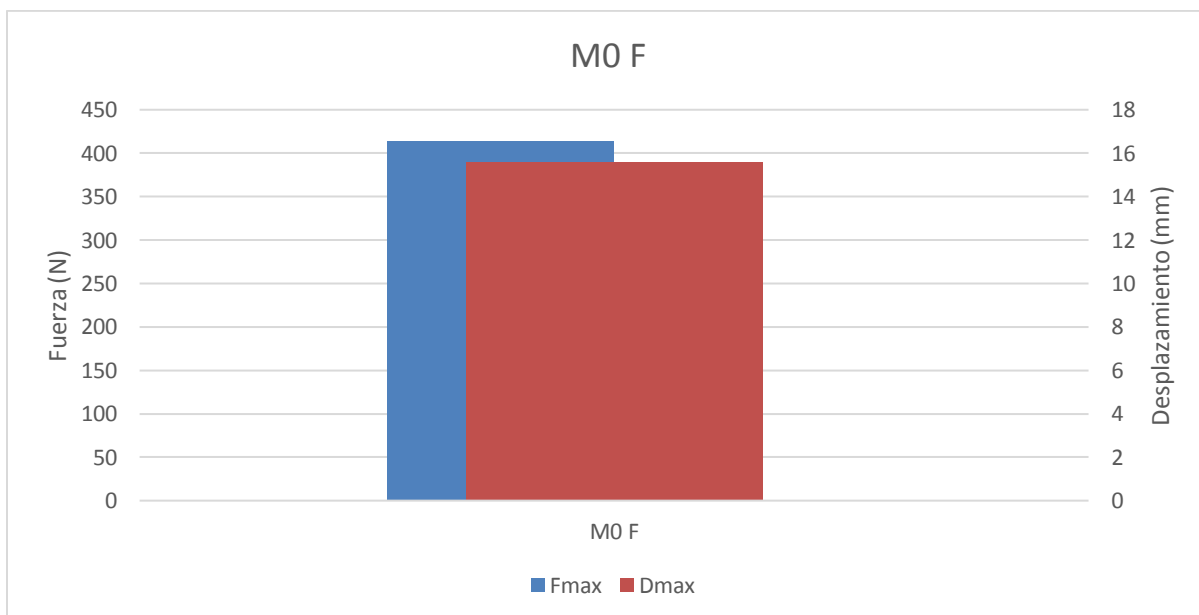


Figura 8. fuerza máxima y desplazamiento máximo M0 F. Elaboración propia.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

El esfuerzo normal máximo (σ) o resistencia a la flexión está definido como:

$$\sigma = \frac{Mx C}{I}$$

Donde:

M = momento flector máximo.

I = momento polar de inercia.

C = la distancia del eje neutro hasta la parte superior de la pieza.

Usando el programa de diseño mecánico llamado MDsolid 3.5 simulamos el procedimiento que se está realizando sobre los materiales en la maquina MPU, se simula la prueba de flexión realizada en la muestra **M0 F** con el fin de obtener datos de momento flector y otros datos de interés.

Recordemos que la pieza cilíndrica de longitud igual a L= 50 cm (500 mm) y masa promedio(m) igual m =185,04 gramos, la cual está apoyada en 2 soportes localizados a 0.00 cm (0,00 mm) y 50 cm (500 mm) respectivamente, está siendo sometida a una fuerza F=414.94 N (P1) en su punto central localizado a 25 cm (250 mm).

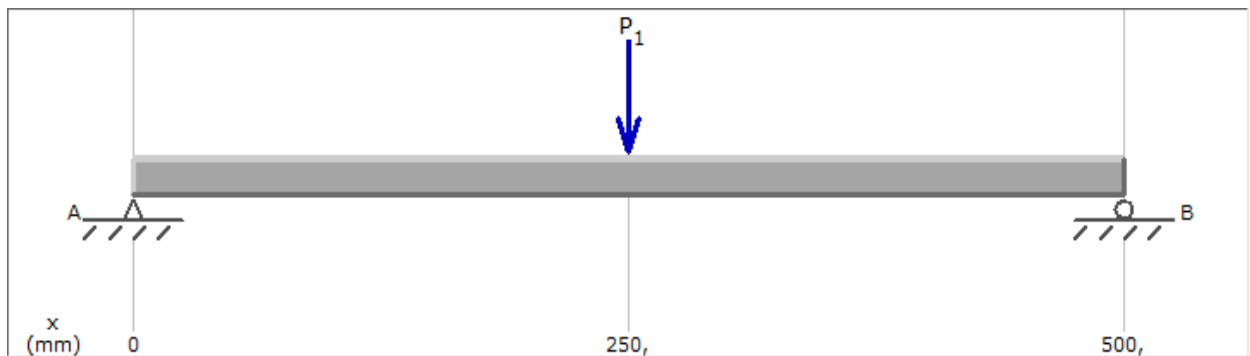


Figura 9. Simulación de flexión pura en software MDsolid3.5 Elaboración propia.

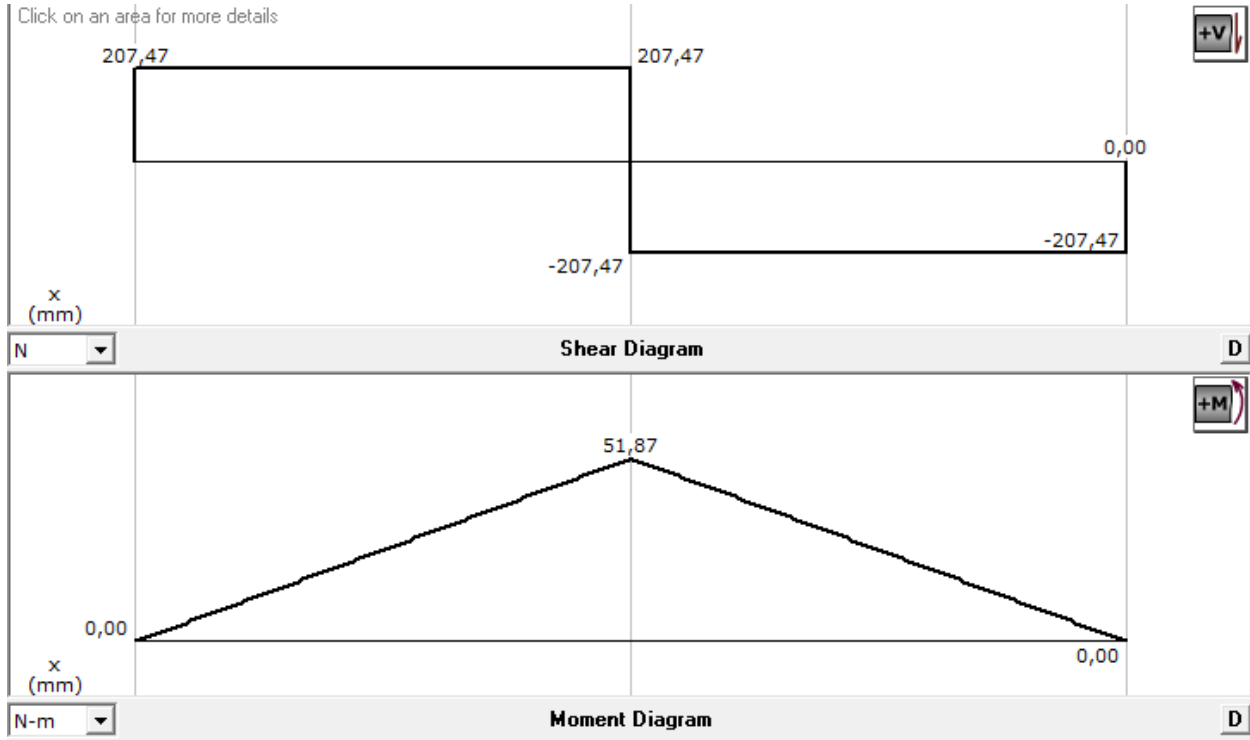


Figura 10. Diagramas de fuerza cortante y momento flector en el software MDsolid3.5. Elaboración Propia.

De la figura 9. Se observa que el momento flector es igual a:

$$M=51.87 \text{ N.m}$$

En libro de diseño de elementos de máquinas (Robert L. Mott), el momento polar de inercia se define como:

$$I = \pi x \frac{D^4 - d^4}{64} = \pi x \frac{(5^4 - 2.6^4) \text{ cm}^4}{64} = 28.436 \text{ cm}^4$$

C= radio externo (para este caso en particular) = 2.5 cm

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$\sigma = \frac{(51.87 \text{ N.m}) \times (0.025 \text{ m})}{2.8436 \times 10^{-7} \text{ m}^4} = 4.56 \text{ MPa}$$

El esfuerzo cortante máximo (τ) o resistencia a la tracción se define como:

$$\tau = \frac{V}{A}$$

A = área de sección transversal donde actúa la fuerza cortante.

V = fuerza cortante máxima.

De la figura 9. se puede observar que:

$$V = 207.47 \text{ N}$$

$$A = 3.581 \text{ cm}^2$$

$$\tau = \frac{V}{A} = \frac{207.47 \text{ N}}{3.581 \times 10^{-4} \text{ m}^2} = 0.58 \text{ MPa}$$

Con los datos obtenidos mediante la prueba de flexión, posteriormente se realizará una reformulación en la composición del material **ID: M0 F** y se creará un nuevo prototipo; luego este prototipo será sometido a pruebas de flexión pura en la MPU.

Este nuevo modelo reformulado, será sometido prueba mecánica de flexión y después de obtener los datos de deformación del nuevo producto creado, se compararán los resultados de fuerza y desplazamiento obtenidos del nuevo modelo obtenido con el producto **ID: M0 F** para analizar que cambios sufrirá en su fuerza y desplazamiento con respecto al resultado logrado en el material M0 F.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

A continuación, se listan los grupos de materiales obtenidos después de reformular la composición original (**ID: M0 F**) en varias ocasiones (cambio en el porcentaje de madera, plástico, cambio de polímero entre otros); cada grupo de material se muestra con su composición base.

