



Universidad de San Carlos de Guatemala
Dirección General de Investigación
Programa Universitario de Investigación
en Desarrollo Industrial

INFORME FINAL

Evaluación de los parámetros adecuados para la fabricación de tejas a partir de plásticos reciclados y fibras naturales de bambú

Equipo de investigación

Ing. Jorge Emilio Godínez Lemus	Coordinador
Ing. Ing. Fredy Contreras	Investigador
Inga. Fabiola Beatriz Ramírez Pinto	Investigador
Br. Jesiel Salomón Enriquez	Auxiliar de investigación I

Fecha 23 de noviembre del 2016

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN AVALADORA
Centro de Investigaciones de Ingeniería USAC

M.Sc. Gerardo Arroyo Catalán
Director General de Investigación

Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar
Coordinador General de Programas

Inga. Luvia Cabrera de Villagrán
Coordinador del Programa de Investigación

Ing. Jorge Emilio Godínez Lemus
Coordinador

Ing. Fredy Contreras
Investigador 1

Inga. Fabiola Beatriz Ramírez Pinto
Investigador 2

Br. Jesiel Salomon Enriquez Custodio
Auxiliar de investigación I

Partida Presupuestaria
4.8.63.6.68.
Año de ejecución: 2016

INDICE

Resumen	7
Abstract.....	9
Introducción.....	10
1. Marco teórico y estado del arte	12
1.2 Agroindustria	12
1.3 Por su material, las tejas pueden ser	13
1.4 Aserrín	14
1.5 Importancia del reciclaje de plástico.....	15
1.6 Beneficios del reciclaje	15
1.7 Madera plástica	15
1.8 Tipos de madera plástica.....	16
1.9 Madera plástica en Guatemala.....	16
1.10 Moldeo por compresión	17
2. Materiales y métodos	18
2.1 Período de la investigación	18
2.2 Tipo de investigación.....	18
2.3 Técnicas e instrumentos.....	18
2.4 Operacionalización de las variables.....	20
2.5 Para la evaluación estadística:	27
3. Resultados	32
3.1 Caracterización de la materia prima	32
3.2 Propiedades físicas.....	33
3.2.1 Porcentaje de humedad.....	33
3.2.2 Porcentaje de absorción	34
3.2.3 Contracción volumétrica.....	35
3.2.4 Densidad	36
3.2.5 Prueba de sonido.....	37
3.2.6 Esfuerzo a la impacto	38
3.3 Matriz de Resultados	49
3.4 Impacto esperado	51

4. Análisis y discusión de resultados.....	52
5. Conclusiones	58
6. Recomendación	61
7. Referencias y bibliografía	62
8. Apéndice.....	64
8.1 Tablas de datos.....	64
8.2 Fotografías	85
9. Orden de pago	89

Figuras

Figura No. 1	Comprensión en caliente.....	17
Figura No. 2	Humedad de las tejas	33
Figura No. 3	Absorción de las tejas	34
Figura No. 4	Contracción volumétrica de las tejas	35
Figura No. 5	Densidad de las tejas	36
Figura No. 6	prueba de sonido de las tejas.....	37
Figura No. 7	prueba de impacto de las tejas	38
Figura No. 8	prueba de calor morfología B cresta	39
Figura No. 9	prueba de calor morfología a valle	40
Figura No. 10	prueba de calor morfología A cresta	41
Figura No. 11	prueba de calor morfología A valle.....	42
Figura No. 12	prueba de flexión PPHD 75 de las tejas	43
Figura No. 13	prueba de flexión PEHD 75 de las tejas.....	43
Figura No. 14	prueba de flexión PPHD 85 de las tejas	44
Figura No. 15	prueba de flexión PEHD 85 de las tejas.....	44
Figura No. 16	prueba de flexión PPHD 95 de las tejas	45
Figura No. 17	prueba de flexión PEHD 95 de las tejas.....	45
Figura No. 18	prueba de flexión PPHD 75 de las tejas	46
Figura No. 19	prueba de flexión PEHD 75 de las tejas.....	46
Figura No. 20	prueba de flexión PEHD 85 de las tejas.....	47
Figura No. 21	prueba de flexión PPHD 85 de las tejas	47
Figura No. 22	prueba de flexión PPHD 95 de las tejas	48
Figura No. 23	prueba de flexión PEHD 95 de las tejas.....	48

Tablas

Tabla No. 1	Clasificación de los distintos tipos de plástico	14
Tabla No. 2	Modelo de tabla de registro de datos	19
Tabla No. 3	Operacionalización de variables	20
Tabla No. 4	Número de unidades de tejas fabricadas, según los factores estudiados	25
Tabla No. 5	Número de unidades de tejas comerciales	25
Tabla No. 6	Número de repeticiones y pruebas	26
Tabla No. 7	Análisis de varianza Prueba de sonido morfología A	28
Tabla No. 8	Análisis de varianza Prueba de sonido morfología B	28
Tabla No. 9	Análisis de varianza prueba de humedad morfología B	29
Tabla No. 10	Análisis de varianza prueba de humedad morfología B	29
Tabla No. 11	Análisis de varianza prueba de adsorción morfología B	29
Tabla No. 12	Análisis de varianza prueba de adsorción morfología B	30
Tabla No. 13	Análisis de varianza prueba de contracción volumétrica morfología A	30
Tabla No. 14	Análisis de varianza prueba de contracción volumétrica morfología B	30

Tabla No. 15	Análisis de varianza prueba de densidad morfología A	31
Tabla No. 16	Análisis de varianza prueba de densidad morfología B.....	31
Tabla No. 17	Caracterización de la materia prima	32
Tabla No. 18	Humedad de las tejas	33
Tabla No. 19	Absorción de las tejas	34
Tabla No. 20	Contracción volumétrica de las tejas	35
Tabla No. 21	Densidad de las tejas.....	36
Tabla No. 22	Reducción de sonido de las tejas	37
Tabla No. 23	Impacto de las tejas.....	38
Tabla No. 24	Porcentaje de disminución de la temperatura morfología B cresta	39
Tabla No. 25	Porcentaje de disminución de la temperatura morfología B valle	40
Tabla No. 26	Porcentaje de disminución de la temperatura morfología A cresta	41
Tabla No. 27	Porcentaje de disminución de la temperatura morfología A valle.....	42
Tabla No. 28	Matriz de resultados.....	49
Tabla No. 29	Prueba de sonido Morfología A.....	64
Tabla No. 30	Prueba de sonido Morfología B	65
Tabla No. 31	Prueba de absorción y humedad	66
Tabla No. 32	Prueba de absorción y humedad	67
Tabla No. 33	Prueba de contracción volumétrica y densidad.....	68
Tabla No. 34	Prueba de erosión.....	69
Tabla No. 35	Prueba de erosión.....	70
Tabla No. 36	Prueba de calor.....	71
Tabla No. 37	Prueba de calor.....	72
Tabla No. 38	Prueba de impacto.....	73
Tabla No. 39	deformación morfología B.....	75
Tabla No. 40	deformación morfología B.....	76
Tabla No. 41	deformación morfología B.....	77
Tabla No. 42	deformación morfología B.....	78
Tabla No. 43	deformación morfología B.....	79
Tabla No. 44	deformación morfología B.....	79
Tabla No. 45	deformación morfología A.....	80
Tabla No. 46	deformación morfología A.....	81
Tabla No. 47	deformación morfología A.....	82
Tabla No. 48	deformación morfología A.....	82
Tabla No. 49	deformación morfología A.....	83
Tabla No. 50	deformación morfología A.....	84

Evaluación de los parámetros adecuados para la fabricación de tejas a partir de plásticos reciclados y fibras naturales de bambú.

Resumen

El sector de madera plástica está aprovechando la gran cantidad de residuos orgánicos al usarlos como refuerzo en productos plásticos, con el fin de remplazar a la madera y al plástico puro. En algunas aplicaciones los materiales compuestos reciben el nombre de compuestos de madera plástica o WPC (por sus siglas en inglés Wood Polymer Composites), estos presentan mayores ventajas ya que son más baratos y livianos, y tienen una gran resistencia a la humedad y a los ataques de plagas. Al tener mayor estabilidad requieren de menor mantenimiento.

Para la elaboración de la madera plástica existen varios métodos: extrusión, inyección y compresión; el primero consiste en la mezcla de las materias primas y hacerla pasar por un extrusor, donde se calienta a presión y se utiliza una boquilla para darle la forma deseada; el segundo es hacer una mezcla fluida caliente del material, el cual luego se inyecta en moldes; el tercero, consiste en la compresión en caliente de la mezcla de plástico con fibras naturales llevando la mezcla a la temperatura de fusión, de esta manera el termoplástico se fusionará con las fibras naturales y creará una nueva matriz denominada madera plástica.

El proyecto pretendió elaborar tejas de madera plástica que, por la maquinaria disponible en el Centro de Investigaciones de Ingeniería, se realizó por el método de compresión en caliente. Se hizo una matriz con los siguientes factores: el plástico (3 tipos), la formulación (95%, 85% y 75%) y la morfología (2 tipos).

Se determinó las propiedades fisicomecánicas de las tejas y se realizó la comparación de estas con las de dos productos de tipo comercial.

El objetivo del proyecto fue proporcionar tejas de bajo costo, livianas, de apariencia agradable, resistente a la humedad y a los insectos, y con propiedades mecánicas suficientes

para su uso en aplicaciones semi-estructurales, decorativas; propiedades contrapuestas a las ofrecidas por las tejas de plástico y tejas asfálticas.

Abstract

The plastic wood sector is taking advantage of the large amount of organic waste by using them as reinforcement in plastic products, in order to replace wood and pure plastic.

In some applications, composite materials are called composites of wood or WPC (Wood Polymer Composites), these have greater advantages as they are cheaper and lighter, and have a great resistance to humidity and attacks of pest, having greater stability requires less maintenance.

There are several methods for the production of plastic wood: extrusion, injection and compression. The first consist of mixing the raw materials and passing through an extruder, were it is heated under pressure and a nozzle is used to give it the desired shape. The second is to make a warm fluid mixture of the material, which is then injected into molds. The third consist in the hot compression of the plastic mixture with natural fiber leading the mixture to the melting temperature, in this way the thermoplastic will fuse with the natural fibers and create a new matrix called plastic wood.

The project sought to produce plastic shingles which, by the machinery available at the Centro de Investigaciones de Ingenieria (CII) was made by the hot compression method. A matrix was made with the following factors: plastic (three types), formulation (95%, 85% and 75%) and morphology (2 types).

The physicomechanical properties of the tiles were determined and comparison of these with those of two commercial type products was made. The objective of the project was to provide low cost, lightweight, pleasing appearance, moisture and insect resistant tiles, and with sufficient mechanical properties for use in semi-structural, decorative applications, this properties opposite to those offered by plastic shingles and asphalt shingles.

Introducción

El desarrollo de la industria química ha generado una amplia gama de materiales que día a día son utilizados en los hogares, comercios y en la misma industria. El principal ponente de ellos ha sido el petróleo, cuyos subproductos son utilizados como elementos energéticos, materias primas, entre otros. El plástico ha sido clave para la producción en masa y en serie de productos de bajo costo, pero también ha generado una gran cantidad de desechos, desde los que provienen del proceso de fabricación hasta los generados por los elementos usados para empaques y envases.

Por otro lado, se encuentra la industria forestal, cuyos subproductos y residuos tienen la ventaja de ser biodegradables y su uso se extiende hasta la contribución a cubrir necesidades energéticas. Se generan especialmente en la industria del aserrío, en la producción de elementos de bambú, cepilladura, fabricación de tableros, piezas de carpintería para edificios. En Guatemala, la producción e industrialización del bambú ha ganado interés y se impulsan proyectos, brindan información a productores con el apoyo del gobierno de Taiwán y el MAGA, mediante el acuerdo ministerial No. 253-2014.

En la industria de la construcción, se necesitan materiales de bajo costo y buenas propiedades fisicomecánicas. El techo, al ser la parte más expuesta a la intemperie, debe cumplir con ser liviano, tener buena resistencia a esfuerzos y al ambiente. En el mercado se ofrece gran variedad de productos para techo, de diversos materiales: madera, cerámica, loza, plástico; cada una con sus ventajas y desventajas, en cuanto a las propiedades químicas, mecánicas, física, costos, proceso de instalación y mantenimiento.

El proyecto consistió en la elaboración de tejas con un material compuesto, que aprovecha plásticos reciclados y fibras de bambú, se determinó la formulación conjunta de plástico y aserrín, y la morfología. Para la elaboración se utilizó el método de compresión en caliente. El producto obtenido ofrece los beneficios de ambos componentes: impermeabilidad, bajo peso, menor costo respecto a las tejas de plástico, mejores propiedades mecánicas, mejores

acabados, además de proponer una opción para producción más limpia, al reciclar y reutilizar los desechos plásticos y de bambú.

1. Marco teórico y estado del arte**1.2 Agroindustria**

La industria del agro es la actividad económica que comprende la producción, industrialización y comercialización de productos agrarios, pecuarios, forestales y biológicos. Se divide en dos categorías, alimentaria y no alimentaria.

La rama no alimentaria es la encargada de la parte de la transformación de los recursos naturales como materias primas (McCabe & Smith, 2007).

Teja: Es una pieza con la que se forman cubiertas en los edificios, para recibir y canalizar el agua de lluvia, la nieve o el granizo. Hay otros modos de formar las cubiertas, pero cuando se hacen con tejas, reciben el nombre de tejados.

La forma de las piezas y los materiales de elaboración son muy variables: pueden ser regulares o irregulares, planas o curvas, lisas o con acanaladuras y salientes; respecto a los materiales pueden ser cerámicas (elaborada con barro cocido), hidráulicas (elaboradas con mortero de cemento), plásticas y bituminosas (fabricadas con polímeros plásticos derivados del petróleo u otra materia prima), de madera y de piedra (como la pizarra).

Las tejas cerámicas usadas en la actualidad tienen mucha permeabilidad y en la parte inferior pueden formarse condensaciones del agua transpirada, formando una gotera y las cerámicas de construcciones antiguas tienen los poros colmatados por polvo y musgos, por lo cual las consideran mejores.

Un tejado tiene dos piezas fundamentales: la teja canal (abreviadamente: la canal), que recoge las aguas de lluvia, llevándolas fuera del perímetro de la construcción, y la pieza o teja cobija (abreviadamente: la cobija), que tapa la junta entre las canales.

Las tejas se pueden clasificar, por la forma, en:

- Teja romana, tiene la pieza canal plana, con los bordes laterales levantados y la cobija curva. Se fabricaban de piedra y de alfarería.
- Teja árabe, con una sola pieza, con la forma un tronco de cono, cortado por la mitad longitudinalmente, tal como las cobijas romanas. Tiene la gran ventaja sobre todas las demás de que con esa pieza se resuelven todos los problemas de una cubierta: canales, cobijas, cumbreras y limas. Aunque se denomine teja árabe, por su uso extensivo por los árabes en la Península Ibérica, el origen de esta teja es romano.
- Teja plana, de forma más compleja, dispone de acanaladuras y resaltes para su encaje y solape, que solamente fue posible cuando se pudieron fabricar por moldeo, bien de alfarería, bien de mortero de cemento. Necesita piezas especiales para resolver las limas.
- Teja mixta, también llamada teja belga, que tiene la canal y la cobija juntas en una pieza, lo que da apariencia similar a la árabe y a la romana. Es cuando la canal está formada por una parte plana con solape en el borde. Con la anterior, requiere piezas especiales para resolver las limas.

1.3 Por su material, las tejas pueden ser

- La teja de alfarería: es un material de construcción muy empleado en muchas regiones como protección de la parte superior de las construcciones frente a la lluvia. Por estar sometidas a los elementos, recibéndolos de plano, quizá fuera la primera pieza de construcción que se empleó cocida, mientras que las paredes podían hacerse de barro sin cocer, de adobe o de tapial. La característica principal de las tejas elaboradas con arcilla cocida es su durabilidad, bajo costo y escaso mantenimiento.
- La teja cerámica vieja es más apreciada que la nueva porque, con el tiempo, los poros naturales de la cerámica se colmatan y se vuelven más impermeables. Por otro lado, la teja vieja se supone que ha sufrido muchos ciclos de helada (muchos inviernos) y la que no se ha roto ofrece garantía de que no se va a romper.

- La teja de cemento: actualmente se hacen tejas de mortero de cemento, fraguado en moldes. Existen de todas las formas anteriores, siendo poco común la de tipo árabe. En general, suelen fabricarse de tipo mixto, con canal y cobija en una sola pieza. Sobre las cerámicas tienen la ventaja de ser más resistentes, y más económicas. También tienen la posibilidad de que se fabrican de cualquier color y al no tener encastre superior son más fáciles de colocar.
- La teja plástica: Aísla el calor, variedad de colores, fácil de instalar, termoacústica, no se herrumbra, no se corroe. En cuanto a su forma hay dos tipos primordiales: tapa de cubrera y tapa canoas.

1.4 Aserrín

De la elaboración primaria de la madera, resultan desechos como el aserrín y la corteza, con su acumulación, contribuye a la contaminación del entorno. (Beltrán & Marcilla, s.f)
Plástico.

