



**EDUCACIÓN**  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Colima  
División de Estudios de Posgrado e Investigación

# DISEÑO DE PANELES DE PLÁSTICOS RECICLADOS DE ALTA DENSIDAD CON ESTERILLA DE BAMBÚ, PARA EVALUAR SU RESISTENCIA MECÁNICA Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN Y RETENCIÓN DE HUMEDAD

## TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN ARQUITECTURA SOSTENIBLE Y GESTIÓN URBANA**

**PRESENTA:  
ARQ. HÉCTOR MIGUEL ESCAMILLA ANAYA**

**DIRECTOR DE TESIS:  
DR. ARQ. JOSÉ RICARDO MORENO PEÑA**

**CO-DIRECTOR:  
MTRO. ARQ. RAMÓN AVIÑA IGLESIAS**

VILLA DE ÁLVAREZ, COLIMA. ENERO 2022.





## PRÓLOGO

El excesivo consumo de productos maderables en el mundo ha empezado a crear una crisis ambiental, esto ha abierto la puerta en la búsqueda de maderas alternativas como lo es el bambú que cuenta con mejores aspectos que la madera tradicional como un rápido crecimiento, mayor flexibilidad y mayor control en el corte y tala ya que su fronda se ve parcialmente afectada generando menor impacto ambiental. Otro problema que se ha ido generando con los años es el alto consumo de plásticos, generando residuos con alto grado de contaminación, como alternativa para revertirla se buscan nuevas opciones de reutilización. Esto último ha abierto la posibilidad para innovar creando un nuevo material que utilice el plástico de polietileno de alta densidad combinándolo con la esterilla de bambú mediante la creación de paneles, con la visión de ser un material alternativo y de bajo impacto ambiental para la construcción.



## OFICIO DE IMPRESIÓN



**EDUCACIÓN**  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO®

Instituto Tecnológico de Colima  
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Villa de Álvarez, Colima, **25/enero/2022**  
Oficio No. DEPI 1.2.1.1/13/2022

### **ESTUDIANTE ESCAMILLA ANAYA HÉCTOR MIGUEL PASANTE DE LA MAESTRÍA EN ARQUITECTURA SOSTENIBLE Y GESTIÓN URBANA PRESENTE**

La **División de Estudios de Posgrado e Investigación** de acuerdo al procedimiento para la obtención del Título de Maestría de los Institutos Tecnológicos y habiendo cumplido todas las indicaciones que la **Comisión Revisora** hizo a su trabajo profesional

### **“DISEÑO DE PANELES PLÁSTICOS RECICLADOS DE ALTA DENSIDAD CON ESTERILLA DE BAMBÚ, PARA EVALUAR RESISTENCIA MECÁNICA COMO ALTERNATIVA PARA LA IMPLEMENTACIÓN EN VIVIENDA POPULAR”**

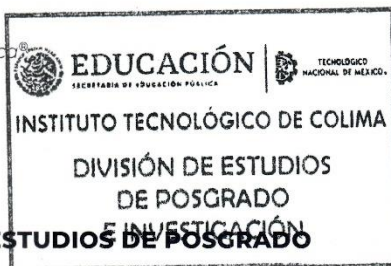
Por la opción de tesis, que para obtener el grado de Maestro en Arquitectura Sostenible y Gestión Urbana será presentado por Usted, tiene a bien concederle la **AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN** de la tesis citada.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

#### **ATENTAMENTE**

Excelencia en Educación Tecnológica®

**PETER CHUNG ALONSO**  
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



Ccp. Archivo

PCA/\*cas



Av. Tecnológico #1, C.P. 28976, Villa de Álvarez, Colima, Tel. 312 3129920 Ext: 113 y 213

Correo electrónico: [posgrado@colima.tecnm.mx](mailto:posgrado@colima.tecnm.mx) [www.colima.tecnm.mx](http://www.colima.tecnm.mx)



**2022 Flores**  
Año de Magón  
PRELUDIO DE LA REVOLUCIÓN MEXICANA

“DISEÑO DE PANELES DE PLÁSTICOS RECICLADOS DE ALTA DENSIDAD CON ESTERILLA DE BAMBÚ, PARA EVALUAR RESISTENCIA MECÁNICA Y CAPACIDAD ABSORCIÓN Y RETENCIÓN DE HUMEDAD”





## AGRADECIMIENTOS

La gratitud es un sentimiento de reconocimiento para quien o quienes han logrado impregnar algo de su esencia, conocimiento o apoyo en el cumplimiento de objetivos o metas, al ser una emoción incuantificable se puede plasmar eternamente mediante algunas palabras:

En primer lugar, quiero expresar mi agradecimiento a Miguel, mi padre, quien ha sido un modelo a seguir en toda mi existencia y de quien he podido aprender que en esta vida si se quiere lograr algo es necesario un gran esfuerzo y mucha dedicación; también por ser un gran apoyo en mi formación académica, por sus enseñanzas y sobre todo por sentir orgullo de cada uno de mis logros.