Cada material aquí listado, fue el resultado de cambiar la composición del **ID: M0 F** con el fin de aumentar su resistencia (fuerza) a la fractura o ruptura.

- **ID: M1**

% Madera	% Polímero	%Cera	Reciclado	Polímero	FIBRA
60,70%	35,40%	0,50%	SI	PE	NO

Composición adicional: 0.8 % de colorante

- **ID: M1 F**

% Madera	% Polímero	%Cera	Reciclado	Polímero	FIBRA
60,70%	35,40%	0,50%	SI	PE	SI

Composición adicional: 0.8 % de colorante y 0.1% fibra.

- **ID: M1 PP**

% Madera	% Polímero	%Cera	Reciclado	Polímero	FIBRA
60,10%	35,10%	0,50%	NO	PP	NO

Composición adicional: 1 % de colorante y 0.8 % de aditivo UV.

- **ID: M2**

% Madera	% Polímero	%Cera	Reciclado	Polímero	FIBRA
50,60%	45,50%	0,50%	SI	PE	NO

Composición adicional: 1 % de colorante.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- **ID: M2 F**

% Madera	% Polímero	%Cera	Reciclado	Polímero	FIBRA
50,60%	45,50%	0,50%	SI	PE	SI

Composición adicional: 0.8 % de colorante y 0.1% de fibra.

- **ID: M2 HDPE**

% Madera	% Polímero	%Cera	Reciclado	Polímero	FIBRA
60,40%	34,80%	0,50%	NO	PE	NO

Composición adicional: 1 % de colorante y 0.8% de aditivo UV.

- **ID: M3**

% Madera	% Polímero	%Cera	Reciclado	Polímero	FIBRA
45,50%	50,60%	1,00%	SI	PE	NO

Composición adicional: 0.8 % de colorante.

- **ID:M3 F**

% Madera	% Polímero	%Cera	Reciclado	Polímero	FIBRA
45,50%	50,60%	1,00%	SI	PE	SI

Composición adicional: 0.8 % de colorante y 0.1% de fibra.

- **ID:M3 HDPE**

% Madera	% Polímero	%Cera	Reciclado	Polímero	FIBRA
59,00%	34,40%	0,50%	NO	PE	NO

Composición adicional: 1 % de colorante, 0.8% de aditivo UV y 1.9% aditivo acoplamiento

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- **ID:M4**

% Madera	% Polímero	%Cera	Reciclado	Polímero	FIBRA
40,40%	55,60%	1,00%	SI	PE	NO

Composición adicional: 0.8 % de colorante.

- **ID: M4 F**

% Madera	% Polímero	%Cera	Reciclado	Polímero	FIBRA
40,40%	55,60%	1,00%	SI	PE	SI

Composición adicional: 0.8 % de colorante y 0.1% de fibra.

- **ID:M5FVP**

% Madera	% Polímero	%Cera	Reciclado	Polímero	FIBRA
60,10%	35,10%	0,50%	NO	PP	NO

Composición adicional: 1 % de colorante y 0.8% de aditivo UV.

- **ID:M6FT**

% Madera	% Polímero	%Cera	Reciclado	Polímero	FIBRA
60,10%	34,80%	0,50%	NO	PE	NO

Composición adicional: 1 % de colorante y 0.8% de aditivo UV.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los ensayos mecánicos de esfuerzo de flexión se realizaron en la **MAQUINA DE PRUEBA UNIVERSAL / MULTIPARAMETROS / ELECTROMECHANICA (MPU)**, marca **SHIMADZU AB-X100 kN**. Todos los ensayos fueron realizados a temperatura ambiente, con la finalidad de evitar alguna alteración en la composición de los objetos de prueba.

Este método de ensayo fue realizado con el fin de obtener datos de la resistencia máxima y el desplazamiento máximo de cada objeto antes de sufrir una ruptura

A continuación, se detallan las pruebas realizadas a cada uno de los materiales creados a partir de la reformulación del material base **ID: M0 F**.

Los respectivos resultados obtenidos para cada grupo de material y su comparación con el primer material base (**M0 F**), se presentan a continuación con el fin de sacar conclusiones de los resultados obtenidos para crear mejoras en la composición futura.

- **ID: M1**

Las siguientes son las gráficas de Fuerza vs Deformación para los 4 productos ID: M1 obtenidas mediante el software **TRAPEZIUMX** para la prueba de flexión pura del material.

En ellas se muestra el desplazamiento de la curva hasta la ruptura del material

La prueba se realizó en 4 ejemplares similares, igual composición, peso, medida y forma física.

Key Word		Product Name	
Test File Name	M1-1.xtak	Method File Name	
Report Date		Test Date	
Test Mode	Single	Test Type	3 Point Bend
Speed	26mm/min	Shape	Plate
No of Batches:	1	Qty/Batch:	1

Name
Parameters
Unit
1_1

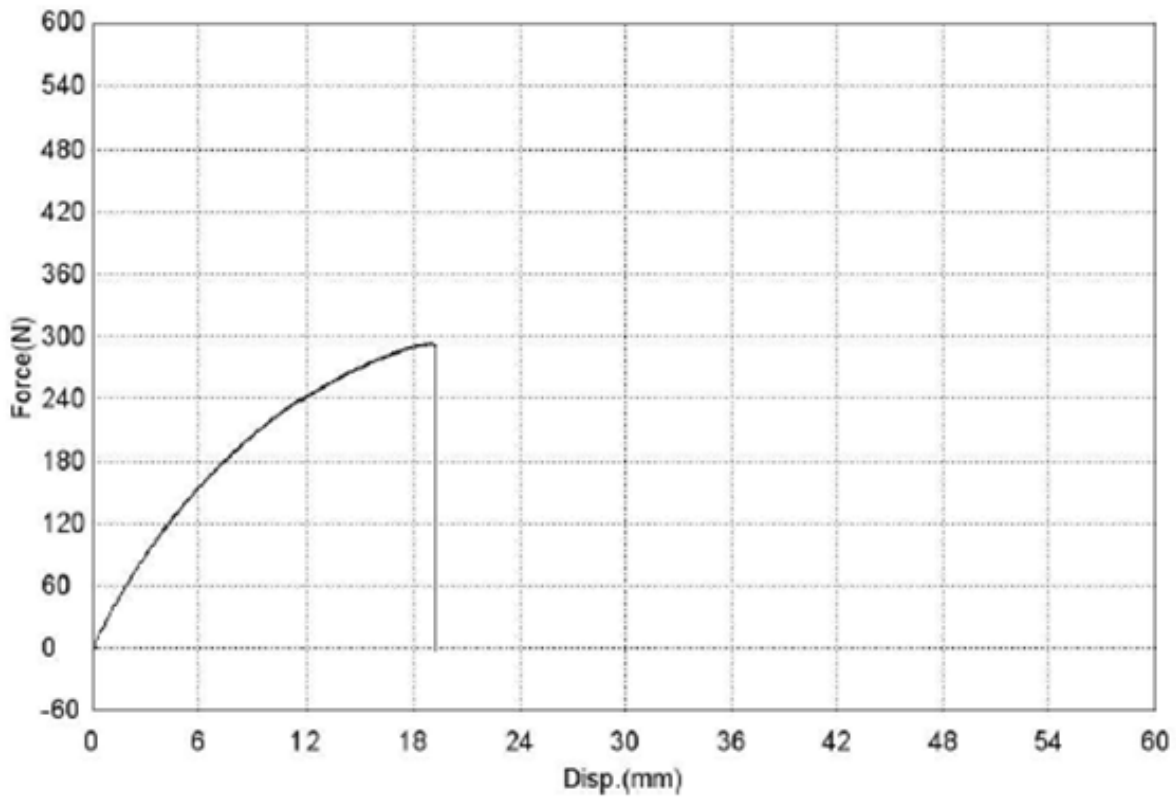


Figura 11. fuerza vs deformación M1-1. Elaboración propia.

Key Word		Product Name	
Test File Name	M1-2.xtak	Method File Name	
Report Date		Test Date	
Test Mode	Single	Test Type	3 Point Bend
Speed	26mm/min	Shape	Plate
No of Batches:	1	Qty/Batch:	1

Name
Parameters
Unit
1_1

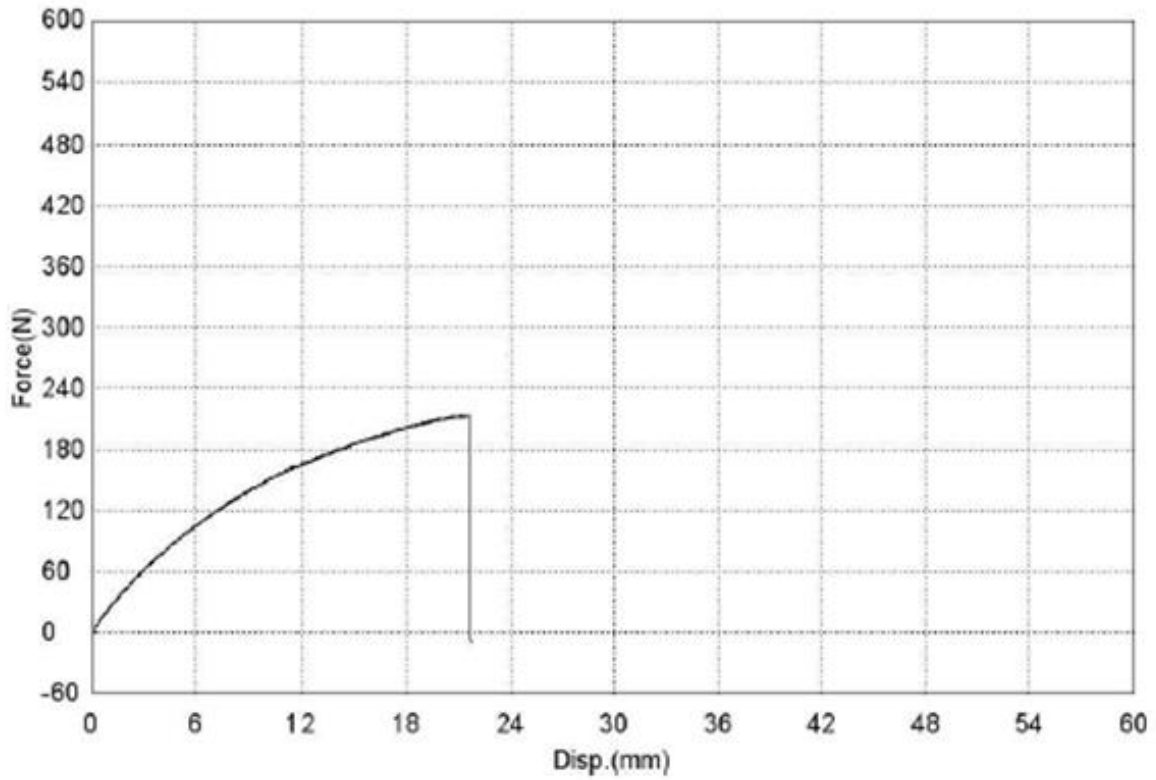


Figura 12. fuerza vs deformación M1-2. Elaboración propia.