Químicamente, los plásticos son polímeros, es decir grandes moléculas formadas por muchas unidades pequeñas (monómeros) que se repiten (Walpole, Myers, & Myers, 1999)

Código de identificación de material plástico.

Los envases de plástico muestran los códigos en el fondo de los envases con el símbolo de reciclaje y el número que establece el tipo de plástico (Walpole, Myers, & Myers, 1999).

Tabla No. 1 Clasificación de los distintos tipos de plástico

Nombre	Abreviatura	No. de identificación
Polietilentereftalato	PET o PETE	1
Polietileno de alta densidad	PEAD o HDPE	2
Policloruro de vinilo	PVC o V	3
Polietileno de baja densidad	PEDB o LDPE	4

Polipropileno	PP	5
Poliestireno	PS	6
Otros	---	7

1.5 Importancia del reciclaje de plástico

El plástico representa un 7% del peso total de la basura doméstica y ocupa un 20-30% de las papeleras en las naciones industrializadas. Cada año se fabrican en el mundo cerca de 100 millones de toneladas (Oyarzun, 2010). Si no existieran sistemas de reciclado de basura, la única forma de deshacerse de la basura sería quemarla o enterrarla (Sampieri & Fernández Collado, 2006).

1.6 Beneficios del reciclaje

Es importante mencionar que si en nuestro medio se pudiera disminuir el uso del plástico, esto contribuiría en los siguientes aspectos: (Sampieri & Fernández Collado, 2006) se ahorra energía y se reduce el volumen de los residuos sólidos, se conserva el ambiente al reducir la contaminación, se prolonga la vida útil de los sistemas de relleno sanitario, se mejora el ingreso económico con la venta de reciclables, se protegen los recursos naturales renovables y no renovables, se ahorra materia prima en la manufactura de productos nuevos con materiales reciclables, por cada kilogramo de plástico reciclado el ahorro es de 1,5 kilogramos en emisiones de dióxido de carbono, una tonelada métrica de plástico reciclado ahorra 12 barriles de petróleo.

1.7 Madera plástica

La madera plástica es un producto hecho de plástico reciclado que sirve como sustituto de la madera natural. Su proceso de producción con la recolección del plástico en los centros de acopio y en los basureros legales alrededor del territorio nacional. Una vez hecha la recolección, se separan los termoplásticos y se les somete a un proceso de temperatura y moldeo. (M, 2008)

1.8 Tipos de madera plástica

En el mercado se encuentran básicamente dos tipos de madera plástica:

Madera 100% de plástico reciclado: se obtiene al reciclar HDPE (polietileno de alta densidad) y otros materiales termoplásticos. Tiene todas las propiedades del plástico: no se deteriora por ataque biológico, no se enmohece, no lo atacan los insectos y resiste la exposición al ambiente (M, 2008).

Madera plástica con relleno de madera y/o fibras: Este producto se ha utilizado cada vez con menor frecuencia ya que no tiene la misma vida útil que el producto hecho con plástico reciclado al 100%. (M, 2008)

Entre las ventajas del uso de madera plástica está la abundancia y bajo costo de la materia prima, bajo impacto ambiental: la utilización de este tipo de materiales promueve el reciclaje, aprovecha un desecho agroindustrial, hace uso de materiales biodegradables y evita la tala de bosques en la medida en que estos materiales se utilizan como remplazo de la madera en algunas de sus aplicaciones, baja densidad, apariencia y procesabilidad de la madera, durabilidad, bajo nivel de abrasión de las fibras, rigidez y estabilidad dimensional (Rahal, 2013).

1.9 Madera plástica en Guatemala

En Guatemala ha empezado a tomar auge el uso de material reciclado, es de ahí que surge la idea de usar este desecho como materia prima, para la fabricación de un material que podría ser utilizado para la construcción de viviendas y otros artículos; esta idea está siendo desarrollada por la empresa MADERPLAST, S.A, y Ecoplast S.A.; con varios años de investigación en este campo (Sampieri & Fernández Collado, 2006).

En lo que respecta a la madera plástica, la materia prima utilizada contribuye a tener opciones para promover el reciclaje del plástico que se desecha día a día en el país, dándole a este material un nuevo aspecto y un mejor uso. (Sampieri & Fernández Collado, 2006).

1.10 Moldeo por compresión

El moldeo por compresión es el método más difundido para la producción de compuestos de madera y plástico, en esta técnica son utilizadas comúnmente fibras naturales (como virutas) además de la harina de madera.

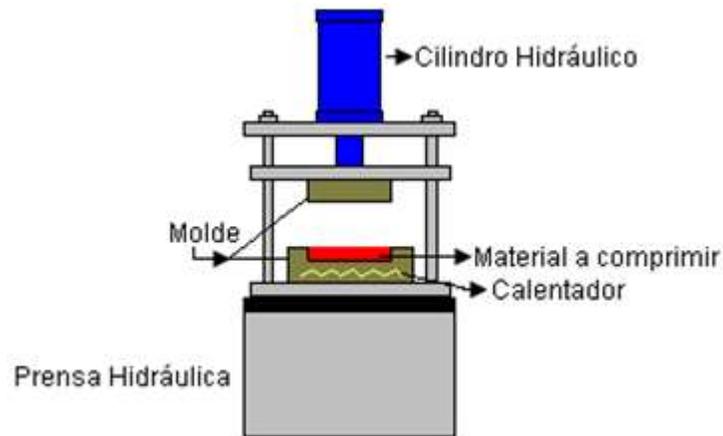


Figura No. 1 Compresión en caliente
Fuente: Elaboración propia, 2016.

2. Materiales y métodos

La primera fase consistió en la adquisición, ubicación y adecuamiento de las instalaciones a utilizar en la sección de Tecnología de la Madera, la segunda fase se centro en la recolección y adquisición de la materia prima (aserrín de madera, fibras de bambú y plástico reciclado).

En la tercera fase se caracterizó la materia prima en el Laboratorio Multipropósito de la Sección de Tecnología de la Madera, la cuarta fase consistió en la elaboración de los teja s de madera plástica en el laboratorio, en la quinta fase se evaluaron los teja s fabricados en los laboratorios del Centro de Investigaciones de la Facultad de ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala (14°35'04.78" N, 90°33'24.19" O).

2.1 Período de la investigación

La investigación se realizó en un periodo de 10 meses.

2.2 Tipo de investigación

La investigación es de tipo experimental, el proyecto tuvo como fin evaluar las propiedades fisicomecánicas de tejas fabricadas a base de plásticos reciclado y fibras naturales de bambú utilizando un diseño experimental para obtener respuesta a las interrogantes planteadas y comprobar la hipótesis de la investigación.

2.3 Técnicas e instrumentos

El diseño experimental tuvo 3 factores: la morfología de la teja, el tipo de plástico y el porcentaje del plástico (95%, 85% y 75%). Los plásticos utilizados fueron los tres más comunes comercialmente: polietilentereftalato (PET), polietileno de baja densidad (PEDB) y polipropileno (PP).

Se fabricaron las tejas de plástico reciclado y fibras naturales de 6 x 12 X 1/2 pulgadas, de los cuales se elaboraron las probetas correspondientes para realizar los ensayos.

Las tejas comerciales para la comparación de las propiedades, consistieron en solo un factor: el material de la teja (plástica y asfáltica), con 5 repeticiones por propiedad, para cada tipo de teja.

Se determinaron las siguientes características a los tejas fabricadas y a las comerciales: porcentaje de absorción, contracción volumétrica, densidad, resistencia a la flexión estática (para calcular el modulo de ruptura), compresión, corte para calcular el desgarre con tornillos, permeabilidad de las tejas, absorción, erosión por agua, contracción volumétrica, aislamiento térmico y acústico. Las probetas se ensayaron en la máquina de ensayos universal (dinamómetro) Lima-hamilton-baldwin.

Se seleccionó el aserrín de bambú con un contenido de humedad entre el 5% y 10% (secado en horno), característica que se midió con una balanza de humedad.

Tabla No. 2 Modelo de tabla de registro de datos

Materia prima	Proporción usada	Repetición	Variables de respuesta		
			Flexión	Contracción Vol.	...Resto de propiedades
Fibra/Plástico /Teja*(1)	95% *(2)	1			
		2			
		...			

*(1) Variables: fibra natural (bambú), plástico (PET, PEHD, PPHD), Teja a comparar; *(2) porcentajes a utilizar: 95, 85 y 75 %.

2.4 Operacionalización de las variables

Tabla No. 3 Operacionalización de variables

Objetivo	Variable	Definición teórica de la variable	Definición operativa	Técnica	Instrumento	Escala de medición	Dimensionales
2.2.1	Tiempo	Magnitud física con la que se mide la duración de acontecimientos	Tiempo de horneado de las tejas de madera plástica	Medición directa	Cronómetro	Razón	Minutos
	Punto de fusión	La temperatura a la cual se encuentra el equilibrio de fases sólido-líquido	La temperatura a la cual es estado sólido del plástico cambia a un estado físico	Medición directa	Termómetro infrarrojo	Intervalo	Grados Celsius
	Lignina	Sustancia natural polimérica que forma parte de la pared celular de muchas células vegetales, a las cuales da dureza y resistencia.	Contenido de lignina presente en las fibras naturales	Extracción	Extractor Soxhlet	Razón	Porcentaje
	Celulosa	Sustancia sólida, blanca, amorfa,	Contenido de	Extracción	Extractor	Razón	Porcentaje

Convocatoria 2015

Dirección General de Investigación –DIGI-

		inodora y sin sabor, e insoluble en agua, alcohol y éter, que constituye la membrana celular	celulosa presente en las fibras naturales		Soxhlet		
2.2.2	Diámetro de partícula	Es el diámetro de las esferas que posee el mismo volumen de la partícula que se desea caracterizar	Es el tamaño máximo del diámetro de los granos que pasan por el tamiz utilizado	Tamizado	Tamiz	Razón	Número de tamiz (mesh)
	Porcentaje de plástico	Relación entre dos cantidades, expresada como fracción.	Peso de plástico reciclado dividido el peso total.	Pesado	Balanza	Razón	Porcentaje
	Tipo de plástico	Material compuesto por resinas, proteínas y otras sustancias	Tipo de plástico reciclado PET, LDPE, PP	-	-	Nominal	Número de clasificación
	Morfología	Es la configuración o las propiedades de la forma del objeto	Forma de la teja a fabricar	-	-	Nominal	-

Convocatoria 2015

Dirección General de Investigación –DIGI-

2.2.3 y 2.2.4 ¹	Aislamiento térmico	Es la capacidad de los materiales para oponerse al paso del calor por conducción	La resistencia térmica es inversamente proporcional a la conductividad térmica	Medición directa	Termómetros	Razón	$\frac{Watt}{kilogramo*minuto}$
	Aislamiento acústico	Se refiere al conjunto de materiales, técnicas y tecnologías desarrolladas para aislar o atenuar el nivel sonoro en un determinado espacio.	Resistencia a paso de las ondas sonoras a través del material	Medición indirecta	Decímetro	Razón	Decibelio
	Flexión	Deformación que presenta un elemento estructural alargado en una dirección perpendicular a su eje longitudinal.	Deformación que presenten las tejas a al realizar el ensayo	Medición directa	Máquina universal para ensayos	Razón	$\frac{KilogramoF}{centímetro^2}$
	Compresión	Es un ensayo técnico para determinar la resistencia de	Deformación que presenten	Medición directa	Máquina universal	Razón	$\frac{KilogramoF}{centímetro^2}$

¹ Las pruebas físico mecánicas son las mismas para los dos objetivos, pero aplicados a las unidades de análisis correspondientes (tejas fabricadas y tejas comerciales)

Convocatoria 2015

Dirección General de Investigación –DIGI-

		un material o su deformación ante un esfuerzo de compresión	las tejas a al realizar el ensayo		para ensayos		
	Absorción	La absorción es un proceso por el cual átomos, iones o moléculas son atrapados o retenidos en la superficie de un material	Cantidad de agua absorbida por las tejas después de 24 horas sumergidas en agua	Medición directa	Balanza	Razón	Porcentaje
	Corte	Es un ensayo técnico para determinar la resistencia de un material o su deformación ante un esfuerzo de corte	Deformación que presenten las tejas a al realizar el ensayo	Medición directa	Máquina universal para ensayos	Razón	$\frac{\text{Kilogramo}F}{\text{centímetro}^2}$
	Erosión al agua	Es la degradación o transporte de material que se produce en la superficie	Pérdida de masa por arrastre de agua	Medición directa	Balanza	Razón	Porcentaje
	Coefficiente de	Es el cociente que mide el cambio relativo de longitud o volumen que	Porcentaje de deformación de	Medición directa	Balanza y vernier	Razón	Porcentaje

Convocatoria 2015

Dirección General de Investigación –DIGI-

	expansión Volumétrica	se produce cuando un cuerpo sólido o un fluido dentro de un recipiente cambia de temperatura provocando una dilatación térmica.	las tejas				
--	--------------------------	---	-----------	--	--	--	--

Unidad de ensayo:

La unidad de ensayo fueron las tejas fabricadas y las comerciales, utilizadas como control. Se obtuvieron 18 tipos de tejas, con la siguiente configuración:

Tabla No. 4 Número de unidades de tejas fabricadas, según los factores estudiados

Teja			Número de tipos de tejas	Total de tejas a fabricar por formulación	Total de tejas a fabricar
Morfología	Tipo de plástico	Formulación (relación plástico-fibra)			
Diseño 1	Plástico 1	85, 95, 75	3	3	9
	Plástico 2	85, 95, 75	3	3	9
	Plástico 3	85, 95, 75	3	3	9
Diseño 2	Plástico 1	85, 95, 75	3	3	9
	Plástico 2	85, 95, 75	3	3	9
	Plástico 3	85, 95, 75	3	3	9
		TOTAL	18		54

Tabla No. 5 Número de unidades de tejas comerciales

Tipo de teja	Total de tipos de tejas	Total de tejas por tipo	Total de tejas a ensayar
Plástica	1	3	3
Asfáltica	1	3	3
TOTAL			6

Identificación de los tipos de teja: se denominaron D-T-P, donde D es el diseño de la teja, T es el tipo de plástico y P es el porcentaje empleado. Así, una teja con la identificación 2-1-95, es la teja con el diseño 2, el tipo de plástico 1 y al 95%.

Tabla No. 6 Número de repeticiones y pruebas

Clasificación de los ensayos	Tipos de pruebas	Ensayos
Físicos	<ul style="list-style-type: none">• Absorción• Erosión• Coeficiente de expansión• Aislamiento térmico• Aislamiento acústico	A cada uno de los 18 tipos de tejas fabricadas se le realizaron los ensayos, dando un total de 54 datos por ensayo.
Mecánicos	<ul style="list-style-type: none">• Flexión• Compresión• Corte	De la misma manera a los 2 tipos de tejas comerciales, dando un total de 6 datos por ensayo.

Unidad de análisis

Según el tipo de ensayo, se tienen dos: a) un deck (estructura) para la realización de pruebas físicas. b) probetas, para las pruebas mecánicas.

Para la evaluación estadística:

Los datos de los ensayos fueron tabulados y se calculó el valor de la media aritmética y la desviación estándar. Se realizó un análisis de varianza de un factor al 95% de confiabilidad, entre cada tipo de teja y las tejas de control y la prueba de Tukey al 95% de confianza.

2.5 Para la evaluación estadística:

2.5.1 Base de datos

- Se estructuró una base de datos, con las siguientes variables:
 - Formulación: variable que identifica el material ensayado. Se realizó la siguiente identificación para los productos
 - 0 = Material compuesto fabricado con 75% plástico 1, 25% bambú A
 - 1 = Material compuesto fabricado con 85% plástico 1, 15% bambú A
 - 2 = Material compuesto fabricado con 95% plástico 1, 05% bambú A
 - 3 = Material compuesto fabricado con 75% plástico 2, 25% bambú A
 - 4 = Material compuesto fabricado con 85% plástico 2, 15% bambú A
 - 5 = Material compuesto fabricado con 95% plástico 2, 05% bambú A
 - 6 = Material compuesto fabricado con 75% plástico 3, 25% bambú A
 - 7 = Material compuesto fabricado con 85% plástico 3, 15% bambú A
 - 8 = Material compuesto fabricado con 95% plástico 3, 05% bambú A
 - 9 = Material compuesto fabricado con 75% plástico 1, 25% bambú B
 - 10 = Material compuesto fabricado con 85% plástico 1, 15% bambú B
 - 11 = Material compuesto fabricado con 95% plástico 1, 05% bambú B
 - 12 = Material compuesto fabricado con 75% plástico 2, 25% bambú B
 - 13 = Material compuesto fabricado con 85% plástico 2, 15% bambú B
 - 14 = Material compuesto fabricado con 95% plástico 2, 05% bambú B
 - 15 = Material compuesto fabricado con 75% plástico 3, 25% bambú B
 - 16 = Material compuesto fabricado con 85% plástico 3, 15% bambú B
 - 17 = Material compuesto fabricado con 95% plástico 3, 05% bambú B
 - 18 = Material comercial, teja de policarbonato, utilizada como control.
 - 19 = Material comercial, shingel, utilizada como control.
 - Humedad: valor obtenido en el ensayo de humedad, dado en porcentaje.
 - Absorción: valor obtenido en el ensayo de absorción, dado en porcentaje.
 - Contracción: valor obtenido en el ensayo de contracción, dado en porcentaje.
 - Densidad: valor obtenido en el ensayo de densidad, dado en gramos por centímetro cúbico.