A Francisca, mi madre, por estar siempre pendiente de mí para lo que necesite, brindándome en todo momento su apoyo, por motivarme a cumplir con todo lo que me propongo y por siempre expresar con júbilo cada meta realizada por mí, estoy convencido que de igual manera recibirá este logro.

A Mayela, mi futura esposa, por estar siempre apoyándome y alentándome tanto al inicio como durante el desarrollo de esta etapa, siempre mostrando interés en lo que realizaba y por reprenderme en los momentos de desinterés que llegué a tener; estoy feliz porque eres parte de todo esto y por ser un pilar más en mi vida.

Académicamente agradezco a todo el personal docente que fue parte importante en esta etapa de formación, compartiendo sus conocimientos y experiencias en cada una de las materias tomadas. Agradecer al Dr. Arq. José Ricardo Moreno Peña quien fue el encargado de la dirección de mi tesis, con quien estuve trabajando estrechamente para obtener los mejores resultados posibles, también por su gran vocación como profesor, por estar siempre acompañándome en mi trabajo académico, compartir experiencias y opiniones y estar dispuesto a apoyar no importando el día y la hora, fue grato poder realizar este trabajo con una persona tan profesional como lo es él; e igualmente al jefe del DEPI el Mtro. Arq. Peter Chung Alonso, quien desde antes de iniciar y durante este proceso de



formación brindó su apoyo, aclaró todas las dudas y dio sus opiniones y puntos de vista o consejos en la toma de decisiones para el beneficio de los estudiantes.

Por último, agradecer al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por considerarme apto para recibir su apoyo, su beca fue de gran ayuda para realizar este proyecto de maestría; también por su destacada labor a nivel nacional apoyando e impulsando la investigación científica, la cual seguirá potencializando a México en su desarrollo académico.



## RESUMEN

En años recientes han surgido problemas ambientales en el mundo, la tala excesiva de maderas y el incremento de residuos plásticos, por lo cual se han hechos esfuerzos, como buscar un material alternativo que sustituya a la madera tradicional, proponiendo el uso del bambú, y explorar nuevos métodos de reciclaje de plásticos.

Con estos dos precedentes, la siguiente investigación busca innovar en un nuevo material implementando la combinación de la esterilla del bambú con el plástico de alta densidad (PEAD). A partir de investigaciones previas, se determinó el estado del arte, permitiéndonos generar una propuesta de metodología para la realización de las unidades experimentales que serán sometidas a pruebas de resistencia mecánica, absorción y retención de humedad.

El diseño experimental para elaboración de los paneles fue el denominado “Diseño de Bloques Completamente Aleatorizados”, este diseño contempla tres rubros: a) El tratamiento, que corresponde a las diferentes especies de bambú, b) El factor, que está determinado por las dimensiones del ancho y alto de las esterillas y c) La unidad experimental, que contienen los diferentes tratamientos afectados por cada factor propuesto.

Se diseñó y realizó el equipo que consta de placas térmicas de aluminio para la elaboración de los paneles de prueba mediante probetas de 16 x 16 cm a termofusión. Se realizaron los especímenes a partir del diseño experimental considerando paneles armados con una sola o doble línea de esterilla; posteriormente fueron realizadas las pruebas de: Absorción de humedad, obteniendo su peso en seco al inicio de la prueba y en húmedo una vez saturados, Retención de humedad registrando de manera periódica la reducción del peso por 32 horas y resistencia mecánica aplicando fuerza mediante la prensa universal.

Se presentan los resultados obtenidos de: absorción de humedad, en el caso de los paneles sencillos fue menor la absorción en comparación con los dobles a



pesar de ser más densos, referente a la retención de humedad se observó que tanto en los paneles sencillos como dobles fueron similares los índices de reducción; con respecto a la resistencia mecánica, los valores mayores obtenidos en los paneles sencillos simplemente apoyados fueron entre 140 a 160 kg, en el caso de los empotrados entre 130 a 220 kg, siguiendo con los paneles dobles simplemente apoyados tenemos valores entre 170 a 270 kg y finalizando en los empotrados de 200 a 220 kg.