Key Word		Product Name	
Test File Name	M1-3.xtak	Method File Name	
Report Date	.	Test Date	.
Test Mode	Single	Test Type	3 Point Bend
Speed	26mm/min	Shape	Plate
No of Batches:	1	Qty/Batch:	1

Name
Parameters
Unit
1_1

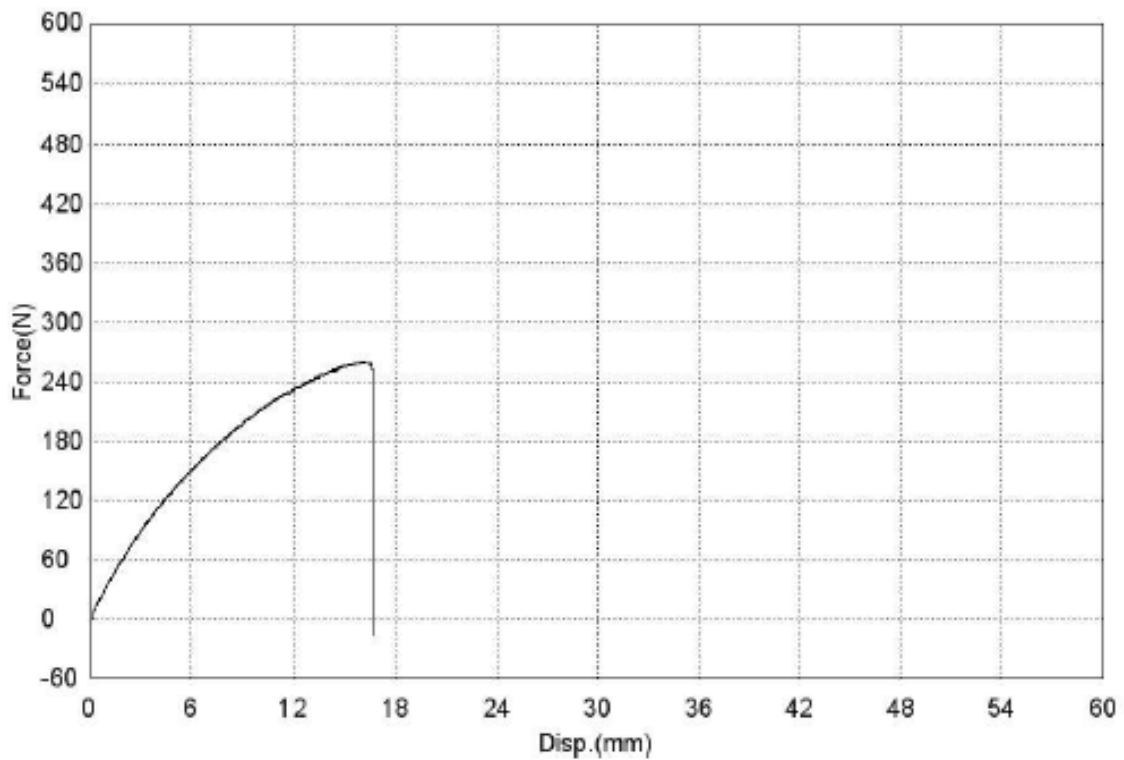


Figura 13. fuerza vs deformación M1-3. Elaboración propia.

Key Word		Product Name	
Test File Name	M1-4.xtak	Method File Name	
Report Date		Test Date	
Test Mode	Single	Test Type	3 Point Bend
Speed	26mm/min	Shape	Plate
No of Batches:	1	Qty/Batch:	1

Name
Parameters
Unit
1_1

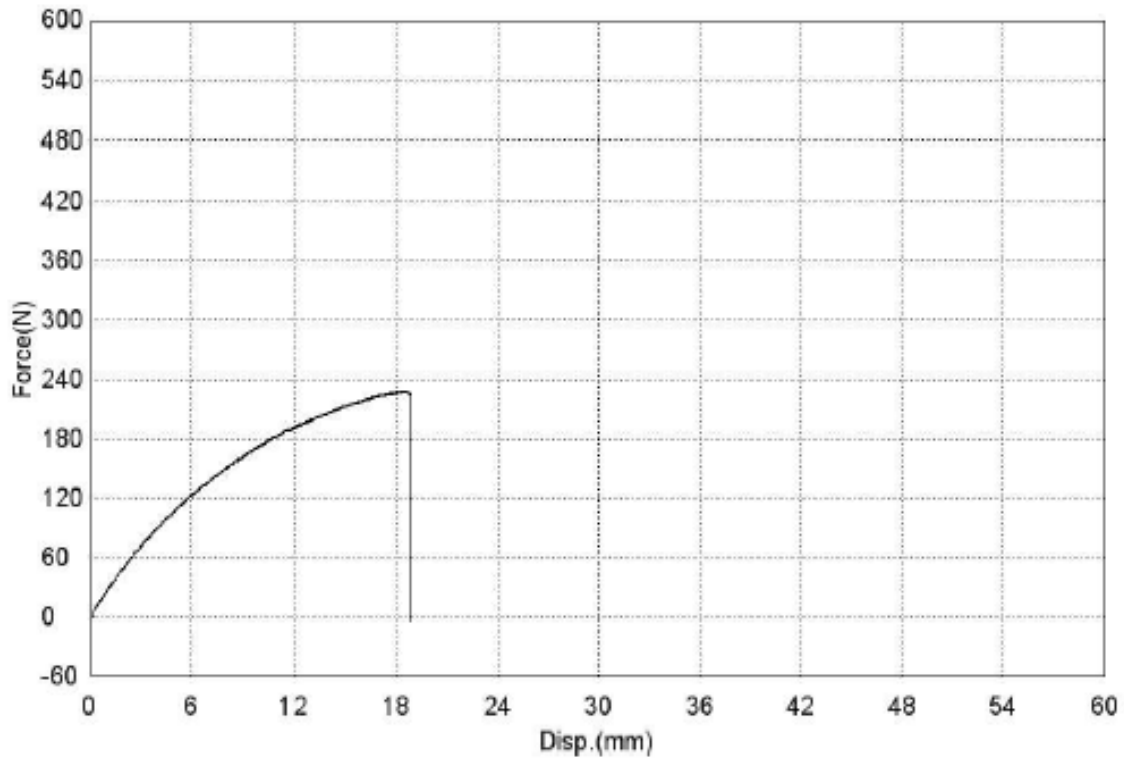


Figura 14. fuerza vs deformación M1-4. Elaboración propia.

A continuación, se adjunta la Tabla 2 con los datos de fuerza máxima y desplazamiento máximo (con sus respectivas fuerza y desplazamiento promedio) obtenidos de cada pieza del grupo **ID: M1**.

Tabla 2. fuerza máxima y desplazamiento máximo M1. Elaboración propia.

ID	Fuerza Max (N)	Desplazamiento Max (mm)
M1-1	282,08	16,65262
M1-2	194,50	16,6526
M1-3	260,21	16,65215
M1-4	222,14	16,65265
	Fuerza Promedio (N)	Desplazamiento Promedio (mm)
	239,73	16,652505