- Tensión: valor obtenido en el ensayo de tensión, dado en kilogramos fuerza por centímetro cuadrado.
- Flexión: valor obtenido en el ensayo de flexión, dado en kilogramos fuerza por centímetro cuadrado.

2.5.2 Gráficas

Se migraron los datos a una hoja de cálculo, en la cual se generaron las gráficas.

2.5.3 Pruebas de significancia estadística

Se realizó el análisis de varianza a un factor, que establece como hipótesis nula que las medias entre los grupos analizados no hay diferencias significativas. Se trabajó a un nivel de confianza del 95%.

Tabla No. 7 Análisis de varianza Prueba de sonido morfología A

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Muestra	33.711	1	33.711	0.541	0.4758	4.7472
Columnas	20.653	2	10.326	0.165	0.8490	3.8852
Interacción	253.890	2	126.945	2.039	0.1727	3.8852
Dentro del grupo	746.741	12	62.228			
Total	1054.996	17				

Fuente: datos calculados

Tabla No. 8 Análisis de varianza Prueba de sonido morfología B

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Muestra	6.349	1	6.3494	4.978	0.0453	4.747
Columnas	31.974	2	15.9871	12.534	0.0011	3.885
Interacción	171.410	2	85.7050	67.195	0.00000303	3.885
Dentro del grupo	15.305	12	1.275			
Total	225.039	17				

Fuente: datos calculados

Tabla No. 9 Análisis de varianza prueba de humedad morfología B

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad d	Valor crítico para F
Muestra	0.21429	1	0.214294	4.203317	0.062849	4.747225
Columnas	1.02350	2	0.511750	10.03784	0.002741	3.885293
Interacción	0.48499	2	0.242497	4.75651	0.030121	3.885293
Dentro del grupo	0.61178	12	0.050982			
Total	2.334577	17				

Fuente: datos calculados

Tabla No. 10 Análisis de varianza prueba de humedad morfología B

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Muestra	0.08725	1	0.08725	3.93627	0.070606	4.74722
Columnas	4.54292	2	2.27146	102.46768	2.8649E-08	3.88529
Interacción	0.23904	2	0.11952	5.391853	0.021347	3.88529
Dentro del grupo	0.26601	12	0.02216			
Total	5.13524	17				

Fuente: datos calculados

Tabla No. 11 Análisis de varianza prueba de adsorción morfología B

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Muestra	0.0055	1	0.0055	0.0461	0.8335	4.7472
Columnas	2.2910	2	1.1455	9.5179	0.0033	3.8852
Interacción	4.1562	2	2.0781	17.2665	0.0002	3.8852
Dentro del grupo	1.4442	12	0.1203			
Total	7.8971	17				

Fuente: datos calculados

Tabla No. 12 Análisis de varianza prueba de adsorción morfología B

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Muestra	0.0578	1	0.0578	80.9775	1.1057E-06	4.74722
Columnas	2.0505	2	1.0252	1436.3751	5.1813E-15	3.88529
Interacción Dentro del grupo	0.0648	2	0.0324	45.4100	2.5271E-06	3.88529
	0.0085	12	0.0007			
Total	2.1816	17				

Fuente: datos calculados

Tabla No. 13 Análisis de varianza prueba de contracción volumétrica morfología A

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Muestra	0.0672	1	0.0672	73.33	1.8605E-06	4.747
Columnas	0.4613	2	0.2306	251.66	1.5945E-10	3.885
Interacción Dentro del grupo	0.0035	2	0.0017	1.91	0.18973703	3.885
	0.011	12	0.0009			
Total	0.5431	17				

Fuente: datos calculados

Tabla No. 14 Análisis de varianza prueba de contracción volumétrica morfología B

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Muestra	0.127	1	0.127	766.134	3.0547E-12	4.747
Columnas	0.442	2	0.221	1336.033	7.986E-15	3.885
Interacción Dentro del grupo	0.019	2	0.009	59.987	5.6509E-07	3.885
	0.001	12	0.000			
Total	0.591856	17				

Fuente: datos calculados

Tabla No. 15 Análisis de varianza prueba de densidad morfología A

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Muestra	0.2305	1	0.23052	181.097	1.3355E-08	4.74722535
Columnas	0.0132	2	0.00662	5.203	0.02358843	3.88529383
Interacción	0.0653	2	0.03267	25.667	4.6258E-05	3.88529383
Dentro del grupo	0.0152	12	0.00127			
Total	0.3244	17				

Fuente: datos calculados

Tabla No. 16 Análisis de varianza prueba de densidad morfología B

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Muestra	0.0471	1	0.04710	21.9680	0.00052	4.74722535
Columnas	0.0114	2	0.00571	2.66524	0.11021	3.88529383
Interacción	0.0866	2	0.04334	20.2165	0.00014	3.88529383
Dentro del grupo	0.0257	12	0.00214			
Total	0.1709	17				

Fuente: datos calculados

3. Resultados

3.1 Caracterización de la materia prima

Se presenta el valor promedio y la desviación estándar de las características del aserrín de madera y de bambú, utilizados como materia prima en la fabricación de tejas de material compuesto.

Tabla No. 17 Caracterización de la materia prima

Parámetro	Aserrín de bambú	PEHD	PPHD	PET
Humedad %	12.22	<0.005	<0.005	<0.005
Cenizas %	0.86	<0.005	<0.005	<0.005
% de Extraíbles	22.2	-----	-----	-----
Lignina %	34.45	-----	-----	-----
Diámetro de partícula cm	2.36	-----	-----	-----
Celulosa %	34.89	-----	-----	-----
Diámetro de partícula mm	-----	< 4	< 4	< 4
Temperatura fusión °C	-----	135	165	175
Temperatura proceso °C	-----	260	260	275
Tiempo de proceso, min	-----	50	70	70
Presión moldeo, ton	-----	7.5-10	7.5-10	7.5-10
Tiempo de prensado min	-----	10-15	10-15	10-15

3.2 Propiedades físicas

A continuación se presentan los resultados promedio de las pruebas físicas realizadas a las tejas fabricados de plástico reciclado con fibras de bambú

3.2.1 Porcentaje de humedad

Tabla No. 18 Humedad de las tejas

Morfología	Polímero	Formulación (%)	Humedad (%)	Morfología	Polímero	Formulación (%)	Humedad (%)
A	PEHD	75	0.623	B	PEHD	75	1.979
		85	0.441			85	1.106
		95	0.472			95	0.479
	PPHD	75	1.287		PPHD	75	1.574
		85	0.551			85	0.937
		95	0.353			95	0.636

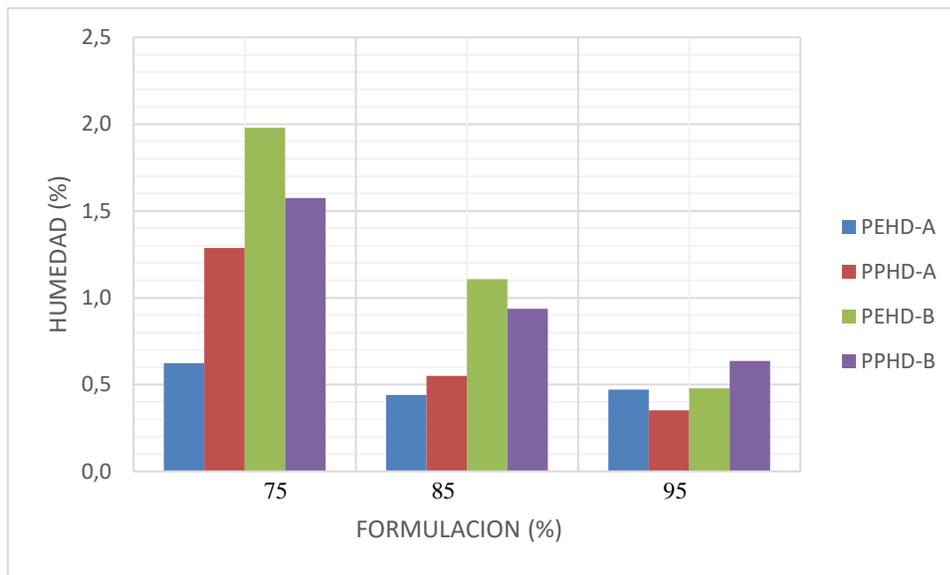


Figura No. 2 Humedad de las tejas
Fuente: Elaboración propia, 2016.

3.2.2 Porcentaje de absorción

Tabla No. 19 Absorción de las tejas

Morfología	Polímero	Formulación (%)	Absorción (%)
A	PEHD	75	2.671
		85	1.520
		95	0.634
	PPHD	75	1.579
		85	1.693
		95	1.658
B	PEHD	75	1.244
		85	1.045
		95	0.527
	PPHD	75	1.522
		85	1.040
		95	0.594

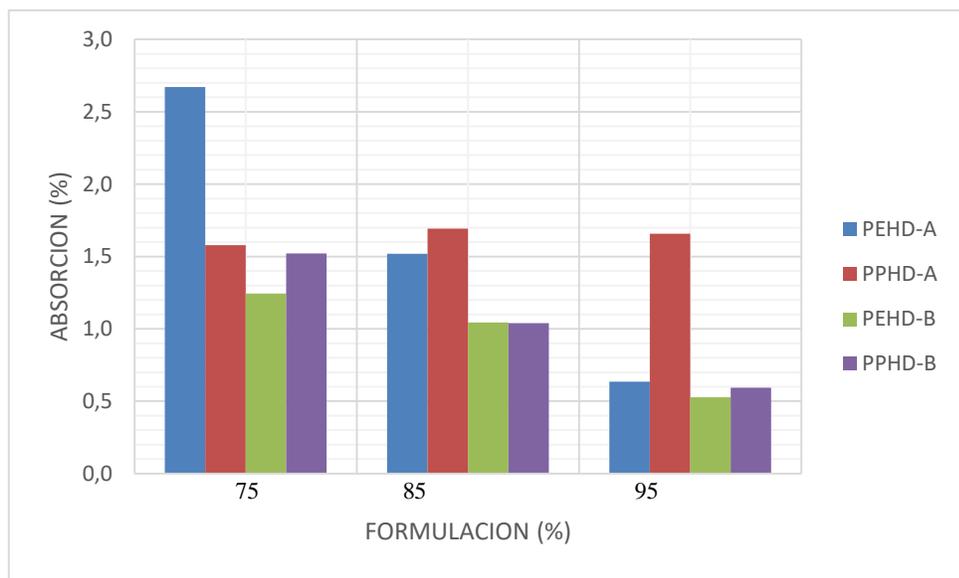


Figura No. 3 Absorción de las tejas
Fuente: Elaboración propia, 2016.

3.2.3 Contracción volumétrica

Tabla No. 20 Contracción volumétrica de las tejas

Morfología	Polímero	Formulación (%)	Contracción v. (%)
A	PEHD	75	1.193
		85	1.047
		95	0.830
	PPHD	75	1.080
		85	0.953
		95	0.670
B	PEHD	75	1.050
		85	0.970
		95	0.740
	PPHD	75	0.976
		85	0.757
		95	0.523

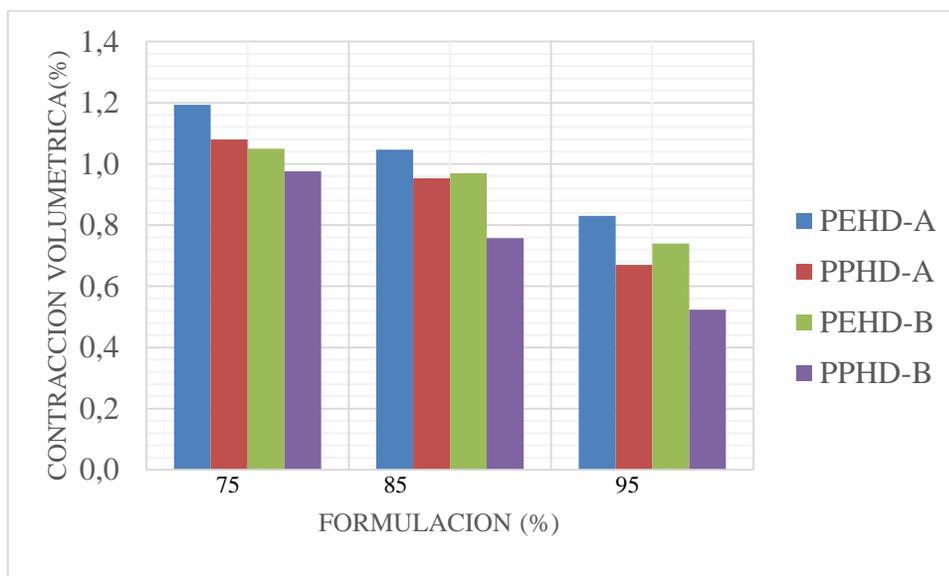


Figura No. 4 Contracción volumétrica de las tejas
Fuente: Elaboración propia, 2016.

3.2.4 Densidad

Tabla No. 21 Densidad de las tejas

Morfología	Polímero	Formulación (%)	Densidad (%)
A	PEHD	75	1.003
		85	0.817
		95	0.893
	PPHD	75	0.833
		85	0.679
		95	0.520
B	PEHD	75	1.050
		85	0.740
		95	0.840
	PPHD	75	0.681
		85	0.629
		95	0.573

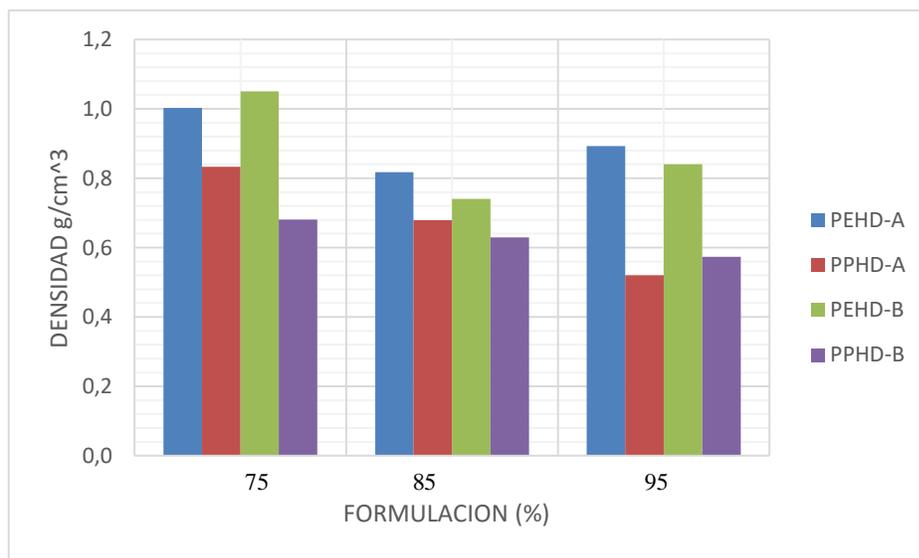


Figura No. 5 Densidad de las tejas
Fuente: Elaboración propia, 2016.

3.2.5 Prueba de sonido

Tabla No. 22 Reducción de sonido de las tejas

Morfología	Polímero	Formulación (%)	Reducción de Sonido (db)	Reducción de Sonido (%)
A	PEHD	75	17.567	17.172
		85	19.733	19.290
		95	20.733	20.267
	PPHD	75	13.900	13.587
		85	23.300	22.776
		95	24.767	24.210
B	PEHD	75	16.433	15.547
		85	22.000	20.814
		95	26.800	25.355
	PPHD	75	21.967	20.782
		85	25.100	23.746
		95	28.267	26.742

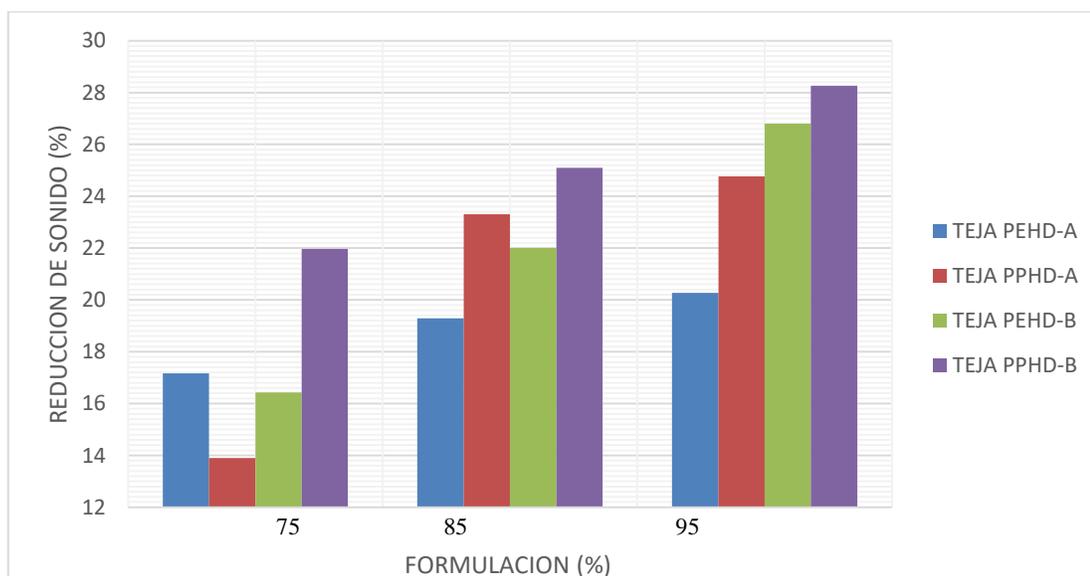


Figura No. 6 prueba de sonido de las tejas
Fuente: Elaboración propia, 2016.