**Palabras clave:** Esterilla de bambú, Polietileno de alta densidad, paneles, tableros, arquitectura, sostenible.



## ABSTRACT

In recent years, environmental problems have arisen in the world, the excessive felling of wood and the increase in plastic waste, for which efforts have been made, such as looking for an alternative material that replaces traditional wood, proposing the use of bamboo, and explore new methods of recycling plastics.

With these two precedents, the following investigation seeks to innovate in a new material by implementing the combination of the bamboo mat with high-density plastic (HDPE). Based on previous investigations, the state of the art was determined, allowing us to generate a methodology proposal for the realization of the experimental units that will be subjected to tests of mechanical resistance, absorption and humidity retention.

The experimental design for the elaboration of the panels was called "Design of Completely Randomized Blocks", this design includes three items: a) The treatment, which corresponds to the different bamboo species, b) The factor, which is determined by the dimensions the width and height of the mats and c) The experimental unit, which contains the different treatments affected by each proposed factor.

The equipment consisting of aluminum thermal plates was designed and made for the elaboration of the test panels by means of 16 x 16 cm thermofusion test tubes. The specimens were made from the experimental design considering panels armed with a single or double mat line; Subsequently, the tests of: Moisture absorption were carried out, obtaining its dry weight at the beginning of the test and wet once saturated, Retention of humidity, periodically recording the reduction in weight for 32 hours and Mechanical resistance by applying force through the press universal.

The results obtained from: moisture absorption are presented, in the case of simple panels the absorption was lower compared to double panels despite being more dense, regarding moisture retention it was observed that both single and





double panels the reduction rates were similar; Regarding the mechanical resistance, the highest values obtained in the simple panels simply supported were between 140 to 160 kg, in the case of the embedded ones between 130 to 220 kg, continuing with the double panels simply supported we have values between 170 to 270 kg and ending in the recessed 200 to 220 kg.

**Keywords:** Bamboo mat, high density polyethylene, panels, boards, architecture, sustainable.



## ÍNDICE GENERAL

<b>1. GENERALIDADES</b> .....	20
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA. ....	20
1.2 JUSTIFICACIÓN DEL TEMA DE INVESTIGACIÓN.....	21
1.3 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	23
<b>1.3.1. General.</b> .....	23
<b>1.3.2. Específicas.</b> .....	23
1.4 HIPÓTESIS. ....	24
1.5 OBJETIVOS: .....	24
<b>1.5.1. Objetivo General.</b> .....	24
<b>1.5.2. Objetivos Particulares.</b> .....	24
1.6 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO METODOLÓGICO. ....	25
1.7 ALCANCES Y LIMITACIONES. ....	25
<b>2. ESTADO DEL ARTE</b> .....	27
2.1 MATERIAS PRIMAS. ....	27
2.2 REVISIÓN DE LA LITERATURA Y PATENTES. ....	39
2.3 NORMATIVIDAD.....	47
<b>3. METODOLOGÍA APLICADA</b> .....	51
3.1 ENFOQUE Y TIPO DE ESTUDIO. ....	51
3.2 ÁREA DE ESTUDIO.....	52
3.3 CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES UTILIZADOS.....	53
3.4 DISEÑO DE LA MUESTRA.....	56
3.5 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	57
3.6 MATERIAL, HERRAMIENTA Y EQUIPO. ....	58
3.7 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	60



3.7.1. MÁQUINA DE TERMO FUSIÓN PARA ELABORACIÓN DE PROBETAS.....	60
3.7.2. LAS PROBETAS .....	67
3.7.3. PRUEBAS DE LABORATORIO. ....	74
3.7.4. FICHAS TÉCNICAS. ....	81
3.8 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS. ....	83
<b>4. RESULTADOS OBTENIDOS. ....</b>	<b>84</b>
4.1 RESULTADOS. ....	84
4.2 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS. ....	90
<b>5. CONCLUSIONES. ....</b>	<b>114</b>
<b>6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS. ....</b>	<b>121</b>
<b>7. ANEXOS. ....</b>	<b>123</b>
ANEXO 1. - FICHAS DE PANELES. ....	123
ANEXO 2.- PLANOS MÁQUINA DE TERMO FUSIÓN. ....	175