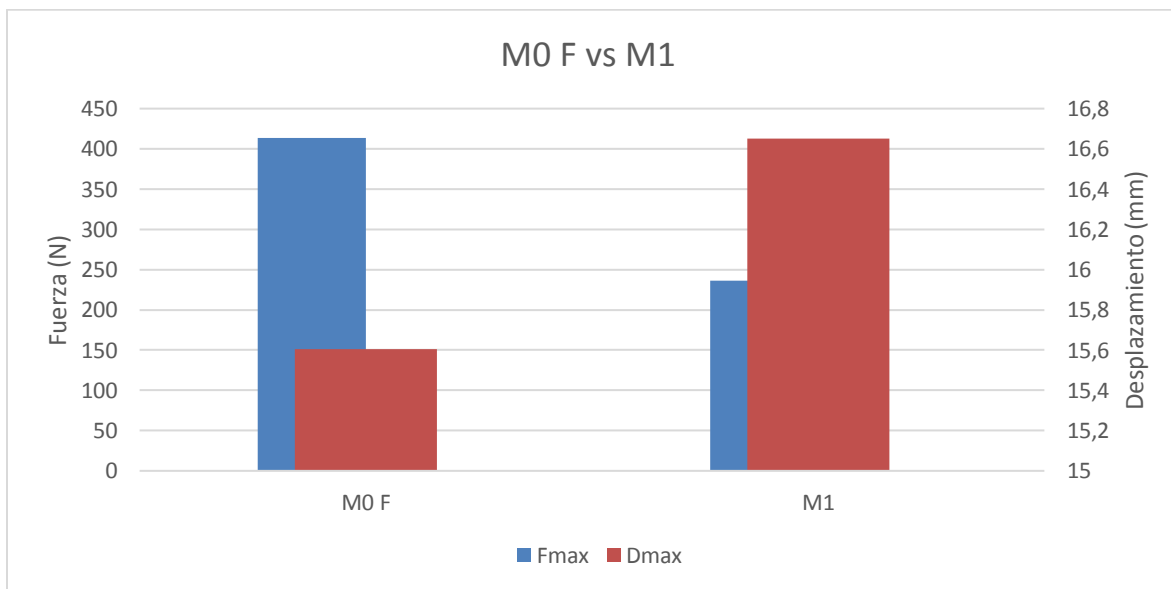


Figura 15. fuerza máxima y desplazamiento máximo M0 F vs fuerza máxima y desplazamiento máximo M1. Elaboración. Elaboración propia.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Finalizada la prueba se nota que el producto disminuye su resistencia a la flexión y la elasticidad promedio varia en ± 2 mm; el único cambio realizado en la composición fue la no adición de fibra y la disminución del 0.5 % de cera, lo que en resumen causa una disminución bastante notable de la fuerza (alrededor de 42 % de pérdida).

$$\tau = \frac{V}{A} = 0,335 \text{ Mpa}$$

$$\sigma = \frac{Mx C}{I} = 2,63 \text{ Mpa}$$

- **ID: M1 F**

Las siguientes son las gráficas de Fuerza vs Deformación para los 4 productos ID: M1 F obtenidas mediante el software **TRAPEZIUMX** para la prueba de flexión pura del material.

En ellas se muestra el desplazamiento de la curva hasta la ruptura del material

La prueba se realizó en 4 ejemplares similares, igual composición, peso, medida y forma física.

Key Word		Product Name	
Test File Name	M1-1F.xtak	Method File Name	
Report Date		Test Date	
Test Mode	Single	Test Type	3 Point Bend
Speed	26mm/min	Shape	Plate
No of Batches:	1	Qty/Batch:	1

Name
Parameters
Unit
1_1

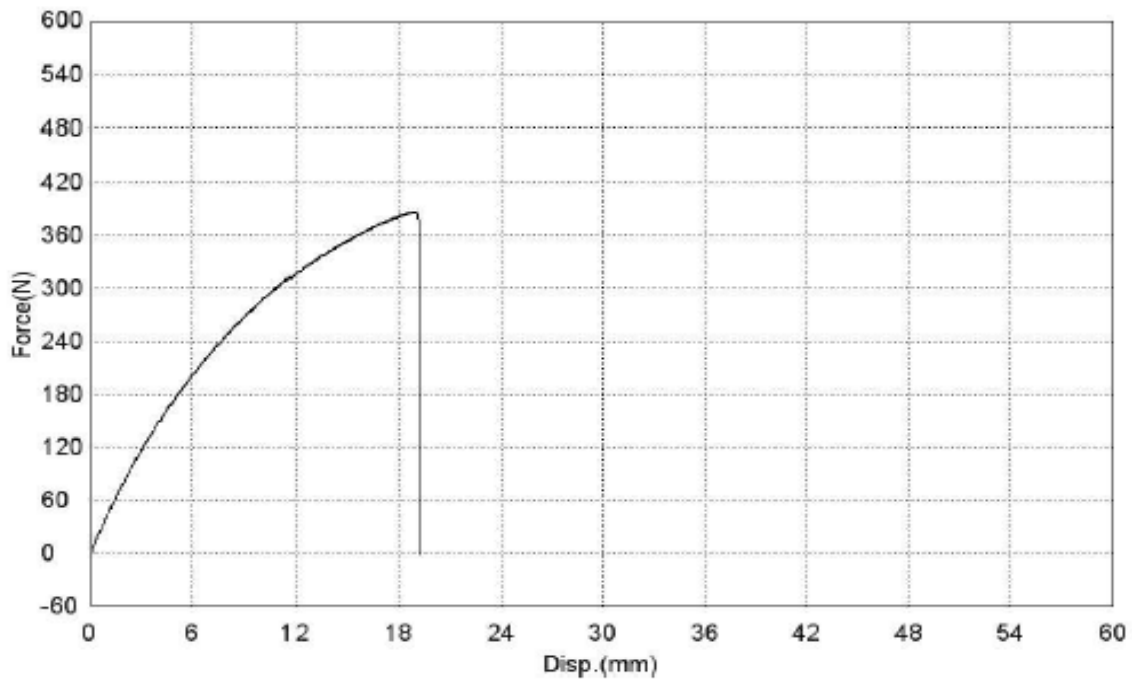


Figura 16. fuerza vs deformación M1-1F. Elaboración propia.

Key Word		Product Name	
Test File Name	M1-2F.xtak	Method File Name	
Report Date		Test Date	
Test Mode	Single	Test Type	3 Point Bend
Speed	26mm/min	Shape	Plate
No of Batches:	1	Qty/Batch:	1

Name
Parameters
Unit
1_1

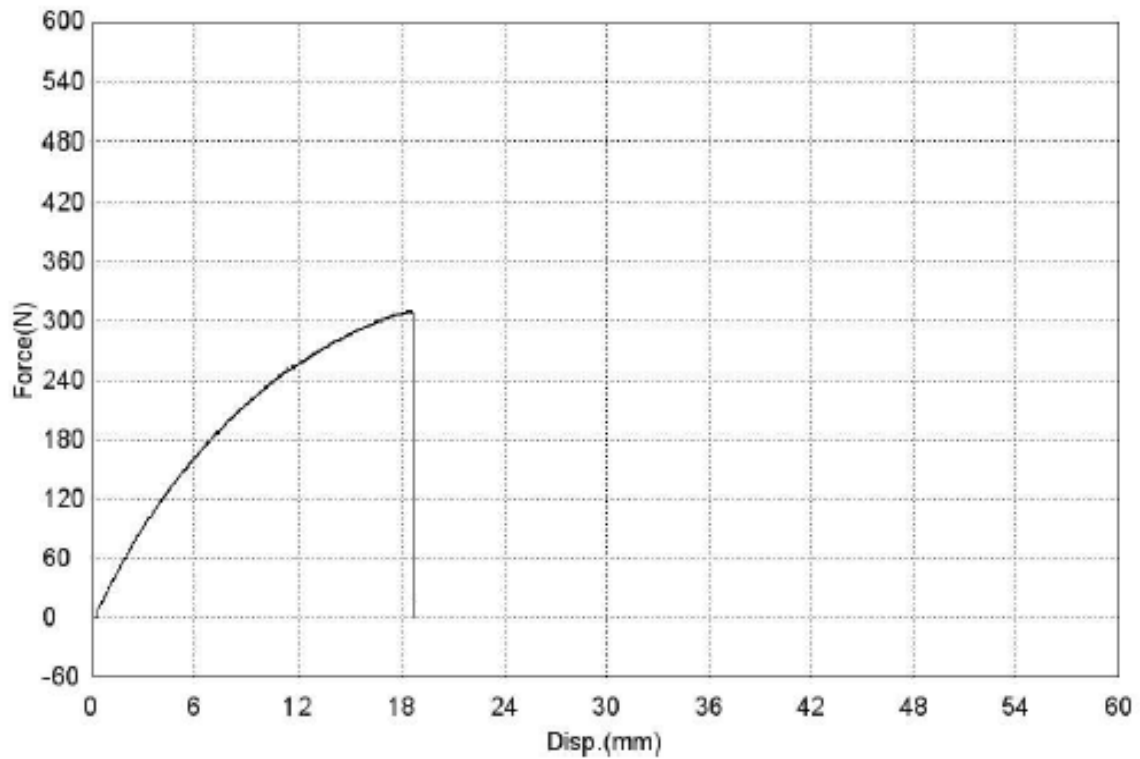


Figura 17. fuerza vs deformación M1-2F. Elaboración propia.

Key Word		Product Name	
Test File Name	M1-3F.xtak	Method File Name	
Report Date		Test Date	
Test Mode	Single	Test Type	3 Point Bend
Speed	26mm/min	Shape	Plate
No of Batches:	1	Qty/Batch:	1

Name
Parameters
Unit
1_1

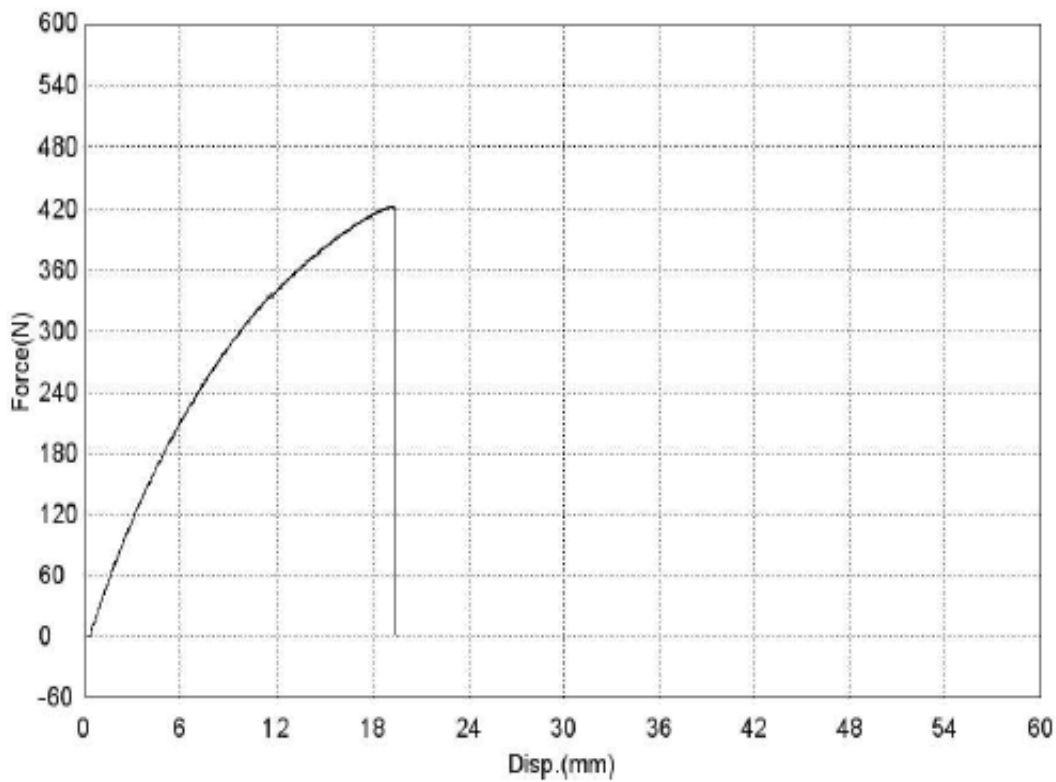


Figura 18. fuerza vs deformación M1-3F. Elaboración propia.