3.2.6 Esfuerzo a la impacto

Tabla No. 23 Impacto de las tejas

Formulación	Energía Promedio en Joules	Formulación	Energía Promedio en Joules
PEHD85B	228.9	SHINGLES	38.913
PPHD75A	68.67	PEHD85B	206.01
PPHD85A	82.404	PEHD95B	274.68
PPHD95A	54.936	PEHD75B	183.12
PEHD85A	61.803	PPHD95B	160.23
PEHD95A	73.248	PPHD85B	137.34
PEHD75A	68.67	PPHD75B	137.34
Carbonato	13.734	SHINGLES	38.913

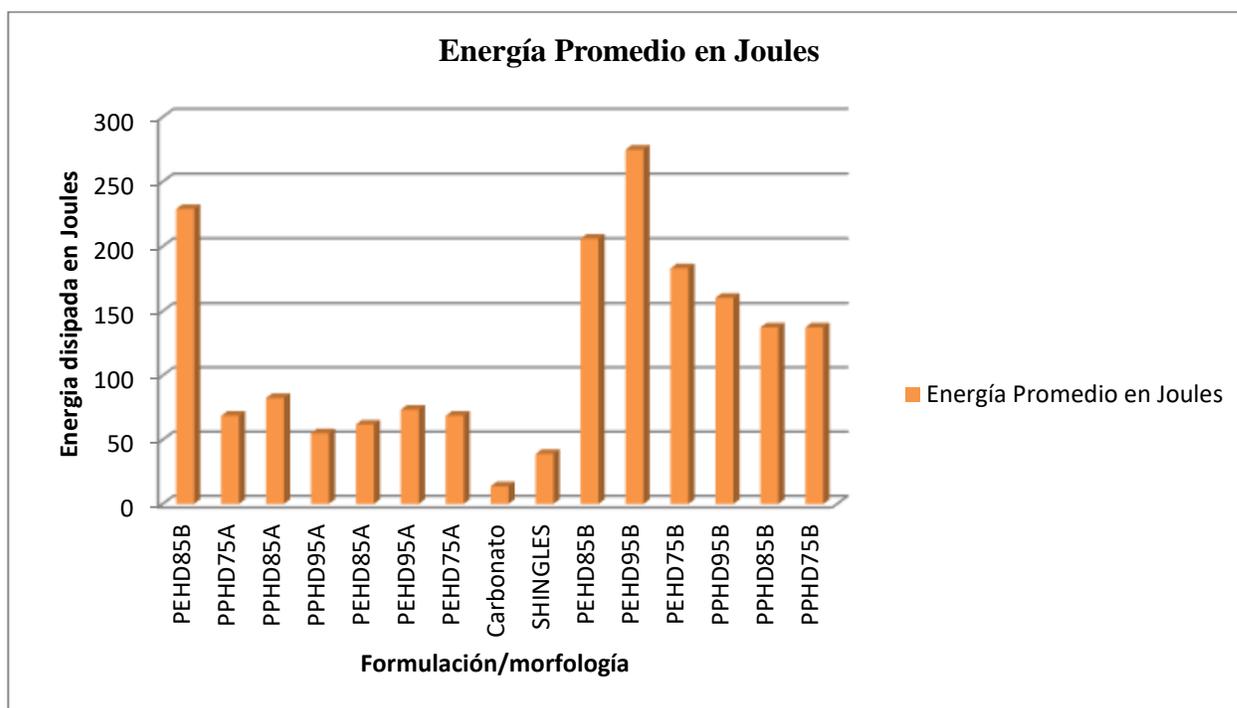


Figura No. 7 prueba de impacto de las tejas
Fuente: Elaboración propia, 2016.

3.2.1 Prueba de Calor

Tabla No. 24 Porcentaje de disminución de la temperatura morfología B cresta

	Formulación	Porcentaje (%)
PPHD	75	41.66
	85	40.40
	95	31.93
PEHD	75	29.53
	85	23.48
	95	20.88

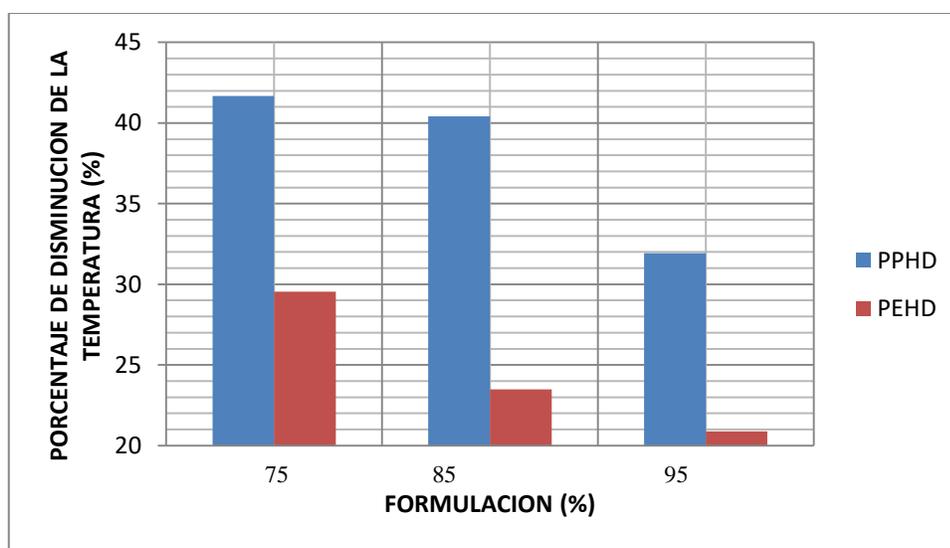


Figura No. 8 prueba de calor morfología B cresta
Fuente: Elaboración propia, 2016.

Tabla No. 25 Porcentaje de disminución de la temperatura morfología B valle

	Formulación	Porcentaje (%)
PPHD	75	33.9314109
	85	31.4650542
	95	31.0701395
PEHD	75	16.2972265
	85	14.6529467
	95	12.1807021

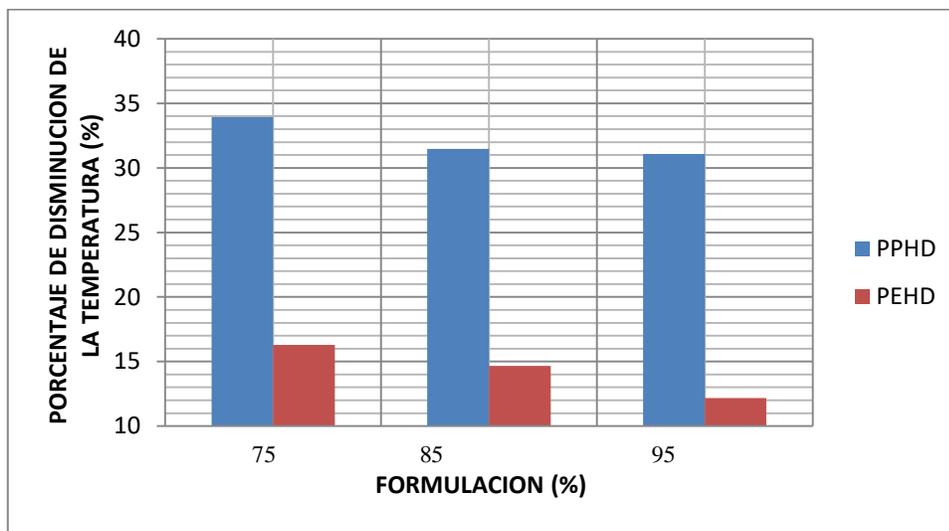


Figura No. 9 prueba de calor morfología a valle
Fuente: Elaboración propia, 2016.

Tabla No. 26 Porcentaje de disminución de la temperatura morfología A cresta

	Formulación	Porcentaje (%)
PPHD	75	12.2173628
	85	17.7182634
	95	19.2113686
PEHD	75	7.49168587
	85	7.42324672
	95	4.27157648

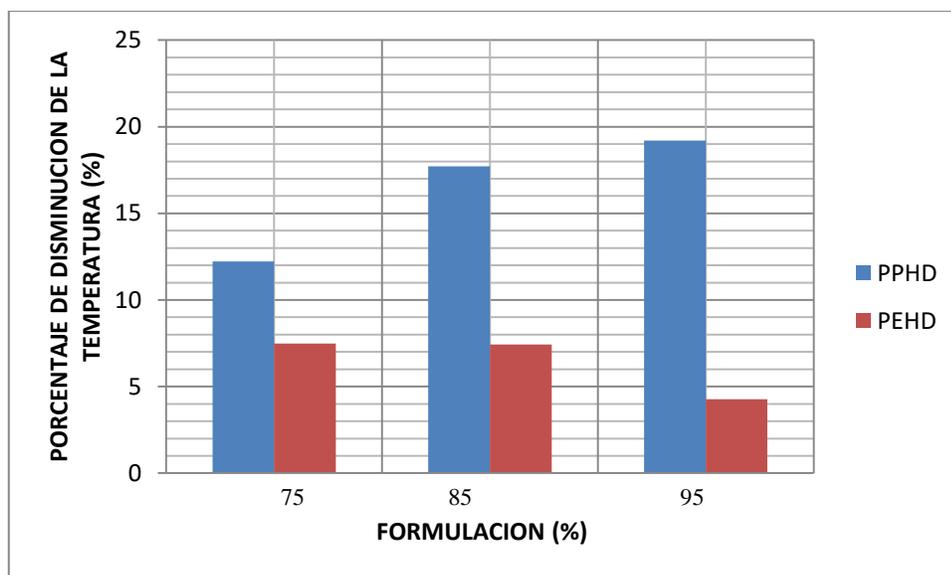


Figura No. 10 prueba de calor morfología A cresta
Fuente: Elaboración propia, 2016.

Tabla No. 27 Porcentaje de disminución de la temperatura morfología A valle

	Formulación	Porcentaje (%)
PPHD	75	14.6350096
	85	13.9
	95	12.3
PEHD	75	9.93805106
	85	6.58415658
	95	6.64482276

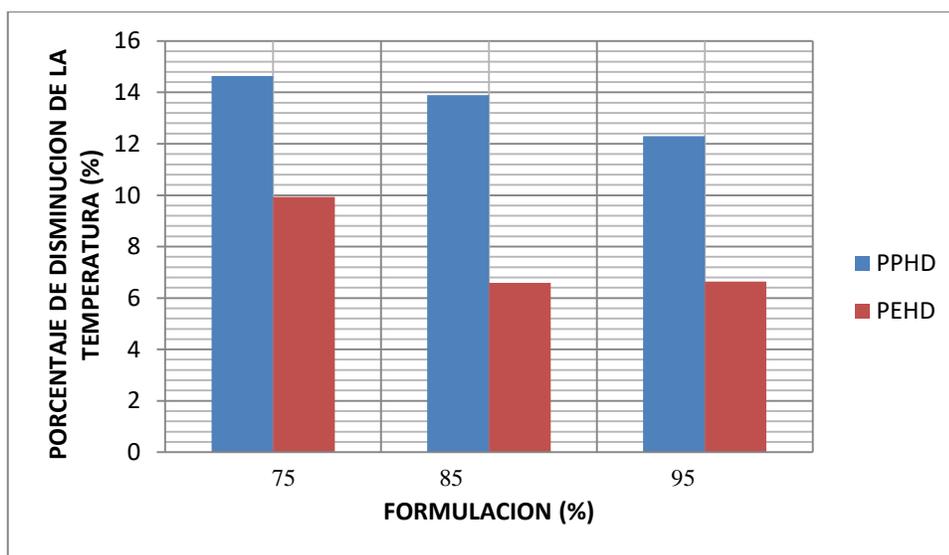


Figura No. 11 prueba de calor morfología A valle
Fuente: Elaboración propia, 2016.

3.2.2 Esfuerzo a la flexión

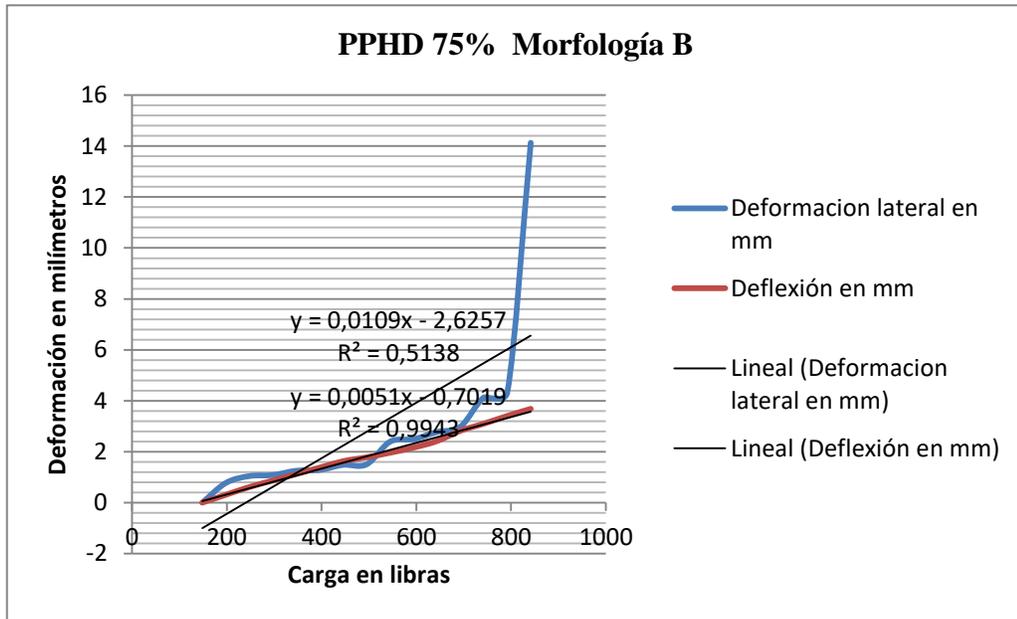


Figura No. 12 prueba de flexión PPHD 75 de las tejas
Fuente: Elaboración propia, 2016.

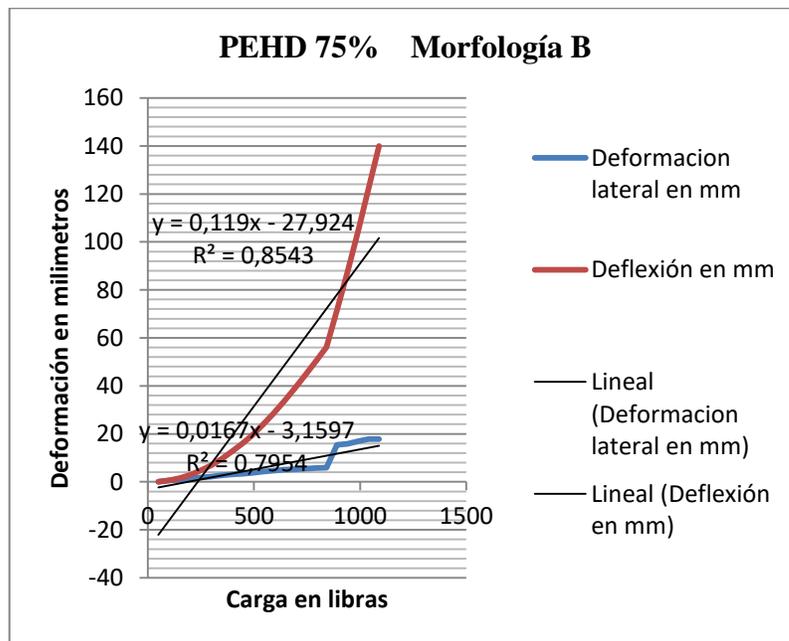


Figura No. 13 prueba de flexión PEHD 75 de las tejas
Fuente: Elaboración propia, 2016.