## ÍNDICE DE TABLAS.

**Tabla 1.** Codificación de plásticos..... 32

**Tabla 2.** Investigaciones hechas en Asia..... 41

**Tabla 3.** Investigaciones hechas en Europa – África - Norteamérica..... 45

**Tabla 4.** Investigaciones hechas en América Latina..... 46

**Tabla 5.** Normatividad internacional sobre paneles y tableros encontrada..... 47

**Tabla 6.** Propiedades físicas, mecánicas y químicas del PEAD..... 54

**Tabla 7.** Propiedades físicas, mecánicas del bambú establecidos..... 55

**Tabla 8.** Elementos que intervienen en el diseño experimental..... 56

**Tabla 9.** Diseño experimental para paneles sencillos..... 57

**Tabla 10.** Diseño experimental para paneles dobles..... 57

**Tabla 11.** Capacidades de medición de la máquina..... 79

**Tabla 12.** Resultados de la prueba de compresión en unidades simplemente apoyadas..... 84

**Tabla 13.** Resultados de la prueba de compresión en unidades empotradas..... 85

**Tabla 14.** Resultados de la prueba de absorción de humedad en paneles sencillos..... 86

**Tabla 15.** Resultados de la prueba de absorción de humedad en paneles dobles..... 87

**Tabla 16.** Resultados de la prueba de retención de humedad en paneles simples..... 88



**Tabla 17.** Resultados de la prueba de retención de humedad en paneles dobles.89

**Tabla 18.** Resumen del análisis de resultados en las pruebas de resistencia mecánica en paneles sencillos..... 107

**Tabla 19.** Resumen del análisis de resultados en las pruebas de resistencia mecánica en paneles dobles. .... 107



## ÍNDICE DE FIGURAS.

<b>Figura 1.</b> Zonas de cultivo de bambú en el mundo.....	34
<b>Figura 2.</b> Distribución del bambú en México.....	37
<b>Figura 3.</b> Proceso de fabricación de esterilla.....	39
<b>Figura 4.</b> Ubicación centro de reciclaje.....	52
<b>Figura 5.</b> Ubicación de la comunidad El Remudadero.....	53
<b>Figura 6.</b> Boceto final de la máquina. ....	61
<b>Figura 7.</b> Base de la maquina hecha de ángulos de hierro. ....	61
<b>Figura 8.</b> Tapa del molde con las resistencias presentadas. ....	62
<b>Figura 10.</b> Piezas colocadas como apoyo alrededor del molde. ....	63
<b>Figura 11.</b> Resistencias colocadas en la base de la máquina. ....	63
<b>Figura 12.</b> Tornillo colocado en la parte superior de la máquina, en la parte inferior, la mitad del molde soldado.....	64
<b>Figura 13.</b> Máquina terminada sin pintar. ....	65
<b>Figura 14.</b> Máquina conectada a corriente eléctrica funcionando.....	66
<b>Figura 15.</b> Plástico siendo derretido por la máquina.....	66
<b>Figura 16.</b> Una de las primeras pruebas hechas con bambú y plástico. ....	66
<b>Figura 17.</b> Lado izquierdo PEAD cernido, lado derecho PEAD como se obtuvo..	67
<b>Figura 18.</b> Vaso medidor hasta el tope de PEAD. ....	67



<b>Figura 19.</b> Agua vertida en otro recipiente, obtenida de la prueba. ....	67
<b>Figura 20.</b> Agua obtenida de la prueba en el vaso medidor. ....	68
<b>Figura 21.</b> Moldes utilizados para los paneles, a la izquierda para los sencillos y derecha los dobles. ....	69
<b>Figura 22.</b> Cálculo hecho para un tablero sencillo de esterilla de bambú de 0.5 x 0.5 cm. ....	70
<b>Figura 23.</b> Bolsas con bambú cortado, en orden de acuerdo a su especie y tamaño. ....	70
<b>Figura 24.</b> Molde posicionado en la máquina. ....	71
<b>Figura 25.</b> Esterilla colocada dentro del molde.....	72
<b>Figura 26.</b> Máquina preparada para su uso.....	72
<b>Figura 27.</b> Panel recién desmoldado. ....	73
<b>Figura 28.</b> Secciones de los paneles, izquierda sencillos y derecha dobles.....	74
<b>Figura 29.</b> Despiece de paneles, izquierda sencillos y derecha dobles.....	74
<b>Figura 30.</b> Paneles acomodados dentro de la pileta con agua.....	75
<b>Figura 31.</b> Peso colocado encima a los paneles para evitar que flotar.....	76
<b>Figura 32.</b> Base de aluminio con los paneles colocados. ....	77
<b>Figura 33.</b> Probetas OT2I-E recién cortadas. ....	78
<b>Figura 34.</b> Probeta AGI-E siendo ensayada. ....	80
<b>Figura 35.</b> Probeta AGI siendo ensayada.....	80