Key Word		Product Name	
Test File Name	M1-4F.xtak	Method File Name	
Report Date		Test Date	
Test Mode	Single	Test Type	3 Point Bend
Speed	26mm/min	Shape	Plate
No of Batches:	1	Qty/Batch:	1

Name
Parameters
Unit
1_1

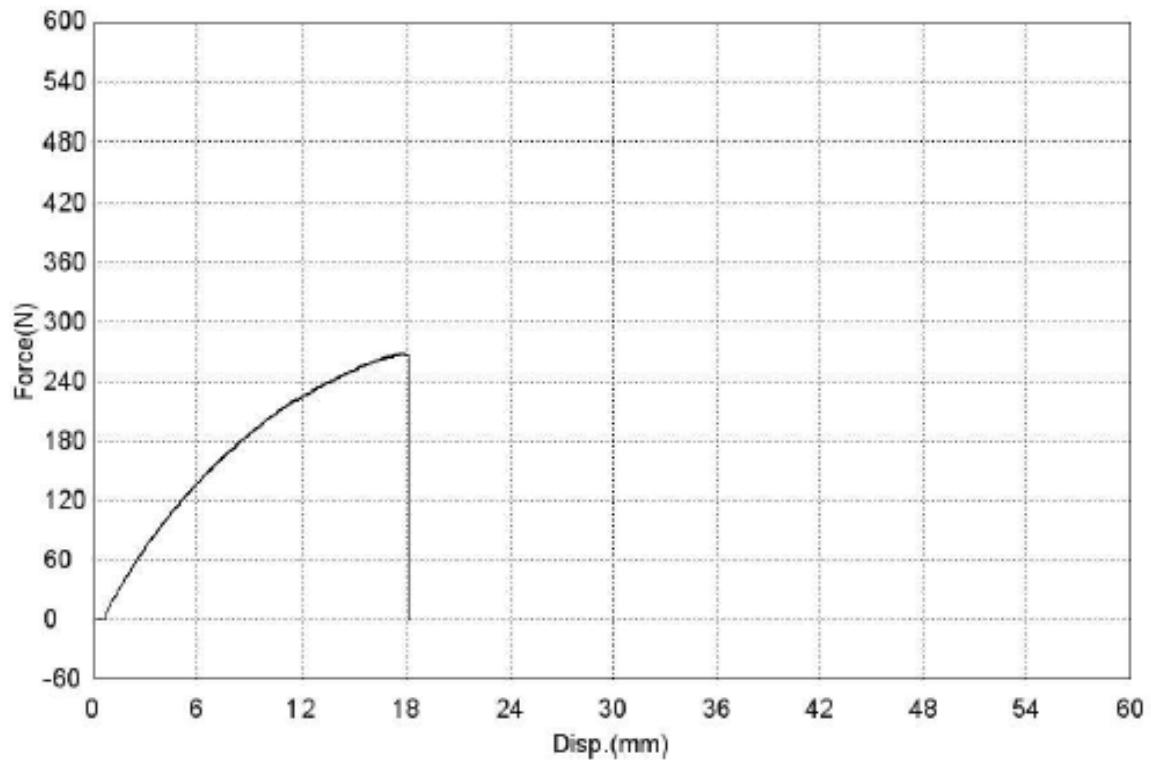


Figura 19. fuerza vs deformación M1-4F. Elaboración propia.

A continuación, se adjunta la Tabla 3 con los datos de fuerza máxima y desplazamiento máximo (con sus respectivas fuerza y desplazamiento promedio) obtenidos de cada pieza del grupo **ID: M1 F**.

Tabla 3. fuerza máxima y desplazamiento máximo M1 F. Elaboración propia.

ID	Fuerza Max (N)	Desplazamiento Max (mm)
M1-1F	368,2296	16,41871
M1-2F	309,4355	18,7235
M1-3F	399,8121	16,41871
M1-4F	261,9902	16,41871
	Fuerza Promedio (N)	Desplazamiento Promedio (mm)
	334,86685	16,9949075

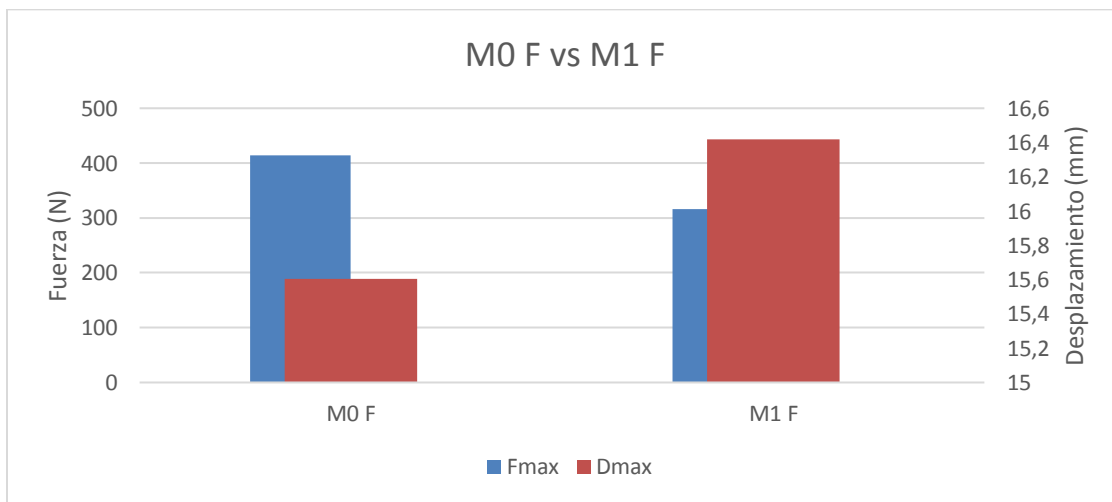


Figura 20. fuerza máxima y desplazamiento máximo M0 F vs fuerza máxima y desplazamiento máximo M1 F. Elaboración. Elaboración propia.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En los resultados obtenidos notamos que al disminuir al 0.5 % la cera del material base, también sufre una disminución de la fuerza promedio de resistencia a la flexión, perdiendo aproximadamente el 20 % comparado con la muestra M0 F.

$$\tau = \frac{V}{A} = 0,468 \text{ Mpa}$$

$$\sigma = \frac{MxC}{I} = 3.68 \text{ Mpa}$$

Las pruebas anteriores se realizaron en cada uno de los materiales creados después de la formulación y se detallan a continuación cada uno de los resultados obtenidos.

- **ID: M1 PP**

Tabla 4. fuerza máxima y desplazamiento máximo M1 PP. Elaboración propia.

ID	Fuerza Max (N)	Desplazamiento Max (mm)
M1-1PP	395,0278	8,657646
M1-2PP	344,0857	8,657646
M1-3PP	400,3366	8,657666
M1-4PP	363,9062	8,657166
	Fuerza Promedio (N)	Desplazamiento Promedio (mm)
	375,839075	8,657531

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$\tau = \frac{V}{A} = 0,525 \text{ Mpa}$$

$$\sigma = \frac{MxC}{I} = 4.13 \text{ Mpa}$$

Finalizada la prueba de este prototipo se concluye que el cambio de PE (reciclado) a PP (virgen) brinda buenas prestaciones, ya que se obtuvo solo una pérdida aproximada de fuerza promedio del 10 % para un producto con menor deformación (menos flexible), cambiando el plástico base, disminuyendo en un 0.5 % el porcentaje de cera y sin adicionar fibra.

- **ID: M2**

Tabla 5. fuerza máxima y desplazamiento máximo M2. Elaboración propia.

ID	Fuerza Max (N)	Desplazamiento Max (mm)
M2-1	411,2244	28,44746
M2-2	426,2924	28,44796
M2-3	425,8951	28,44796
M2-4	363,9062	28,44796
	Fuerza Promedio (N)	Desplazamiento Promedio (mm)
	406,829525	28,447835

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$\tau = \frac{V}{A} = 0,568 \text{ Mpa}$$

$$\sigma = \frac{MxC}{I} = 4.47 \text{ Mpa}$$

Para el Prototipo M2 Se reduce el porcentaje de madera y se aumenta el porcentaje de plástico PE en la misma proporción (50,6% madera y 45,5% plástico composición base), se reduce la cera 0.5%, no se utiliza fibra y se obtiene una pérdida de fuerza promedio de 2 % comparado con el material M0 F, pero aumenta considerablemente el desplazamiento antes de deformarse (disminución en la rigidez).

- **ID: M2 F**

Tabla 6. fuerza máxima y desplazamiento máximo M2. Elaboración propia.