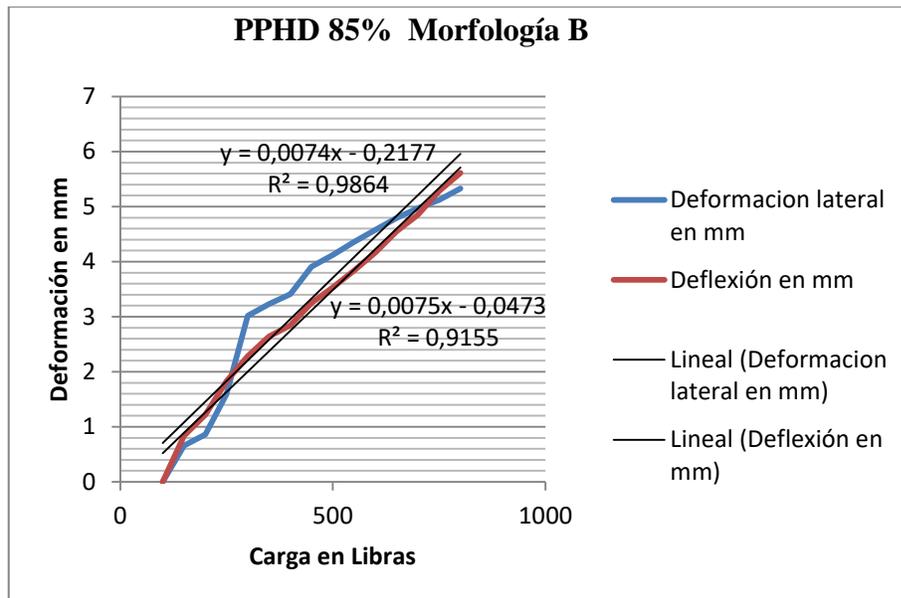


Figura No. 14 prueba de flexión PPHD 85 de las tejas
Fuente: Elaboración propia, 2016.

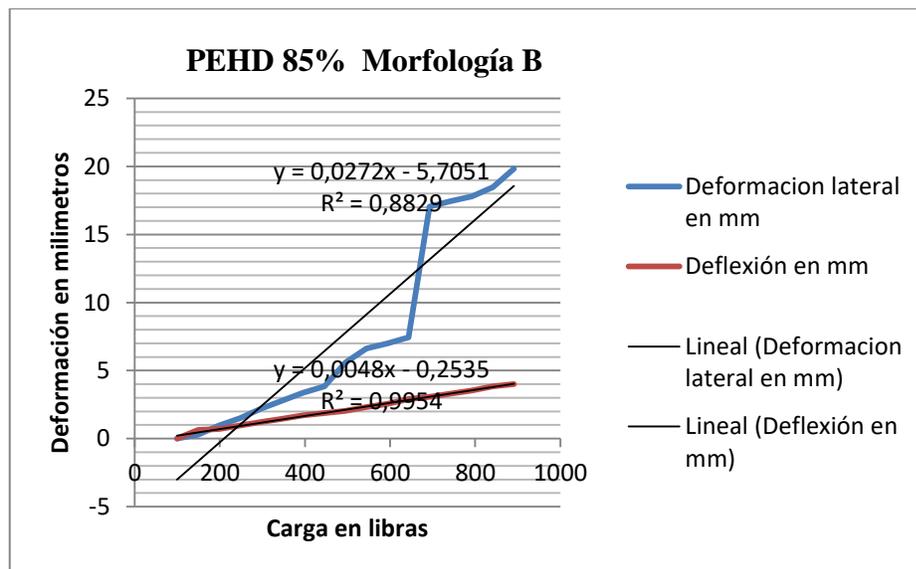


Figura No. 15 prueba de flexión PEHD 85 de las tejas
Fuente: Elaboración propia, 2016.

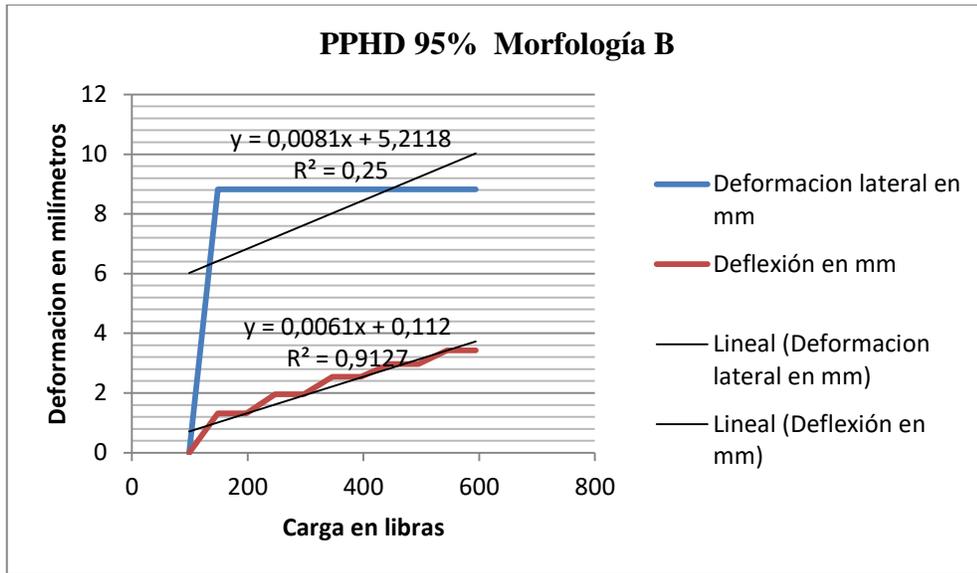


Figura No. 16 prueba de flexión PPHD 95 de las tejas
Fuente: Elaboración propia, 2016.

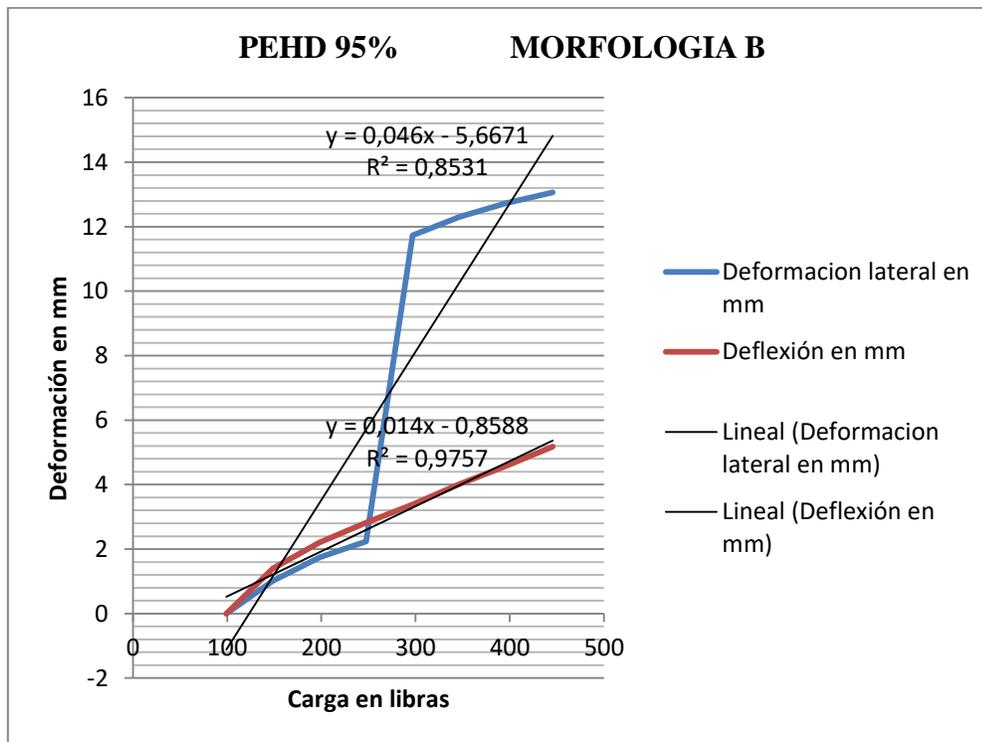


Figura No. 17 prueba de flexión PEHD 95 de las tejas
Fuente: Elaboración propia, 2016.

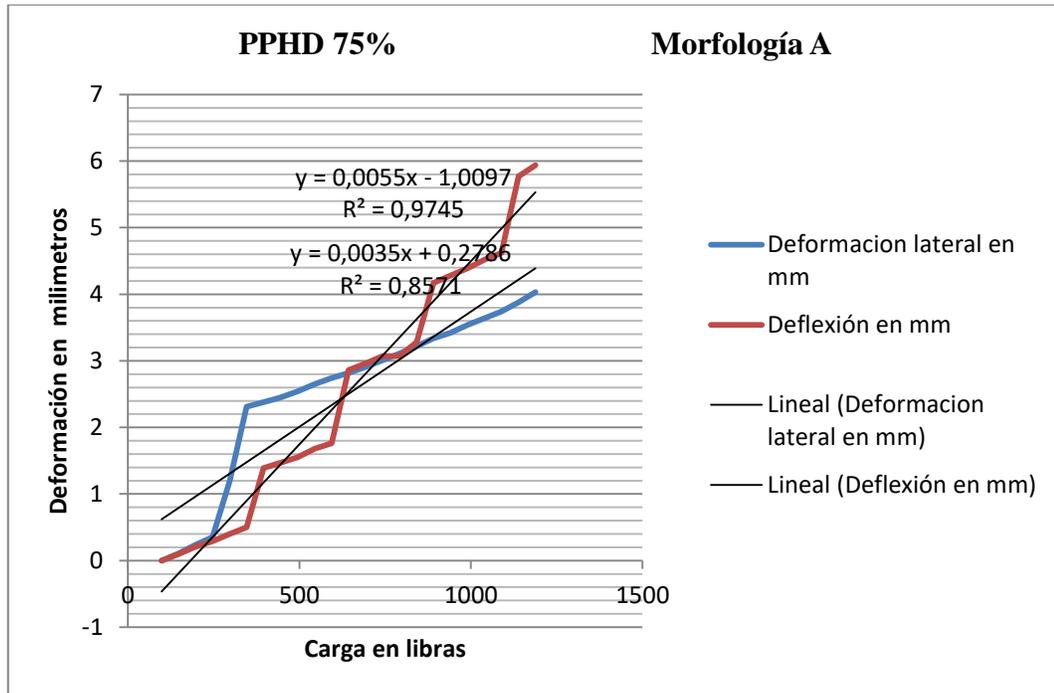


Figura No. 18 prueba de flexión PPHD 75 de las tejas
 Fuente: Elaboración propia, 2016.

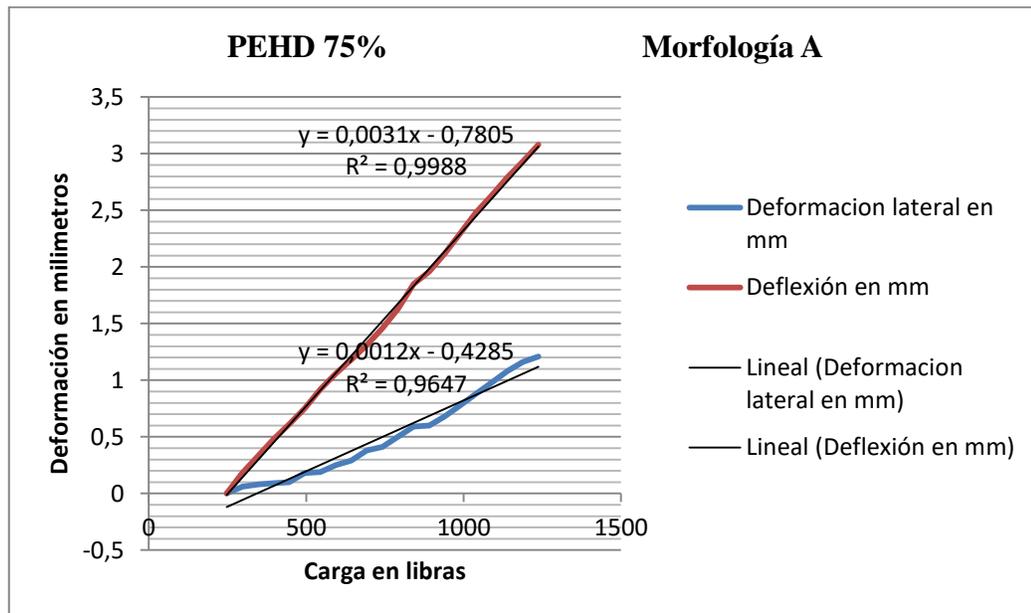


Figura No. 19 prueba de flexión PEHD 75 de las tejas
 Fuente: Elaboración propia, 2016.

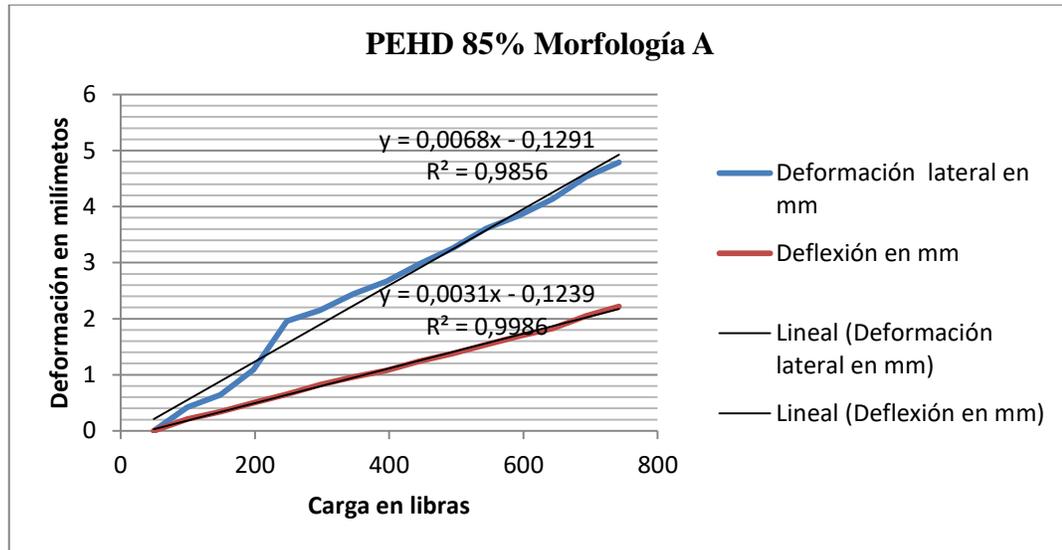


Figura No. 20 prueba de flexión PEHD 85 de las tejas
 Fuente: Elaboración propia, 2016.

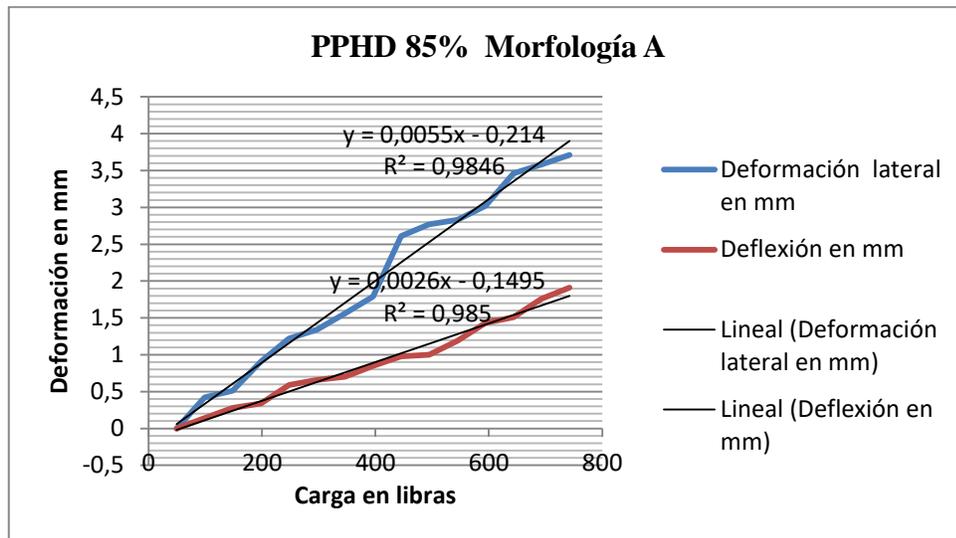


Figura No. 21 prueba de flexión PPHD 85 de las tejas
 Fuente: Elaboración propia, 2016.

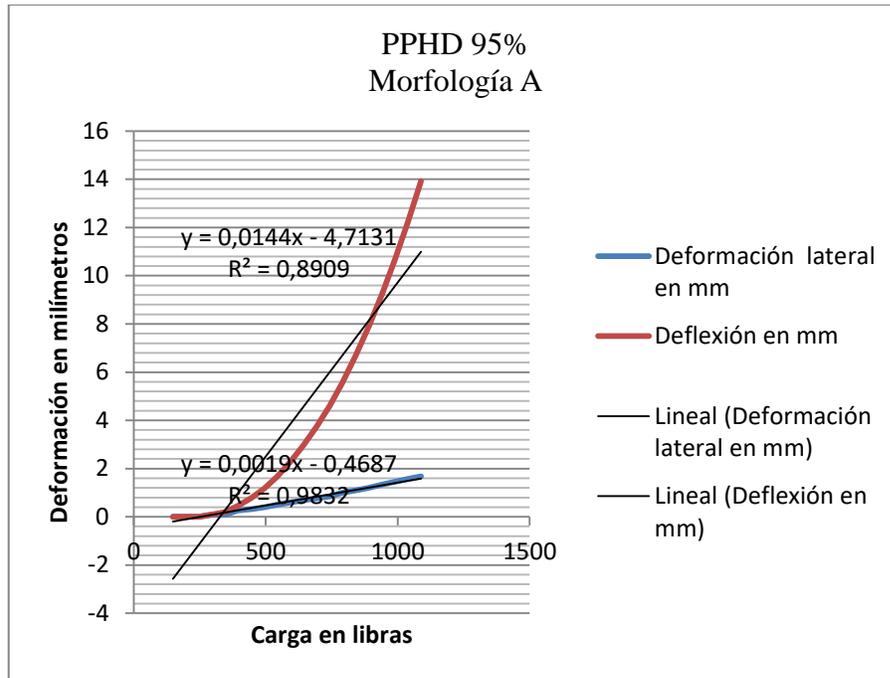


Figura No. 22 prueba de flexión PPHD 95 de las tejas
Fuente: Elaboración propia, 2016.