ID	Fuerza Max (N)	Desplazamiento Max (mm)
M2-1F	436,3537	31,0784
M2-2F	443,9513	31,0783
M2-3F	463,4221	31,0778
M2-4F	430,4886	31,0827
	Fuerza Promedio (N)	Desplazamiento Promedio (mm)
	443,553925	31,079295

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$\tau = \frac{V}{A} = 0,619 \text{ Mpa}$$

$$\sigma = \frac{Mx C}{I} = 4.87 \text{ Mpa}$$

Al adicionar 0.1 % de fibra al prototipo M2 y conservando el mismo porcentaje de madera y cera de la muestra anteriormente evaluada, obtenemos un aumento en la fuerza y desplazamiento comparado con el material M0 F, llegando a obtener un aumento de fuerza promedio de alrededor de un 7% y se observa que la fibra mejora la resistencia a la ruptura del material.

- **ID: M2 HDPE**

Tabla 7. fuerza máxima y desplazamiento máximo M2 HDPE. Elaboración propia.

ID	Fuerza Max (N)	Desplazamiento Max (mm)
M2-1HDPE	358,2477	13,42869
M2-2HDPE	377,21	13,42821
M2-3HDPE	376,2404	13,42865
M2-4HDPE	387,4779	13,42867
	Fuerza Promedio (N)	Desplazamiento Promedio (mm)
	374,794	13,428555

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$\tau = \frac{V}{A} = 0,523 \text{ Mpa}$$

$$\sigma = \frac{Mx C}{I} = 4.12 \text{ Mpa}$$

Para esta ocasión el usar el mismo porcentaje de madera de la muestra M0 F y cambiando el plástico de PE (reciclado) a HDPE (virgen), usando 0.5 % de cera y sin incluir fibra obtenemos una pérdida de fuerza de alrededor del 10 % y también notamos que se reduce el desplazamiento; concluimos que, al estar usado el plástico, pierde ciertas características mecánicas.

- **ID: M3**

Tabla 8. fuerza máxima y desplazamiento máximo M3. Elaboración propia.

ID	Fuerza Max (N)	Desplazamiento Max (mm)
M3-1	432,8569	31,93633
M3-2	406,6626	31,93579
M3-3	420,0776	31,93631
M3-4	409,1581	31,93635
	Fuerza Promedio (N)	Desplazamiento Promedio (mm)
	417,1888	31,936195

$$\tau = \frac{V}{A} = 0,583 \text{ Mpa}$$

$$\sigma = \frac{Mx C}{I} = 4,58 \text{ Mpa}$$

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Para la muestra M3 se utiliza un porcentaje de madera (45.5%), se aumenta el plástico (50.5 %), se utiliza 1% de cera y no se utiliza fibra; como resultado obtenemos un aumento en la fuerza de aproximadamente 1%, esto debido a la reducción de la madera (perdida de rigidez) que brinda una mayor plasticidad y aumento en el desplazamiento.

- **ID:M3 F**

Tabla 9. fuerza máxima y desplazamiento máximo M3 F. Elaboración propia.

ID	Fuerza Max (N)	Desplazamiento Max (mm)
M3-1F	400,6863	35,962
M3-2F	422,7479	35,962
M3-3F	415,8815	35,96154
M3-4F	424,2261	35,962
	Fuerza Promedio (N)	Desplazamiento Promedio (mm)
	415,88545	35,961885

$$\tau = \frac{V}{A} = 0,581 \text{ Mpa}$$

$$\sigma = \frac{MxC}{I} = 4.57 \text{ Mpa}$$

Para este prototipo utilizamos la misma composición de madera y plástico de la muestra M3 (45.5% y 50.5 % respectivamente), se utiliza 1% de cera y utiliza 0.1% fibra. Obtenemos un aumento en el desplazamiento si miramos la muestra M3, pero con este aumento en el desplazamiento significa ganar un 0.4 % en la fuerza utilizada, comparado con la muestra M0 F.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- **ID:M3 HDPE**

Tabla 10. fuerza máxima y desplazamiento máximo M1. Elaboración propia.

ID	Fuerza Max (N)	Desplazamiento Max (mm)
M3-1HDPE	355,9907	13,43731
M3-2HDPE	333,7542	13,43685
M3-3HDPE	356,849	13,43727
M3-4HDPE	371,8376	13,43727
	Fuerza Promedio (N)	Desplazamiento Promedio (mm)
	354,607875	13,437175

$$\tau = \frac{V}{A} = 0,499 \text{ Mpa}$$

$$\sigma = \frac{Mx C}{I} = 3.90 \text{ Mpa}$$

Para esta muestra utilizamos un porcentaje de madera de 59.0%, plástico de 34.4% (HDPE virgen), cera de 0.5 %, sin fibra y obtenemos una pérdida de fuerza promedio de 14% con respecto a la muestra M0 F; se pudo observar que al ser un material muy rígido (porcentaje alto de madera y poco plástico) tiende a fracturarse con mayor facilidad si es flexionado.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- ID:M4

Tabla 11. fuerza máxima y desplazamiento máximo M4. Elaboración propia.

ID	Fuerza Max (N)	Desplazamiento Max (mm)
M4-1	423,3201	38,86538
M4-2	424,7189	38,86538
M4-3	401,7353	38,86488
M4-4	386,1586	48,30714
	Fuerza Promedio (N)	Desplazamiento Promedio (mm)
	408,983225	41,225695

$$\tau = \frac{V}{A} = 0,571 \text{ Mpa}$$

$$\sigma = \frac{Mx C}{I} = 4.49 \text{ Mpa}$$

Para la muestra M4 se utilizó un porcentaje de madera de 40.4 %, plástico PE 55.6 %, cera 1% y no se utilizó fibra. Después de finalizada la prueba se obtiene una pérdida en la fuerza de alrededor de 2% con respecto a la muestra M0 F, pero el desplazamiento es afectado casi en un 60%; se concluyó que la plasticidad se debe al alto porcentaje de polímero utilizado vs la poca cantidad de madera.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- **ID: M4 F**

Tabla 12. fuerza máxima y desplazamiento máximo M4 F. Elaboración propia.

ID	Fuerza Max (N)	Desplazamiento Max (mm)
M4-1F	420,8088	40,65887
M4-2F	425,8633	40,65936
M4-3F	450,6906	40,65936
M4-4F	371,8535	40,65936
	Fuerza Promedio (N)	Desplazamiento Promedio (mm)
	417,30405	40,6592375

$$\tau = \frac{V}{A} = 0,583 \text{ Mpa}$$

$$\sigma = \frac{MxC}{I} = 4.59 \text{ Mpa}$$

Para esta muestra se usó la misma composición de M4 (40.4 % madera, 55.6 % PE, 1% cera) y se le añadió 0.1 % fibra, con lo cual se obtuvo un aumento de la fuerza del 1% comparado con la muestra M0 F, se concluye que la fibra ofrece mayor resistencia a la ruptura al material de mezcla madera-plástico.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- **ID:M5 FVP**

Tabla 13. fuerza máxima y desplazamiento máximo M5 FVP. Elaboración propia.

ID	Fuerza Max (N)	Desplazamiento Max (mm)
M5-1FVP	273,5774	7,548354
M5-2FVP	244,077	7,548333
M5-3FVP	247,2242	7,548333
M5-4FVP	241,7882	7,547833
	Fuerza Promedio (N)	Desplazamiento Promedio (mm)
	251,6667	7,54821325

$$\tau = \frac{V}{A} = 0,351 \text{ Mpa}$$

$$\sigma = \frac{MxC}{I} = 2.77 \text{ Mpa}$$

Para la muestra M5 se utilizó como plástico FVP(virgen) en un porcentaje de 35.1 % y un porcentaje de madera de 60.1 %, un porcentaje de 0.5 % cera y sin fibra.

Debido a la rigidez del FVP, la fuerza promedio se ve reducida en alrededor de 38% y también el desplazamiento reduce en más de un 50%, comparado con la muestra M0 F.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- **ID:M6FT**

Tabla 14. fuerza máxima y desplazamiento máximo M6 FT. Elaboración propia.

ID	Fuerza Max (N)	Desplazamiento Max (mm)
M6-1FT	360,2346	11,66883
M6-2FT	387,5414	11,66931
M6-3FT	361,0929	11,66937
M6-4FT	344,4036	11,66933
	Fuerza Promedio (N)	Desplazamiento Promedio (mm)
	363,318125	11,66921

$$\tau = \frac{V}{A} = 0,507 \text{ Mpa}$$

$$\sigma = \frac{MxC}{I} = 3.99 \text{ Mpa}$$

Para la muestra M6 se utiliza una composición de Madera 60.1 %, plástico (PE virgen) 34.8 %, cera 0.5% y fibra PET y se obtiene una reducción en la fuerza de ruptura en alrededor de un 12 % comparado con la muestra M0 F. la fibra PET según la composición puede aumentar la rigidez del material y esto sumado al alto porcentaje de madera, causó una ruptura prematura del material.

Concluidas las pruebas de flexión pura a todos los prototipos diseñados hasta el momento, se concluyó que el material que mayor resistencia brinda es: **M2 F**

En la figura 20. se ilustran los resultados obtenidos de fuerza – deformación para cada material, para tener una mejor apreciación de los resultados obtenidos.