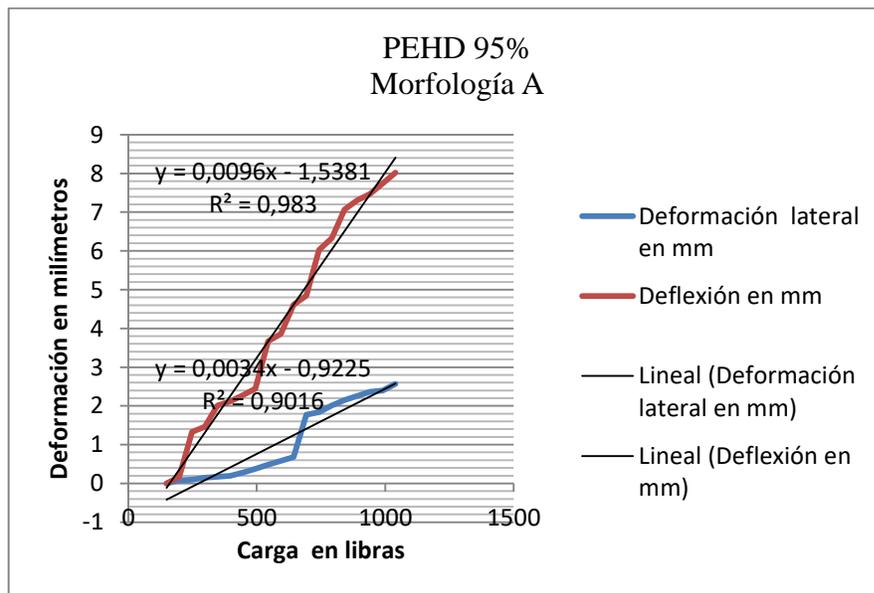


Figura No. 23 prueba de flexión PEHD 95 de las tejas
Fuente: Elaboración propia, 2016.

3.3 Matriz de Resultados

En esta matriz se presentan los productos, resultados o hallazgos planteados en la propuesta de investigación y los resultados concretos u obtenidos en la investigación.

Tabla No. 28 Matriz de resultados

Objetivo Específico	Resultado Esperado	Resultado Obtenido																
Caracterizar física y químicamente de las fibras naturales	Obtención de los contenidos de humedad lignina celulosa extraíbles y cenizas en las fibras naturales	<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="873 688 1052 741">Tipo</th> <th data-bbox="1052 688 1466 741">Aserrín de bambú</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="873 741 1052 793">Humedad %</td> <td data-bbox="1052 741 1466 793">12.22</td> </tr> <tr> <td data-bbox="873 793 1052 846">Cenizas %</td> <td data-bbox="1052 793 1466 846">0.86</td> </tr> <tr> <td data-bbox="873 846 1052 898">% de Extraíbles</td> <td data-bbox="1052 846 1466 898">22.2</td> </tr> <tr> <td data-bbox="873 898 1052 951">Lignina %</td> <td data-bbox="1052 898 1466 951">34.45</td> </tr> <tr> <td data-bbox="873 951 1052 1066">Diámetro de partícula cm</td> <td data-bbox="1052 951 1466 1066">2.36</td> </tr> <tr> <td data-bbox="873 1066 1052 1119">Celulosa %</td> <td data-bbox="1052 1066 1466 1119">34.89</td> </tr> <tr> <td colspan="2" data-bbox="873 1119 1466 1234">Caracterización de los polímeros utilizados</td> </tr> </tbody> </table>	Tipo	Aserrín de bambú	Humedad %	12.22	Cenizas %	0.86	% de Extraíbles	22.2	Lignina %	34.45	Diámetro de partícula cm	2.36	Celulosa %	34.89	Caracterización de los polímeros utilizados	
Tipo	Aserrín de bambú																	
Humedad %	12.22																	
Cenizas %	0.86																	
% de Extraíbles	22.2																	
Lignina %	34.45																	
Diámetro de partícula cm	2.36																	
Celulosa %	34.89																	
Caracterización de los polímeros utilizados																		
Determinar la influencia de la morfología, del tipo de plástico y de la formulación sobre las propiedades fisicomecánicas de las tejas.	Tejas fabricadas con los Diferentes tipos de plástico y morfología	Valores de las pruebas de, aislamiento térmico, acústico, flexión, compresión, corte, absorción, erosión al agua y el coeficiente de expansión volumétrico. Realizadas a las diferentes formulaciones y morfología																
Determinar las propiedades	Propiedades de las tejas comerciales	Valores de las pruebas de, aislamiento térmico, acústico, flexión, compresión, corte, absorción,																

fisicomecánicas de las tejas comerciales, aislamiento térmico, acústico, flexión, compresión, corte, absorción, erosión al agua y el coeficiente de expansión volumétrico.		erosión al agua y el coeficiente de expansión volumétrico.
Analizar comparativamente las propiedades fisicomecánicas de las tejas fabricadas con las tejas comerciales.	Anales de los valores de las propiedades fisicomecánicas	la dependencia entre sí de la variación entre los parámetros evaluados

3.4 Impacto esperado

La fabricación de tejas elaboradas a partir de polímeros reciclados y fibras naturales tendrá un impacto positivo en dos sectores importantes de la población guatemalteca. El primero es el sector agroindustrial ya que brindara una opción para el manejo de sus residuos y al mismo tiempo darle un valor agregado. El segundo sector tiene que ver tanto con la producción de materiales plásticos como con el reciclaje de los mismos. En la actualidad la cantidad de residuos provenientes de materiales de empaque y embalaje se han convertido en un problema sumamente serio a tal nivel que ríos y lagos se han cubierto por completo con desechos. El reciclaje de estos desechos constituye una de las soluciones más viables e inmediatas, por lo que utilizarlos como materia prima para la fabricación de elementos de construcción producirá un impacto positivo tanto en la industria de plásticos como en el sector del medio ambiente.

4. Análisis y discusión de resultados

Para la fabricación de las tejas se utilizaron evaluaron inicialmente tres polímeros, el polietileno de alta densidad (PEHD), el polipropileno de alta densidad (PPHD) y el teraftalato de polietileno (PET), todos de reciclado primario, es decir, un polímero reciclado por primera vez. El que los polímeros fueran de reciclado primario fue muy importante ya que esto elimina cualquier variabilidad en los resultados debido al fenómeno de histéresis en la termoformación de las dos morfologías de tejas a evaluar.

Pruebas preliminares demostraron que al utilizar PET en conjunto con fibras naturales de bambú requerían tiempos y temperaturas en el proceso de termoformación desfavorables para las fibras, ya que se evidenció carbonización y pirolisis de las mismas. Esto último causó que fuera imposible la obtención de una mezcla polímero-fibra natural que pudiera procesarse con éxito. En cuanto a las fibras naturales, se utilizaron fibras de bambú producto de desecho de los procesos que se llevan a cabo en la Sección de Tecnología de la Madera del Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII). Estos materiales fueron sometidos a caracterización fisicoquímica previa a su utilización en la fase experimental del proyecto de investigación, los resultados obtenidos se muestran en la tabla número diecisiete.

Las pruebas preliminares efectuadas establecieron que las condiciones de proceso adecuadas son de 260°C de temperatura para los dos polímeros empleados y sus diferentes formulaciones, un tiempo de residencia en el horno de 50 minutos y 60 minutos para el PEHD y el PPHD respectivamente, una presión de moldeo en caliente entre 3 y 5 toneladas y un tiempo de prensado en molde de 10 a 15 minutos.

En la figura numero dos se presenta el comportamiento de la humedad porcentual de las tejas para cada formulación estudiada. Se puede apreciar que entre mayor es el contenido de polímero en la formulación mucho menor es el valor de la humedad, registrándose los valores más bajos para la formulación de 95%, siendo dentro de este mismo grupo el polipropileno de alta densidad en morfología A el que presento el valor mínimo. Como se puede observar las

tejas morfología B fabricadas con polipropileno de alta densidad (PPHD-B) registraron la menor variación en cuanto al porcentaje de humedad mientras que las tejas morfología B fabricadas con polietileno de alta densidad (PEHD-B) registraron la mayor variación en cuanto al porcentaje de humedad. En los dos casos las humedades mayores se presentan cuando se tiene la formulación del 75% de polímero, lo que indica que la mayor presencia de fibras le confiere a la teja mayor capacidad de absorción de agua.

Por otra parte la figura número tres muestra los resultados obtenidos al evaluar el porcentaje de absorción en función de la formulación, el tipo de polímero y la morfología de la teja. Al igual que con la humedad se puede observar que el menor valor del porcentaje de absorción se registra cuando se tiene la formulación del 95%, sin embargo en este caso es la teja fabricada con polietileno de alta densidad en configuración tipo B la que registró el menor valor. También se puede observar un comportamiento similar al del porcentaje de humedad en cuanto a que los valores máximos fueron registrados a formulaciones de polímero del 75%, lo cual también se debe a la mayor presencia de fibras.

En la figura número cuatro se muestra el porcentaje de contracción volumétrica registrada en las tejas fabricadas. Para este análisis, muestras del material constituyente de las tejas se sometió a inmersión en agua por veinticuatro horas, registrándose los cambios en las dimensiones de la muestra. Se observa que el menor porcentaje de contracción volumétrica se registra a formulaciones con mayor contenido de polímero y con una morfología tipo B. Esto concuerda con la tendencia observada en las anteriores propiedades de las tejas ya que las formulaciones referidas involucran menor contenido de fibras naturales, las cuales confieren propiedades específicas a las tejas evaluadas.

Es esta presencia de fibras las que hace que aumenten las propiedades de elasticidad del material compuesto elaborado y por lo tanto un mayor valor de contracción volumétrica porcentual obtenida. En cuanto a la morfología, la teja tipo A presentó mayores valor de contracción volumétrica que la tipo B, sin embargo esta última por su diseño tiene menos

puntos de sensibles a la carga, dando como resultado una sensibilidad mayor a los cambios en las dimensiones debido a la acción de agentes externos.

En cuanto a la densidad, la figura número cinco muestra que aunque la tendencia observada y descrita anteriormente se mantiene, es decir que la densidad disminuye a mayores contenidos de polímero en la formulación, en este caso los polímeros que presentan este comportamiento son el polietileno de alta densidad y el polipropileno de alta densidad ambos en configuración tipo A. Se evidencia de esta manera que las tejas de morfología B son más macizas y con mayor consistencia que las del tipo A.

Para las pruebas de resistencia al sonido y al calor se diseñó y construyó un dispositivo especial para que permitiera disminuir significativamente los efectos del ambiente, lo cual permitió que las tejas fabricadas fueran sometidas a pruebas de atenuación tanto de sonido como de calor. Los resultados se muestran en las figuras seis, ocho, nueve, diez y once. De las figuras enumeradas se puede observar que la teja tipo B provoca mayor atenuación del sonido que la teja morfología A para todas las formulaciones.

De la misma manera se puede observar que a mayor formulación de polímero mayor es también la reducción del sonido. Lo anterior evidenció que la morfología de la teja B registró junto con la cantidad de fibras en la formulación tuvieron un efecto sinérgico para atenuar el sonido a pesar que la teja morfología A constaba con mayor número de aristas para causar un rebote en las ondas de sonido y por lo tanto una disminución en la cantidad de las mismas que pudieran pasar a través del material.

En cuanto a la capacidad de transmisión del calor a través del material que conformaba las tejas, se puede observar que sin importar la morfología, las tejas fabricadas con polipropileno de alta densidad mostraron una mayor capacidad para la disminución del calor. Lo anterior es sumamente interesante ya que también fue este mismo material el que presentó mayor reducción a la transmisión del sonido.

Se evidencia al observar el comportamiento que tuvieron las tejas elaboradas con PEHD y con una formulación del 75% que las fibras de bambú utilizadas funcionan perfectamente como refuerzo, ya que provee mayores deformaciones antes de llegar a la ruptura, por lo que el rango de carga a soportar es mayor, aunque esto implique mayores deflexiones

En las tejas cuya formulación es del 85% de polímero se puede observar que el PPHD, posee características fisicomecánicas más homogéneas, ya que tanto la rigidez lateral como la resistencia a flexión se comportan de manera similar. El PEHD brindó mayores deformaciones bajo las mismas solicitudes de carga (material más flexible).

Para la formulación del 75% de polímero se observa que hay un acomodamiento-recuperación de la teja para el PPHD. El PEHD mostró un comportamiento casi perfectamente elástico más y homogéneo, lo que lleva a pensar que brinda mejores resultados de estabilidad y un comportamiento predecible bajo diversas solicitudes de carga, ya que registra mayor rigidez en ambos sentidos (poca deformación bajo altas cargas)

Para la formulación del 85% de polímero en relación a la fibra se observa un comportamiento bastante homogéneo para ambos polímeros, tanto en la capacidad de resistir cargas laterales como verticales, pese a la geometría de la teja. Debido a la morfología de la teja, se observa que la deformación tiene un comportamiento proporcional de casi el doble de la de flexión para ambos polímeros.

Para la formulación del 95 de polímero en relación a la fibra de refuerzo de bambú, se observa que existe una capacidad de restitución bajo cada incremento de carga para el PEHD. En el caso del PPHD, se observa que brinda mayores deflexiones bajo los mismos valores de carga, lo que demuestra que el plástico actúa más que la fibra en este caso. Las deformaciones laterales registradas para la formulación de 95% de polímero son las menores de las tres probadas, esto debido a que existe mayor área de plástico en función de trabajo por la morfología de la teja

Se observa que hay un único punto de acomodamiento y de allí en adelante para todas las cargas este valor se mantiene; Es importante mencionar que para ambos plásticos con la formulación de 95% los materiales se comportan de forma bastante elástica con una relación bastante constante entre la carga aplicada y la deformación obtenida

Con el PEHD al 75% se puede apreciar que la fibra funciona perfectamente como refuerzo ya que provee mayores deformaciones antes de llegar a la ruptura, por lo que el rango de carga a soportar es mayor, aunque esto implique mayores deflexiones

En la formulación de 85% de polímero se puede observar que el PPHD, posee características más homogéneas, ya que tanto la rigidez lateral como la resistencia a flexión se comportan de manera similar El PEHD brindó mayores deformaciones bajo las mismas solicitudes de carga (material más flexible)

Para la formulación de 95% el PPHD es el que mejor rigidez lateral tiene. Se observa en la gráfica un único punto de acomodamiento y de allí en adelante para todas las cargas este valor se mantiene

Es importante mencionar que para ambos plásticos con la formulación de 95% los materiales se comportan de forma bastante elástica con una relación bastante constante entre la carga aplicada y la deformación obtenida

Para la formulación del 75% de polímero se observa que hay un acomodamiento-recuperación de la teja para el PPHD. Se observa que el PEHD tiene un comportamiento casi perfectamente elástico más homogéneo, lo que lleva a pensar que brinda mejores resultados de estabilidad y un comportamiento predecible bajo diversas solicitudes de carga, ya que registra mayor rigidez en ambos sentidos (poca deformación bajo altas cargas)

Para la formulación del 85% de polímero en relación a la fibra se observa un comportamiento bastante parejo para ambos polímeros, tanto en la capacidad de resistir cargas laterales como verticales; Se observa un comportamiento bastante homogéneo, bien logrado pese a la geometría de la teja

Debido a la morfología de la teja, se observa que la deformación tiene un comportamiento proporcional de casi el doble de la de flexión para ambos polímeros.

Para la formulación del 95 de polímero en relación a la fibra de refuerzo de bambú, se observa que existe una capacidad de restitución bajo cada incremento de carga para el PEHD. En el caso del PPHD, se observa que brinda mayores deflexiones bajo los mismos valores de carga, lo que hace pensar que el plástico actúa más que la fibra en este caso. Las deformaciones laterales registradas para la formulación de 95% de polímero son las menores de las tres probadas, esto debido a que existe mayor área de plástico en función de trabajo por la morfología de la teja

5. Conclusiones

Las condiciones de temperatura y tiempo de residencia en horno, requeridas para procesar la mezcla para tejas con polímero teraftalato de polietileno (PET), hacen imposible la fabricación de una teja funcional por medio de termoformación.

Las condiciones de proceso adecuadas para la fabricación de tejas de material compuesto fueron de 260°C de temperatura para los dos polímeros empleados y sus diferentes formulaciones, un tiempo de residencia en el horno de 50 minutos y 60 minutos para el PEHD y el PPHD respectivamente, una presión de moldeo en caliente entre 3 y 5 toneladas y un tiempo de prensado en molde de 10 a 15 minutos.

A mayor contenido de polímero en la formulación mucho menor es el valor de la humedad.

Las tejas morfología B fabricadas con polipropileno de alta densidad (PPHD-B) registraron la menor variación en cuanto al porcentaje de humedad.

Los valores máximos de porcentaje de absorción fueron registrados a formulaciones de polímero del 75%.

Se observa que el menor porcentaje de contracción volumétrica se registra a formulaciones con mayor contenido de polímero y con una morfología tipo B.

En cuanto a la morfología, la teja tipo A presentó mayores valor de contracción volumétrica que la tipo B.

La densidad de las tejas elaboradas con materiales compuestos disminuye a mayores contenidos de polímero en la formulación, independientemente de la morfología.

A mayor contenido de polímero en la formulación mayor es también la reducción del sonido.

Las tejas fabricadas con polipropileno de alta densidad mostraron una mayor capacidad para la disminución del calor y del sonido independientemente de la morfología y de la formulación.

Las tejas elaboradas con PEHD y con una formulación al 85% en ambas morfologías, muestran los mejores valores promedio en las pruebas de carga realizadas.

El polímero PEHD es el que posee mejor compatibilidad con las fibras de bambú ya que para las diversas formulaciones es el que le confiere mayor capacidad de refuerzo antes se llegar a la falla mecánica de las tejas elaboradas.

Las tejas con morfología A obtuvieron los mejores resultados promedio tanto para rigidez lateral como para deflexión.

La mayor inclusión de fibra en la formulación produce que los esfuerzos combinados horizontales y verticales de acuerdo a la geometría de la teja mejoran las propiedades fisicomecánicas.

El PEHD al 85% es el que arroja los mejores valores promedio bajo las pruebas de carga realizadas.

De las pruebas realizadas se observa que el PEHD es el que posee mejor compatibilidad con las fibras ya que para las diversas formulaciones es el que le confiere mayor capacidad de refuerzo antes se llegar a la falla.

Se concluye que para la morfología A los mejores resultados promedio tanto para rigidez lateral como para deflexión se dan con la inclusión de un mayor porcentaje de fibra, esto se puede deber a la distribución de los esfuerzos combinados horizontales y verticales por la geometría de la teja. Se sugiere hacer un estudio detallado de envolventes de cargas para determinar el

espesor óptimo y el ancho del canal en la teja que dará un mejor comportamiento y resistencia a las cargas.

6. Recomendación

Se sugiere hacer un estudio detallado de envolventes de cargas para determinar el espesor óptimo y el ancho del canal en la teja que dará un mejor comportamiento y resistencia a las cargas.

No se recomienda utilizar teraftalato de polietileno (PET) para la elaboración de tejas de material compuesto.

Realizar estudios sobre la elaboración de elementos de construcción tales como las tejas utilizando polímeros que tengan más de un reciclado.

Se recomienda realizar estudios de transferencia de calor para poder establecer los modelos semiempíricos para los coeficientes globales de transferencia de calor por convección que ayuden a predecir el comportamiento de las tejas instaladas en techos.

Se debe realizar estudios sobre la fabricación de tejas de material compuesto utilizando extrusión.

Evaluar la posibilidad de utilizar las tejas como tableros para división de ambientes.

Evaluar el efecto de otras fibras naturales tales como la estopa de coco, sobre las propiedades fisicomecánicas y químicas de los materiales compuestos.

Se recomienda hacer un estudio de prefactibilidad de fabricación a nivel industrial de las tejas.

7. Referencias y bibliografía

Harper, Charles A. (2004). *Manual de plásticos*, México: McGraw-Hill Interamericana. 1(2).

(McCabe & Smith, 2007). (2007). *Operaciones unitarias en ingeniería química*. 7ª. ed. México: McGraw-Hill.

Neoture, S.L; *Compuestos de madera y plásticos*.(mayo 2015) Recuperado de <http://www.neoture.es/es/noticias/productos-recicladados/145-compuesto-de-madera-y-plastico.htm>

Oyarzun, Patricia. (marso de 2015). *Estudio de compuestos plástico madera: desarrollo de una metodología de evolución de la adhesión interfacial*, Universidad del Bio-Bio Concepción Chile. Recuperado de <http://www.scielo.cl/scieloOrg/php/articleXML.php?pid=S0718-221X2003000100009&lang=es>

Pérez M. (2008). *Elaboración de matrices de polímeros reciclados reforzados con fibras de la estopa del coco y determinación de sus propiedades físicas y mecánicas*. Tesis de licenciatura. USAC. Guatemala.

Rahal, M. (2013). *Estudio de factibilidad técnico, económico y financiero para la producción de compuestos de madera y plástico en Venezuela*. Tesis de grado, UCAB, Caracas, Venezuela.

Raymond, E. Kirk; OTHMER, Donald F (1963). *Enciclopedia de tecnología química*. México: Unión Tipográfica Hispanoamericano, 13.

Sampieri, Roberto; Fernández Collado, Carlos. (2006). *Metodología de la investigación*, México: McGraw-Hill Interamericana, 4.

Walpole, Ronald E; MYERS, Raymond H; MYERS, Sharon L. (1999). *Probabilidad y estadística para ingenieros*. 6ª ed. México: Prentice-Hall Hispanoamericana.

8. Apéndice

8.1 Tablas de datos

Tabla No. 29 Prueba de sonido Morfología A

morfología	plástico	Formulación	fuelle	después de la teja	% de aislamiento
A	PEHD	75	102.3	84.6	17.7
			102.3	84.9	17.4
			102.3	84.7	17.6
		85	102.3	80.5	21.8
			102.3	81.4	20.9
			102.3	82.8	19.5
		95	102.3	79.5	22.8
			102.3	77.7	24.6
			102.3	73.5	28.8
	PPHD	75	102.3	88.1	14.2
			102.3	87.8	14.5
			102.3	89.3	13
		85	102.3	78.2	24.1
			102.3	80.6	21.7
			102.3	78.2	24.1
		95	102.3	78.6	23.7
			102.3	75.6	26.7
			102.3	75.4	26.9

Tabla No. 30 Prueba de sonido Morfología B

morfología	plástico	Formulación	fuelle	después de la teja	% de aislamiento
B	PEHD	75	105.7	79.8	25.9
			105.7	79.4	26.3
			105.7	80.6	25.1
		85	105.7	83.5	22.2
			105.7	84.4	21.3
			105.7	83.2	22.5
			105.7	87	18.7
			105.7	88.2	17.5
			105.7	88.5	17.2
	PPHD	75	105.7	84.9	20.8
			105.7	84.9	20.8
			105.7	84.1	21.6
		85	105.7	83.3	22.4
			105.7	83.7	22
			105.7	82.8	22.9
			105.7	76.3	29.4
			105.7	78.8	26.9
			105.7	77.2	28.5

Tabla No. 31 Prueba de absorcion y humedad

morfología	plástico	Formulación	Peso inicial	Peso 24 horas en agua	% Humedad	% de absorción	% Humedad	
A	PEHD	75	147.57	151.52	1.094	2.676696	1.094	
			146.03	149.6	0.216	2.444703	0.216	
			124.5	128.1	0.56	2.891566	0.56	
		85	128.12	130.13	0.674	1.568842	0.674	
			118.23	120.15	0.365	1.623953	0.365	
			128.73	130.49	0.284	1.367203	0.284	
			133.62	134.3	0.412	0.508906	0.412	
			135.06	136	0.592	0.695987	0.592	
			128.9	129.8	0.412	0.698216	0.412	
		PPHD	75	118.16	120.27	1.46	1.785714	1.46
				126.14	127.08	1.16	0.745204	1.16
				100.31	113.95	1.24	13.59785	1.24
	85		125.92	127.78	0.688	1.477128	0.688	
			117.42	119.57	0.519	1.831034	0.519	
			110.67	112.63	0.446	1.771031	0.446	
	95		119.4	121.84	0.225	2.043551	0.225	
			126.56	128.97	0.489	1.904235	0.489	
			119.75	120.98	0.346	1.02714	0.346	

Tabla No. 32 Prueba de absorcion y humedad

morfología	plástico	Formulación	Peso inicial	Peso 24 horas en agua	% de absorción	% Humedad
B	PEHD	75	148.35	150.96	1.75935288	1.258
			125.03	127.5	1.97552587	1.244
			113.96	116.47	2.2025272	1.23
		85	88.55	89.47	1.03896104	1.097
			123.81	125.11	1.04999596	1.04
			89.4	90.5	1.23042506	0.998
		95	110.32	110.84	0.47135606	0.551
			82.1	82.5	0.48721072	0.505
			127.52	128.13	0.47835634	0.525
	PPHD	75	115	116.88	1.63478261	1.487
			116.5	118.5	1.7167382	1.532
			118.96	120.59	1.37020847	1.547
		85	139.07	140.65	1.1361185	1.05
			109.43	110.45	0.93210271	1.04
			144.04	145.11	0.74284921	1.031
		95	109.16	109.82	0.60461708	0.594
			136.52	137.42	0.65924407	0.598
			104.07	104.74	0.64379744	0.589

Tabla No. 33 Prueba de contraccion volumetrica y densidad

morfología	plástico	Formulación	Contracción Volumétrica	Densidad	morfología	plástico	Formulación	Contracción Volumétrica	densidad		
A	PEHD	75	1.2	0.880	B	PEHD	75	1.05	0.588		
			1.2	0.892				1.04	0.546		
			1.18	0.870				1.06	0.694		
		85	1.05	0.844			85	0.98	0.783		
			1.04	0.822				0.97	0.706		
			1.05	0.818				0.96	0.730		
		95	0.8	0.986			95	0.75	0.846		
			0.85	0.970				0.74	0.869		
			0.84	0.915				0.73	0.806		
		PPHD	75	1.15			0.793	PPHD	75	0.97	0.697
				1.05			0.765			0.98	0.654
				1.04			0.682			0.978	0.693
	85		0.95	0.680	85	0.78	0.676				
			0.97	0.678		0.74	0.641				
			0.94	0.680		0.75	0.569				
	95		0.65	0.617	95	0.54	0.538				
			0.7	0.520		0.51	0.592				
			0.66	0.545		0.52	0.588				

Tabla No. 34 Prueba de erosión

morfología	plástico	Formulación	Peso inicial	Peso final	Tiempo	Flujo kg/h	Δpeso	
A	PEHD	75	1799.62	1799.62	1	885	0	
			1546.02	1546.02	1	885	0	
			1696.36	1696.36	1	885	0	
		85	1575.17	1575.17	1	885	0	
			1017.27	1017.27	1	885	0	
			1674.8	1674.8	1	885	0	
		95	1607.78	1607.78	1	885	0	
			1351.09	1351.09	1	885	0	
			1675.01	1675.01	1	885	0	
		PPHD	75	1701.77	1701.77	1	885	0
				1745.84	1745.84	1	885	0
				1585.18	1585.18	1	885	0
	85		1681.16	1681.16	1	885	0	
			1233.97	1233.97	1	885	0	
			1677.57	1677.57	1	885	0	
	95		1716.4	1716.4	1	885	0	
			1508.82	1508.82	1	885	0	
			1542.28	1542.28	1	885	0	

Tabla No. 35 Prueba de erosión

Morfología	plástico	Formulación	Peso inicial	Peso final	Tiempo	Flujo kg/h	Δ peso	
B	PEHD	75	1927.72	1927.72	1	885	0	
			1895.85	1895.85	1	885	0	
			1853.07	1853.07	1	885	0	
		85	1785.03	1785.03	1	885	0	
			1876.27	1876.27	1	885	0	
			1900.66	1900.66	1	885	0	
		95	1823.58	1823.58	1	885	0	
			1870.34	1870.34	1	885	0	
			1890.17	1890.17	1	885	0	
		PPHD	75	1950.3	1950.3	1	885	0
				1904.06	1904.06	1	885	0
				2040	2040	1	885	0
	85		1827.42	1827.42	1	885	0	
			1887.41	1887.41	1	885	0	
			1875.11	1875.11	1	885	0	
	95		1808.94	1808.94	1	885	0	
			1840.75	1840.75	1	885	0	
			1841.51	1841.51	1	885	0	

Tabla No. 36 Prueba de calor

Formulación	cara superior				cara inferior			
	Cresta		Valle		Cresta		Valle	
	To	Tf	To	Tf	To	Tf	To	Tf
PPHD75A	16.2	24	16.2	23.6	16.2	22.1	16.2	21.8
PPHD75A	16.2	25.3	16.2	26.6	16.2	21.7	16.2	21.6
PPHD75A	16.2	32.4	16.2	27.9	16.2	27.7	16.2	24.8
PPHD85A	19.4	32.1	19.4	28.7	19.4	25.9	19.4	25.1
PPHD85A	18.6	32.2	18.6	27.6	18.6	27.9	18.6	25.6
PPHD85A	17.6	28.8	17.6	25.5	17.6	22.9	17.6	25.6
PPHD95A	17.4	32.8	17.4	28.5	17.4	22.6	17.4	27.4
PPHD95A	20.2	34.4	20.2	35.2	20.2	27.9	20.2	23.5
PPHD95A	20.6	30.1	20.6	33.4	20.6	27.8	20.6	25.4
PEHD85B	15.1	31.4	15.1	28.5	15.1	29	15.1	27
PEHD85B	14.9	31.4	14.9	24.8	14.9	29.1	14.9	23.1
PEHD85B	14.2	31.5	14.2	25	14.2	29.2	14.2	23.4
PEHD95B	15.8	30.8	15.8	27.5	15.8	31.8	15.8	27.1
PEHD95B	17	27.8	17	25.5	17	27.1	17	23.3
PEHD95B	20.2	29.5	20.2	24.5	20.2	27.3	20.2	26.6
PEHD75B	14.1	29.7	14.1	25.4	14.1	27.7	14.1	23.3
PEHD75B	15.4	30.1	15.4	25.1	15.4	34	15.4	27.4
PEHD75B	17.2	28.1	17.2	25.9	17.2	26.9	17.2	23.2
SHINGLES	26.6	38.2	26.6	38.2	26.6	37.4	26.6	37.4
SHINGLES	20.05	37.4	20.05	37.4	20.05	37.1	20.05	37.1
SHINGLES	19.1	38	19.1	38	19.1	38	19.1	38

Tabla No. 37 Prueba de calor

Formulación	cara superior				cara inferior			
	Cresta		Valle		Cresta		Valle	
	To	Tf	To	Tf	To	Tf	To	Tf
PEHD85B	13.2	23.1	13.2	22.4	13.2	18.1	13.2	19.6
PEHD85B	16.6	30.4	16.6	28.6	16.6	25.2	16.6	26.2
PEHD85B	18.3	30.6	18.3	28.2	18.3	20.9	18.3	23.4
PEHD95B	19.4	26.8	19.4	26.6	19.4	22.8	19.4	24.2
PEHD95B	17.9	27.2	17.9	25.9	17.9	22.8	17.9	25.1
PEHD95B	15.1	31.7	15.1	31.6	15.1	21.7	15.1	25.6
PEHD75B	18.1	32.3	18.1	30.1	18.1	22.1	18.1	24.7
PEHD75B	17.1	29.3	17.1	26.1	17.1	21.9	17.1	25.1
PEHD75B	16.8	32.1	16.8	29.9	16.8	21.9	16.8	24.3
PPHD95B	20.1	33.8	20.1	33.3	20.1	25.1	20.1	28.6
PPHD95B	19.9	33.2	19.9	34.5	19.9	23.2	19.9	27.3
PPHD95B	19.6	35.3	19.6	37.3	19.6	21.2	19.6	24.8
PPHD95B	15	27	15	25.2	15	16.8	15	19.2
PPHD85B	13.4	27.8	13.4	24.9	13.4	17.5	13.4	21.5
PPHD85B	15.6	29	15.6	26.5	15.6	16.7	15.6	18.8
PPHD85B	14.8	29.7	14.8	27.8	14.8	17.3	14.8	20.2
PPHD75B	15.5	28.8	15.5	26.3	15.5	17.18	15.5	22.5
PPHD75B	16.2	29.1	16.2	27.4	16.2	17.8	16.2	19.5
PPHD75B	15.9	32.3	15.9	30.9	15.9	17.5	15.9	21.4