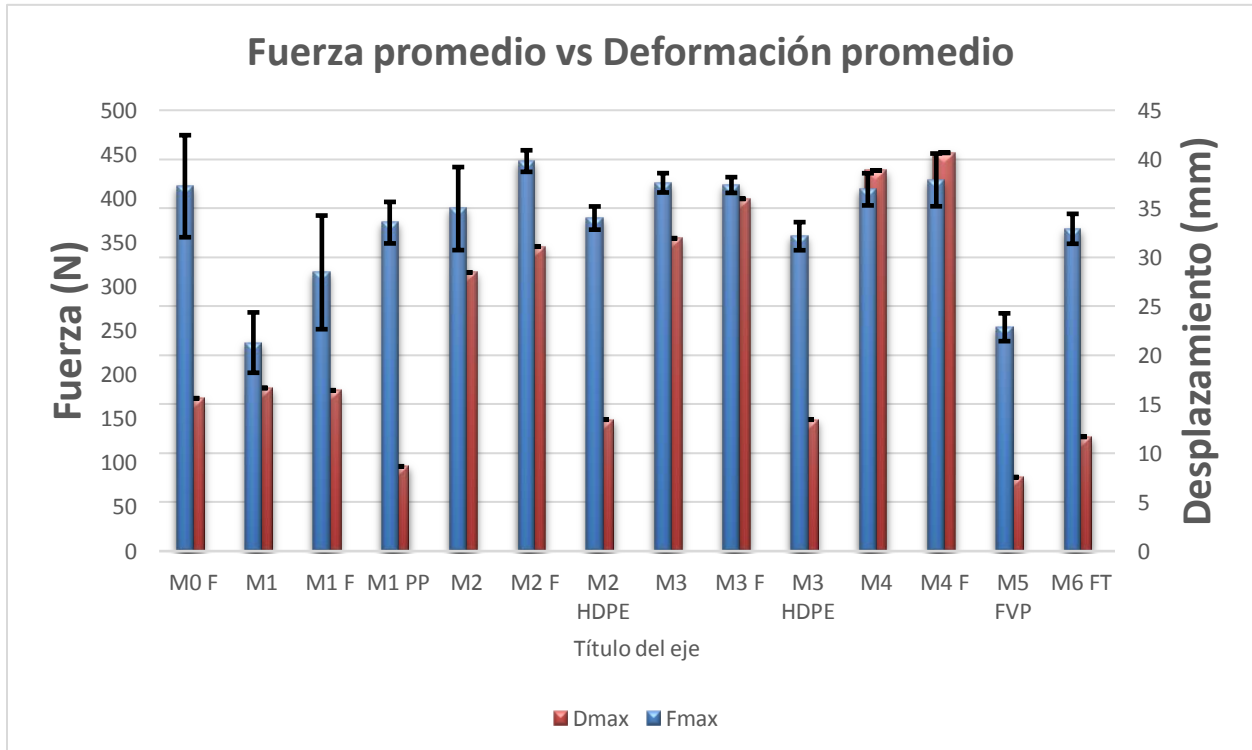


Figura 21. Fuerza Promedio – Deformación Promedio en cada Pieza. Elaboración propia

En la Figura 20. se puede observar que el material con mayor resistencia fue M2 F comparado con los otros grupos de materiales, el cual obtuvo un porcentaje de elevado de fuerza después de una reformulación.

Para obtener material con mejor comportamiento una mezcla de porcentaje balanceado entre madera y plástico puede brindar características especiales (mayor resistencia a la flexión para este caso particular) a los WPC's y la adición de fibra, puede mejorar características como el módulo de Young y la resistencia a la tracción. (Tzankova Dintcheva y La Mantia 1999)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Un estudio realizado por Fang Huang muestra que el porcentaje de harina de madera en una mezcla con polímeros (PE) puede afectar considerablemente lo relacionado con la resistencia a la tracción y la resistencia a la flexión (tabla 15); Fang también muestra la importancia que tiene el tamaño de cada partícula de harina de madera (tabla 16) y como afecta también la resistencia a la tracción y a la flexión en los WPC's. (Huang.F,2012).

Tabla 15. Efecto del porcentaje de madera en compuesto de madera plástico.

Polvo de madera (%)	Resistencia a la flexión (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)
0	17,2	18,4
10	21,1	21,1
20	24,1	22,2
30	32,4	24,6
40	36,7	26,3
50	43,2	27,5

tabla 16. Efecto del tamaño de la partícula de harina de madera en los compuestos de madera plástico.

Tamaño (mm)	Resistencia a la flexión (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)
0,54	44,64	11,76
0,28	39,18	12,58
0,18	33,26	10,28
0,15	29,33	9,32
0,12	27,9	7,79

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

Como resultado de la investigación presentada, es posible concluir que se logra hacer el mejoramiento en la formulación del compuesto de madera plástica para la fabricación de piezas sometidas a esfuerzos críticos de flexión. Esto se cumple gracias a una serie de análisis, ensayos mecánicos y pruebas a las que estaban sujetas las diferentes composiciones iniciales, con dichas pruebas se empieza a variar el porcentaje de algunos componentes con el objetivo de realizar un análisis al comportamiento de las distintas muestras y así considerar cual es la mejor elección para enfocar el estudio y mejorar su conducta al momento de usarse en el campo comercial e industrial.

Gracias a los modernos laboratorios del INSTITUTO TECNOLOGICO METROPOLITANO (ITM) y demás elementos a nuestra disposición se logra desarrollar la investigación con total satisfacción cumpliendo a cabalidad con los objetivos planteados de la investigación.

Una complicación que surgió durante el desarrollo de la investigación es debida a la poca información que tiene el producto, ya que el compuesto de madera plástica se utiliza mayormente en los Estados Unidos y Europa, mientras que en Suramérica y especialmente Colombia no ha contado con gran estudio ni desarrollo para su implementación ni comercialización.

- Se logra realizar una búsqueda bibliográfica de propiedades mecánicas (flexión) de compuestos de madera plástica.

Tabla 17. Búsqueda bibliográfica 1. Elaboración propia.

Muestra	Característica madera	% Madera	% Polímero	Aditivos	Refuerzo	Resistencia flexión (MPa)	Referencia
Testigo	Aserrín	50	30	20	-	15,2	Martínez et al, 2014
F1	Aserrín	50	29,4	14,5	6,1	15,25	
F2	Aserrín	50	29,6	10,8	9,6	15,28	
F3	Aserrín	50	29,8	7,1	13,1	15,28	
F4	Aserrín	50	31,6	9,1	9,3	16,24	
F5	Aserrín	50	30,8	6,4	12,8	16,41	

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Tabla 18. Búsqueda bibliográfica 2. Elaboración propia.

Muestra	Polímero (%)	Madera (%) 0.250 mm	Madera (%) 0.149 mm	Agente de acople (%)	Flexión Max (MPa)	Tracción Max (MPa)	Referencia
A	49	50		1	50	4000	Lisperguer et al, 2013
B	50	50			39	4200	
C	49		50	1	63	5100	
D	50		50		40	4700	
E	39	60		1	47	5000	
F	40	60			37	5200	
G	39		60	1	58	4900	
H	40		60		38	4100	

- Se logra determinar que las variables a evaluar más significativas en la formulación de compuesto de madera plástica son el porcentaje de madera y plástico con el que está fabricado dicho material, así como también influye el agente de acople (AA) en el comportamiento del compuesto.
- En la investigación se puede determinar un diseño final a partir de los elementos antes estudiados, ya que por inconvenientes de logística, disponibilidad de equipos y otros factores externos, solo fue posible evaluar las formulaciones antes presentadas y con esto poder lograr la mejora en las propiedades mecánicas a flexión de compuestos de madera plástica, el cual se basa en el análisis del comportamiento de las piezas cuando estas se someten a flexión pura en una máquina de prueba universal disponible en el laboratorio de la universidad y con la cual se registran los datos necesarios para reformular la composición de la pieza, someterla a flexión pura nuevamente y luego analizarla, hasta encontrar la composición con mejores resultados y óptimo desempeño en la aplicación requerida.
- Durante el desarrollo de la investigación se consigue someter las piezas a esfuerzo de flexión pura en una MAQUINA DE PRUEBA UNIVERSAL / MULTIPARAMETROS / ELECTROMECHANICA (MPU), marca SHIMADZU AB-X100 kN. ubicada en el laboratorio de materiales poliméricos del INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO (ITM). Con lo cual se logra obtener los resultados para analizar y mejorar el comportamiento de los perfiles de madera plástica.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RECOMENDACIONES

Cabe resaltar que hay ciertos puntos en los cuales se puede hacer algún tipo de recomendación, como por ejemplo analizar el porcentaje de fibra para la composición de madera plástica, ya que se utiliza en todas las muestras en un rango entre 0,5 y 1,0%, lo cual es una cantidad que poco afecta las características del WPC's, donde en otros desarrollos se utiliza como mínimo porcentaje entre el 5% y el 17 % con el fin de dar nuevas características al material, sin aumentar su costo final. cómo se puede denotar en el trabajo realizado por Tzankova Dintcheva y La Mantia, en el que al usar entre un 20 – 40 % de fibra, aumentan el módulo de elasticidad, modifica también el esfuerzo de tracción. (Tzankova Dintcheva y La Mantia (1999)).

Todos los diseños creados mediante reformulación usaron un porcentaje de agente de acoplamiento (AA) de 0.5 %; estudios revelan que el porcentaje recomendado para una mayor adherencia entre el plástico y la madera es de 1%. A la empresa Prila SAS se le sugirió crear nuevas piezas un porcentaje de AA del 1%, pero al momento de la elaboración de este informe, aun no se disponía de dichos elementos, para efectuar pruebas.

También se debe tener en cuenta en nivel de porosidad de las piezas después de su proceso de manufactura debido a que durante su fabricación se generan imperfecciones en el material y estas pueden intervenir en el comportamiento del compuesto durante los ensayos mecánicos a los que están sometidos en la MPU.

Para trabajos posteriores se debe realizar un análisis sobre la geometría de las piezas en las cuales se basa este estudio y su desempeño, puesto que la pieza objeto de estudio era un cilindro hueco, los cálculos de esfuerzo y deformación conllevan un mayor grado de dificultad, por lo que se recomienda cambiar la geometría a un cilindro sólido o en su defecto una estructura diseñada exclusivamente para soportar esfuerzos críticos de flexión como es el caso de las estructuras tipo I.