Tabla No. 38 Prueba de impacto

Formulación	Altura de caída de la bala (m)		Profundidad de Huella (mm)	Energía máxima disipada en Joules	Energía Promedio en Joules
	Huella	Ruptura			
PEHD95B	1.5	2	0.57	274.68	
PEHD85B	1	1.5	1.23	206.01	228.9
PEHD85B	1	1.5	1.33	206.01	
Formulación	Altura de caída de la bala (m)		Profundidad de Huella (mm)	Energía máxima disipada en Joules	Energía Promedio en Joules
	Huella	Ruptura			
PPHD75A		0.5	Fractura	68.67	
PPHD75A		0.5	Fractura	68.67	68.67
PPHD75A		0.5	Fractura	68.67	
Formulación	Altura de caída de la bala (m)		Profundidad de Huella (mm)	Energía máxima disipada en Joules	Energía Promedio en Joules
	Huella	Ruptura			
PPHD85A		0.6	Fractura	82.404	
PPHD85A		0.6	Fractura	82.404	82.404
PPHD85A		0.6	Fractura	82.404	
Formulación	Altura de caída de la bala (m)		Profundidad de Huella (mm)	Energía máxima disipada en Joules	Energía Promedio en Joules
	Huella	Ruptura			
PPHD95A		0.35	0.29	48.069	
PPHD95A		0.35	0.35	48.069	54.936
PPHD95A		0.5	Fractura	68.67	
Formulación	Altura de caída de la bala (m)		Profundidad de Huella (mm)	Energía máxima disipada en Joules	Energía Promedio en Joules
	Huella	Ruptura			
PEHD85A		0.5	Fractura	68.67	
PEHD85A		0.5	0.18	68.67	61.803
PEHD85A		0.35	Fractura	48.069	
Formulación	Altura de caída de la bala (m)		Profundidad de Huella (mm)	Energía máxima disipada en Joules	Energía Promedio en Joules
	Huella	Ruptura			
PEHD95A		0.5	Fractura	68.67	
PEHD95A		0.6	Fractura	82.404	73.248
PEHD95A		0.5	Fractura	68.67	
Formulación	Altura de caída de la bala (m)		Profundidad de Huella (mm)	Energía máxima disipada en Joules	Energía Promedio en Joules
	Huella	Ruptura			
PEHD75A		0.5	Fractura	68.67	

Convocatoria 2015

Dirección General de Investigación –DIGI–

PEHD75A		0.5	Fractura	68.67	68.67
PEHD75A		0.5	Fractura	68.67	
Formulación	Altura de caída de la bala (m)		Profundidad de Huella (mm)	Energía máxima disipada en Joules	Energía Promedio en Joules
	Huella	Ruptura			
Carbonato		0.2	Fractura	13.734	
Carbonato		0.2	Fractura	13.734	13.734
Carbonato		0.2	Fractura	13.734	
Formulación	Altura de caída de la bala (m)		Profundidad de Huella (mm)	Energía máxima disipada en Joules	Energía Promedio en Joules
	Huella	Ruptura			
SHINGLES		0.6	1.31	41.202	
SHINGLES		0.5	0.999	34.335	38.913
SHINGLES		0.6	Fractura	41.202	
Formulación	Altura de caída de la bala (m)		Profundidad de Huella (mm)	Energía máxima disipada en Joules	Energía Promedio en Joules
	Huella	Ruptura			
PEHD85B	1	1.5	1.28	206.01	
PEHD85B	1	1.5	0.93	206.01	206.01
PEHD85B	1	1.5	0.93	206.01	
Formulación	Altura de caída de la bala (m)		Profundidad de Huella (mm)	Energía máxima disipada en Joules	Energía Promedio en Joules
	Huella	Ruptura			
PEHD95B	1.5	2	0.57	274.68	
PEHD95B	1.5	2	0.38	274.68	274.68
PEHD95B	1.5	2	0.48	274.68	
Formulación	Altura de caída de la bala (m)		Profundidad de Huella (mm)	Energía máxima disipada en Joules	Energía Promedio en Joules
	Huella	Ruptura			
PEHD75B	1	1.5	1.09	206.01	
PEHD75B	1	1	0.9	137.34	183.12
PEHD75B	1	1.5	1.5	206.01	
Formulación	Altura de caída de la bala (m)		Profundidad de Huella (mm)	Energía máxima disipada en Joules	Energía Promedio en Joules
	Huella	Ruptura			
PPHD95B		1	FRACTURA	137.34	
PPHD95B		1.5	FRACTURA	206.01	160.23
PPHD95B		1	FRACTURA	137.34	
Formulación	Altura de caída de la bala (m)		Profundidad de Huella (mm)	Energía máxima disipada en Joules	Energía Promedio en Joules
	Huella	Ruptura			

PPHD85B		1	0.13	137.34	
PPHD85B		1	0.15	137.34	137.34
PPHD85B		1	0.14	137.34	
Formulación	Altura de caída de la bala (m)		Profundidad de Huella (mm)	Energía máxima disipada en Joules	Energía Promedio en Joules
	Huella	Ruptura			
PPHD75B		1	0.14	137.34	
PPHD75B		1	0.08	137.34	137.34
PPHD75B		1	0.14	137.34	

Tabla No. 39 deformacion morfologia B

PPHD 75%

CARGA PSI	D1	D2	D3	D4
150	2.6	2.56	8.14	2.29
200	1.83	2.43	9.88	2.17
250	1.56	2.44	9.63	2.05
300	1.52	2.44	1.32	1.95
350	1.35	2.44	1.02	1.85
400	1.32	2.41	2.74	1.75
450	1.12	2.36	2.39	1.65
500	1.1	2.34	3.86	1.59
550	1.99	2.3	3.54	1.52
600	1.89	2.25	4.11	1.44
650	1.61	2.2	5.88	1.34
700	1.4	2.11	6.01	1.18
750	0.25	2.03	7.99	1.07
800	0.05	1.92	8.11	0.95
850	9.85	1.79	9.2	0.84

Tabla No. 40 deformacion morfologia B

PEHD 75%

CARGA PSI	D1	D2	D3	D4
50	5.96	2.43	4.86	2.9
100	5.41	2.43	5	2.68
150	5.05	2.43	6.95	2.48
200	4.61	2.43	7.71	2.33
250	4.12	2.38	8.73	2.12
300	3.84	2.37	9.78	1.9
350	3.23	2.34	0.89	1.68
400	2.85	2.32	1.8	1.49
450	2.54	2.3	2.72	1.31
500	2.24	2.27	3.6	1.14
550	1.69	2.22	4.71	0.91
600	1.32	2.18	5.7	5.16
650	0.86	2.12	7.02	5.05
700	0.66	2.08	7.09	5.94
750	0.44	2.04	7.1	5.76
800	0.25	2.02	7.11	5.64
850	0.09	1.91	8.59	5.52
900	9.65	1.85	9.78	5.34
950	9.26	1.76	1.8	5.19
1000	8.14	1.71	1.65	5.07
1050	8.98	1.63	2.46	4.96
1100	8.97	1.56	3.44	4.83

Tabla No. 41 deformacion morfologia B

PPHD 85%

CARGA PSI	D1	D2	D3	D4
100	4.01	4.29	8.3	4.83
150	3.35	4.26	9.93	4.5
200	3.15	4.24	9.65	4.35
250	3.88	4.18	1.89	4.11
300	2.45	4.14	1.9	3.93
350	2.24	4.14	3.9	3.79
400	2.06	4.1	4.56	3.71
450	1.56	4.05	5.75	3.55
500	1.35	4.02	6.65	3.44
550	1.11	3.95	7.59	3.32
600	0.89	3.92	8.8	3.19
650	0.68	3.84	9.94	3.04
700	0.5	3.75	0.98	2.92
750	0.35	3.57	1.5	2.75
800	0.14	3.35	3.94	2.62

Tabla No. 42 deformacion morfologia B

PEHD 85%

CARGA PSI	D1	D2	D3	D4
100	5.02	5.98	9.39	8.31
150	5.31	5.94	0.51	8.06
200	4.63	5.89	1.5	8.03
250	4.09	5.86	2.29	7.93
300	3.4	5.79	3.28	7.83
350	2.82	5.72	4.12	7.74
400	2.23	5.62	5.11	7.64
450	1.77	5.53	6.99	7.57
500		5.41	7.91	7.51
550	1.02	5.33	8.8	7.4
600	0.65	5.24	9.59	7.3
650	0.21	5.1	0.65	7.17
700	9.83	4.97	0.54	7.1
750	9.43	4.78	1.56	7.01
800	9.09	4.61	2.48	6.92
850	8.4	4.32	9.5 0.28	6.8
900	7.04	4.1	1.39	6.73

Tabla No. 43 deformacion morfologia B

PPHD 95%

CARGA PSI	D1	D2	D3	D4
100	0.52	3.54	8.29	3.74
150	9.34	3.44	1.3	3.22
200	9.11	3.38	2.59	3
250	9.11	3.29	4.06	2.75
300	9.11	3.22	5.4	2.55
350	9.11	3.1	7.21	2.32
400	9.11	3.02	8.55	2.12
450	9.11	2.96	0.91	1.95
500		2.91	1.95	1.82
550		2.79	3.55	1.64
600		2.68	4.89	1.57

Tabla No. 44 deformacion morfologia B

PEHD 95%

CARGA PSI	D1	D2	D3	D4
100	2.64	5.98	1.41	8.66
150	1.63	5.91	4.69	8.11
200	0.9	5.9	5.12	7.79
250	0.4	5.89	6.45	7.55
300	9.89	5.87	8.59	7.33
350	9.32	5.85	9.81	7.08
400	8.89	5.84	0.88	6.86
450	8.56	5.8	1.94	6.62

Tabla No. 45 deformacion morfologia A

PPHD 75%

CARGA PSI	D1	D2	D3
100	3.41	5.5	2.44
150	3.26	5.61	2.54
200	3.04	5.74	2.65
250	2.9	5.85	2.73
300	2.73	5	2.84
350	2.55	6.11	2.94
400	2.36	6.18	2.05
450	2.24	6.25	2.13
500	2.13	6.34	2.21
550	1.93	6.45	2.34
600	1.79	6.54	2.42
650	1.64	6.62	3.52
700	1.52	6.71	3.62
750	1.39	6.81	3.73
800	1.28	6.91	3.73
850	1.17	7.02	3.94
900	1.08	7.14	3.05
950	0.99	7.22	3.16
1000	0.91	7.34	3.27
1050	0.81	7.44	3.4
1100	0.74	7.54	3.5
1150	0.63	7.68	4.65
1200	0.48	7.83	4.82

Tabla No. 46 deformacion morfologia A

PEHD 75%

CARGA PSI	D1	D2	D3
250	7.3	9.97	1.66
300	7.06	10.03	4.84
350	6.84	10.05	1.99
400	6.65	10.06	2.14
450	6.46	10.07	2.27
500	6.29	10.15	2.41
550	6.07	10.16	2.58
600	6.01	10.22	2.72
650	5.7	10.26	2.84
700	5.53	10.35	2.97
750	5.33	10.38	3.12
800	5.12	10.47	3.29
850	4.79	10.56	3.51
900	4.61	10.57	3.62
950	4.41	10.65	3.78
1000	4.13	10.75	3.96
1050	4.01	10.85	4.14
1100	3.77	10.95	4.29
1150	3.66	11.05	4.45
1200	3.66	11.13	4.59
1250	3.66	11.18	4.74

Tabla No. 47 deformacion morfologia A

PPHD 85%

CARGA PSI	D1	D2		D4
	3.84	4.64		5.56
100	3.84	5.06		5.42
150	3.88	5.15		5.28
200	3.88	5.55		5.34
250	3.92	5.86		5.09
300	3.95	5.98		5.02
350	4.2	6.2		4.98
400	4.27	6.43		4.83
450	4.33	7.25		4.7
500	4.39	7.41		4.68
550	4.45	7.35		4.49
600	4.45	7.54		4.25
650	5.2	7.98		4.17
700	5.38	8.1		3.92
750	5.68	8.23		3.77

Tabla No. 48 deformacion morfologia A

PEHD 85%

CARGA PSI	D1	D2	D3	D4
50	3.84	4.64	7.23	5.84
100	3.84	5.06	7.13	5.63
150	3.84	5.28	7.13	5.5
200	3.84	5.73	7.14	5.34
250	3.92	6.6	7.14	5.19
300	3.92	6.41	7.14	5.02
350	3.92	6.7	7.14	4.88
400	3.92	6.93	7.14	4.76
450	3.92	7.24	7.14	4.6
500	4.31	7.52	7.14	4.46
550	4.31	7.87	7.14	4.3
600	4.31	8.1	7.14	4.15
650	4.52	8.4	7.14	4.01
700	4.52	8.79	7.14	3.79
750	4.53	9.05	7.94	3.62

Tabla No. 49 deformacion morfologia A

PPHD 95%

CARGA PSI	D1	D2	D3
150	9.78	1.44	2.33
200	9.78	1.44	2.4
250	9.66	1.44	2.52
300	9.55	1.54	2.62
350	9.36	1.54	2.76
400	9.2	1.7	2.89
450	9.03	1.76	3.01
500	8.81	1.84	3.16
550	8.64	1.94	3.3
600	8.39	2.04	3.46
650	8.21	2.13	3.6
700	8.03	2.21	3.74
750	7.75	2.29	3.91
800	7.55	2.44	4.09
850	7.34	2.54	4.28
900	7.14	2.64	4.48
950	6.9	2.77	4.7
1000	6.69	2.89	4.93
1050	6.39	3.01	5.23
1100	6.03	3.12	5.5

Tabla No. 50 deformacion morfologia A

PEHD 95%

CARGA PSI	D1	D2	D3
150	1.4	1.27	2.39
200	8.19	1.35	2.56
250	8.94	1.37	3.72
300	8.69	1.42	3.85
350	8.41	1.44	3.3
400	8.16	1.47	3.19
450	8.1	1.55	3.34
500	7.57	1.65	3.52
550	6.25	1.75	4.74
600	6.94	1.85	4.93
650	6.49	1.95	4.18
700	6.16	3.04	4.41
750	5.9	3.11	5.6
800	5.56	3.28	5.9
850	5.25	3.42	5.16
900	5.1	3.53	5.4
950	4.8	3.63	5.56
1000	4.55	3.67	5.83
1050	4.35	3.5	5.55

8.2 Fotografías



Tejas fabricadas misma morfología diferente formulación



Tejas fabricadas misma formulación



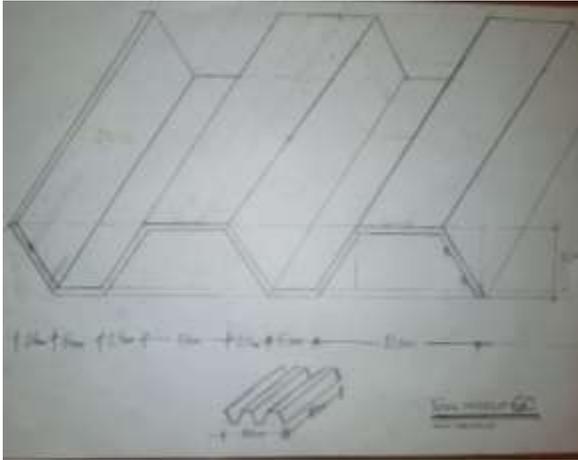
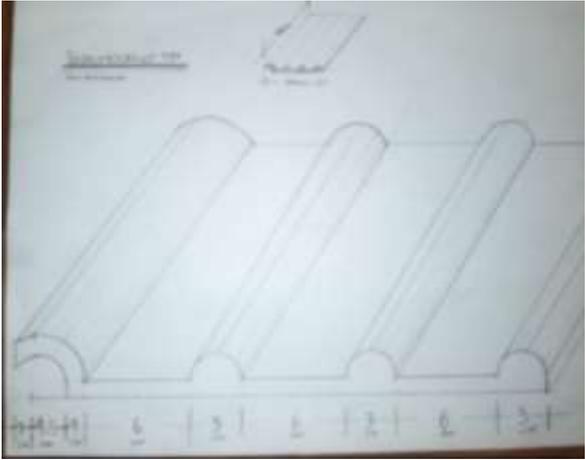
Comparación con tejas comerciales



Colocación del esterato de zin



Mescla de polimero con fibra

<p>Mescla de fibra con polímero</p>  <p>Teja fabricada con pet</p>	 <p>Prueba de teja con pet</p>
 <p>Prueba de flexion</p>	 <p>Detalle de fractura de teja</p>
 <p>Diseños de la primera morfología</p>	 <p>Diseño de la segunda morfología</p>



Tejas fabricadas primera morfología



Teja fabricada con polipropileno al 75 % de polímero



Teja en el molde



Segunda morfología de teja



Prueba de sonido



Prueba de sonido



Comparación de las tejas misma formulación distinta morfología



Tejas fabricadas



Corte de probetas



Prueba de tejas en molde de metal

--	--

9. Orden de pagoLISTADO DE TODOS LOS INTEGRANTES DEL EQUIPO DE INVESTIGACIÓN
CONTRATADOS POR LA DIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN

Nombre	Categoría	Registro de Personal	Pago	
			SI	NO
Ing. Fredy Contreras	Investigador	20081204	X	
Inga. Fabiola Ramírez	Investigador	20100287	X	
Br. Jesiel Enriquez	Auxiliar de investigación I	20061071	X	

Nombre	Firma
Ing. Fredy Contreras	
Inga. Fabiola Ramírez	
Br. Jesiel Enriquez	

Ing. Jorge Emilio Godínez Lemus
Coordinador del Proyecto de investigación

firma

Inga. Liuba María Cabrera de Villagrán
Coordinador del Programa Universitario

firma

Vo.Bo. Ing. Julio Rufino Salazar
Coordinador General de Programas

firmas