Después de realizadas las pruebas en todos los materiales, se encontró que:

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Al tener dos materiales de igual composición, al adicionar fibra a uno de ellos, sufre un aumento en la resistencia (fuerza) y desplazamiento hasta llegar a su punto de ruptura, se puede concluir que la fibra, aumenta la resistencia a la ruptura del material.
- La madera está asociada a la rigidez del material. La rigidez es inversamente proporcional al desplazamiento del material antes de sufrir fractura, con lo que se interactúa con el desplazamiento adicionando polímero, se puede obtener mejoras en la resistencia.
- Dependiendo del porcentaje madera/plástico que contenga el material, puede aumentar la resistencia, pero también puede hacer que se vuelva demasiado plástico aumentando la capacidad de desplazamiento en forma no adecuada y el material pierda capacidad de carga
- El polipropileno generalmente es más rígido que el polietileno por lo que tiende a romperse con más facilidad, además el polietileno tiene un costo menor en el mercado, por lo que fue más fácil de adquirir para hacer las muestras.

SUGERENCIAS

- Estudiar reformulaciones usando agentes de acoples en porcentajes mayores o iguales a 1%.
- La mezcla de polímeros para mejorar y dar nuevas características o mejorar las desventajas que el polímero base pueda tener.
- Estudiar otros tipos de fibras naturales, como fibra de madera, de coco, bagazo entre otros.
- Usar otros agentes compatibilización, para mejorar la adherencia entre la madera y el plástico y así mejorar las capacidades mecánicas.
- Estudiar a fondo la despolimerización y el efecto en los WPC's al usar polímeros reciclados.
- considerar un aumento en el porcentaje de fibra por encima de 0.1%
- usar técnicas de espumado

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

TRABAJO FUTURO

Los usos de los compuestos de madera plástica tienen un futuro prometedor, por la variedad de aplicaciones en las que se pueden incluir, entre algunas de las aplicaciones se podrían incluir:

- Aplicación como material de construcción en viviendas, pisos, sillas, mesas.
- Usado en aplicaciones con ambientes de intemperie, corrosión, alta humedad, salinidad.
- Uso en aplicaciones automotrices, navieras, aeronáuticas.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

REFERENCIAS

- Ashori, A. & Nourbakhsh, A., 2009a. Characteristics of wood – fiber plastic composites made of recycled materials. *Waste Management*, 29(4), pp.1291–1295.
- Caufield, D.F., Clemons, C. & Rowell, R.M., 2007a. Wood Thermoplastic Composite. In *Wood Handbook*. pp. 141–159.
- Clemons, C.M., 2000b. Woodfiber-Plastic Composites in The United States-- History, Current and Future Markets. In *3rd International Wood and Natural Fiber Composites Symposium*. pp. 1–7
- Club Contacto. (2017). Clubcontacto.cl. Retrieved 24 July 2017, from <http://clubcontacto.cl/articulos-madera-plastica-el-encanto-de-la-segunda-oportunidad.php>
- F. Huang, "Study on Mechanical Properties of Wood Plastic Composites", *Applied Mechanics and Materials*, Vols. 182-183, pp. 307-310, 2012
- Gallagher, L.W., 2006a. The effect of Utilizing Micrometer Sized Wood Fiber in Wood Plastic Composites. University of Idaho, pp. 1-57
- Kokta, B. V., Michalkova, D., Dimzoski, B., Fortelny, I., Slouf, M., Krulis, Z., 2010. Characteristics of wood-plastic composites reinforced with organo-nanoclays. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 29(24), pp.3566–3586.
- Las ventajas de los compuestos de madera y plástico. (2017). Interempresas. Retrieved 20 July 2017, from <http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/26488-Las-ventajas-de-los-compuestos-de-madera-y-plastico.html>

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Lisperguer, Justo, Bustos, Ximena, Saravia, Yanina, Escobar, Carolina, & Venegas, Henry. (2013). Efecto de las características de harina de madera en las propiedades físico-mecánicas y térmicas de polipropileno reciclado. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 15(3), 321-336.

Mantia, F.P. La & Morreale, M., 2011a. Composites: Part A Green composites: A brief review. *Composites Part A*, 42(6), pp.579–588.

Martínez, Y., Fernández, R., Álvarez, D., García, M. and Martínez, E. (2014). Elaboración de madera plástica con propiedades ignífugas a partir del aprovechamiento del aserrín de pinus caribaea morelet var. caribaea barret y golfari y residuos termoplásticos. *Revista Forestal Baracoa*, [online] 33(especial 2014), pp.227-240

Meran, C., Ozturk, O. & Yuksel, M., 2008. Examination of the possibility of recycling and utilizing recycled polyethylene and polypropylene. *Materials & Design*, 29(3), pp.701–705.

Mott, R. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. México: Pearson Educación.

N. Tzankova Dintcheva, F.P. La Mantia. Recycling of the “Light Fraction” from municipal post-consumer plastics: effect of adding wood fibers. *Polymers for Advanced Technology*, 10 (1999), pp. 607-614

Rowell, R.M. & Youngquist, J.A., 1991. *Composites from Recycled Materials.*, pp.301– 314.

Semeralul, H.O., 2009b. Advancing the Technology Development for Better Quality Wood Plastic Composites: Processability Study. pp 1-92

Sobczak, Lukas., Welser, Romana., Brüggemann, Oliver., Haider, Andreas., 2012. Polypropylene (PP)-based wood polymer composite: Performance of five commercial maleic anhydride grafted coupling agent. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Youngquist, John A., Myers, George E., Muehl, James H., Krzysik, Andrzej M., Clemens, Crai M., Brown, Lisa., 1994c. Composites from Recycled Wood and Plastics, pp 1-20

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

APÉNDICE

Lista de figuras

Figura 1. compresión-tensión en flexión pura. Recuperado de: http://math4you2.wixsite.com/math4you/esfuerzo-y-deformacin-c139d	17
Figura 2. Prueba de flexión en MPU. Elaboración propia.	23
Figura 3. Flexión pura. Recuperado de: http://quintanillasolisj.blogspot.com.co/p/evap-4_25.html	23
Figura 4. fuerza vs deformación M0-1F. Elaboración propia.	25
Figura 5. fuerza vs deformación M0-2F. Elaboración propia.	26
Figura 6. fuerza vs deformación M0-3F. Elaboración propia.	27
Figura 7. fuerza vs deformación M0-4F. Elaboración propia.	28
Figura 8. fuerza máxima y desplazamiento máximo M0 F. Elaboración propia.....	29
Figura 9. Simulación de flexión pura en software MDSolid3.5 Elaboración propia.	30
Figura 10. Diagramas de fuerza cortante y momento flector en el software MDSolid3.5. Elaboración Propia.....	31
Figura 11. fuerza vs deformación M1-1. Elaboración propia.	37
Figura 12. fuerza vs deformación M1-2. Elaboración propia.	38
Figura 13. fuerza vs deformación M1-3. Elaboración propia.	39
Figura 14. fuerza vs deformación M1-4. Elaboración propia.	40
Figura 15. fuerza máxima y desplazamiento máximo M0 F vs fuerza máxima y desplazamiento máximo M1. Elaboración. Elaboración propia.	41
Figura 16. fuerza vs deformación M1-1F. Elaboración propia.	43
Figura 17. fuerza vs deformación M1-2F. Elaboración propia.	44
Figura 18. fuerza vs deformación M1-3F. Elaboración propia.	45
Figura 19. fuerza vs deformación M1-4F. Elaboración propia.	46
Figura 20. fuerza máxima y desplazamiento máximo M0 F vs fuerza máxima y desplazamiento máximo M1 F. Elaboración. Elaboración propia.....	47
Figura 21. Fuerza Promedio – Deformación Promedio en cada Pieza. Elaboración propia	59

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Lista de tablas

Tabla 1. fuerza máxima y desplazamiento máximo M0 F. Elaboración propia.	<u>2928</u>
Tabla 2. fuerza máxima y desplazamiento máximo M1. Elaboración propia.	<u>4140</u>
Tabla 3. fuerza máxima y desplazamiento máximo M1 F. Elaboración propia.	<u>4745</u>
Tabla 4. fuerza máxima y desplazamiento máximo M1 PP. Elaboración propia.	<u>4846</u>
Tabla 5. fuerza máxima y desplazamiento máximo M2. Elaboración propia.	<u>4947</u>
Tabla 6. fuerza máxima y desplazamiento máximo M1. Elaboración propia.	<u>5048</u>
Tabla 7. fuerza máxima y desplazamiento máximo M2 HDPE. Elaboración propia.	<u>5149</u>
Tabla 8. fuerza máxima y desplazamiento máximo M3. Elaboración propia.	<u>5250</u>
Tabla 9. fuerza máxima y desplazamiento máximo M3 F. Elaboración propia.	<u>5351</u>
Tabla 10. fuerza máxima y desplazamiento máximo M1. Elaboración propia.	<u>5452</u>
Tabla 11. fuerza máxima y desplazamiento máximo M1. Elaboración propia.	<u>5553</u>
Tabla 12. fuerza máxima y desplazamiento máximo M4 F. Elaboración propia.	<u>5654</u>
Tabla 13. fuerza máxima y desplazamiento máximo M5 FVP. Elaboración propia.	<u>5755</u>
Tabla 14. fuerza máxima y desplazamiento máximo M6 FT. Elaboración propia.	<u>5856</u>
Tabla 15. Efecto del porcentaje de madera en compuesto de madera plástico.	<u>6058</u>
tabla 16. Efecto del tamaño de la partícula de harina de madera en los compuestos de madera plástico.	<u>6058</u>
Tabla 17. Búsqueda bibliográfica 1. Elaboración propia.	<u>6159</u>
Tabla 18. Búsqueda bibliográfica 2. Elaboración propia.	<u>6260</u>

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FIRMA ESTUDIANTES _____

FIRMA ASESOR _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO _____ ACEPTADO _____ ACEPTADO CON
MODIFICACIONES _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____