<b>Figura 36.</b> Ejemplo de ficha técnica unidad experimental AG1. ....	82
<b>Figura 37.</b> Gráfica de deformación paneles simples tratamiento AG simplemente apoyado. ....	90
<b>Figura 38.</b> Gráfica de deformación paneles simples tratamiento AC simplemente apoyado. ....	91
<b>Figura 39.</b> Gráfica de deformación paneles simples tratamiento OT simplemente apoyado. ....	91
<b>Figura 40.</b> Gráfica de deformación paneles simples tratamiento OH simplemente apoyado. ....	92
<b>Figura 41.</b> Gráfica de deformación paneles dobles tratamiento AG2 simplemente apoyado. ....	92
<b>Figura 42.</b> Gráfica de deformación paneles dobles tratamiento AC2 simplemente apoyado. ....	93
<b>Figura 43.</b> Gráfica de deformación paneles dobles tratamiento OT2 simplemente apoyado. ....	93
<b>Figura 44.</b> Gráfica de deformación paneles dobles tratamiento OH2 simplemente apoyado. ....	94
<b>Figura 45.</b> Gráfica de deformación paneles simples tratamiento AG empotrado..	95
<b>Figura 46.</b> Gráfica de deformación paneles simples tratamiento AC empotrado..	95
<b>Figura 47.</b> Gráfica de deformación paneles simples tratamiento OT empotrado..	96
<b>Figura 48.</b> Gráfica de deformación paneles simples tratamiento OH empotrado.	96





**Figura 49.** Gráfica de deformación paneles dobles tratamiento AG2-E empotrado. .... 97

**Figura 50.** Gráfica de deformación paneles dobles tratamiento AC2-E empotrado. .... 97

**Figura 51.** Gráfica de deformación paneles dobles tratamiento OT2-E empotrado. .... 98

**Figura 52.** Gráfica de deformación paneles dobles tratamiento OH2-E empotrado. .... 98

**Figura 53.** Comparativa paneles con factor I, simplemente apoyados. .... 99

**Figura 54.** Comparativa paneles con factor II, simplemente apoyados. .... 100

**Figura 55.** Comparativa paneles con factor III, simplemente apoyados. .... 100

**Figura 56.** Comparativa paneles con factor 2I, simplemente apoyados. .... 101

**Figura 57.** Comparativa paneles con factor 2II, simplemente apoyados. .... 102

**Figura 58.** Comparativa paneles con factor 2III, simplemente apoyados. .... 102

**Figura 59.** Comparativa paneles con factor I-E, empotrados. .... 103

**Figura 60.** Comparativa paneles con factor II-E, empotrados..... 104

**Figura 61.** Comparativa paneles con factor III-E, empotrados..... 104

**Figura 62.** Comparativa paneles con factor 2I-E, empotrados..... 105

**Figura 63.** Comparativa paneles con factor 2II-E, empotrados..... 106

**Figura 64.** Comparativa paneles con factor 2III-E, empotrados..... 106



<b>Figura 65.</b> Resumen de resistencias mecánicas en paneles simples.....	109
<b>Figura 66.</b> Resumen de resistencias mecánicas en paneles dobles. ....	110
<b>Figura 67.</b> Relación de densidad y porcentaje de absorción en paneles simples. .....	111
<b>Figura 68.</b> Relación de densidad y porcentaje de absorción en paneles dobles.	111
<b>Figura 69.</b> Promedios de secado y reducción de humedad en paneles sencillos. .....	112
<b>Figura 70.</b> Promedios de secado y reducción de humedad en paneles dobles..	113
<b>Figura 71.</b> Comparativa de resistencia y deformación en paneles simplemente apoyados y empotrados. ....	115
<b>Figura 72.</b> Comparativa de resistencia y densidad en paneles simplemente apoyados y empotrados. ....	116



## 1. GENERALIDADES

### 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

En las últimas décadas surgió un problema mundial que hasta el día de hoy está generando cierta incertidumbre que afecta a sectores tanto ambientales como socioeconómicos, la cual es la reducción de bosques. Factores como desastres naturales o la tala de árboles han contribuido con esta problemática, sobre todo esta última, ya que la poda de bosques o selvas es más rápida que el tiempo de crecimiento de los árboles, rondando los 20 o 30 años, causando impactos ambientales que contribuyen al calentamiento global.

Otra problemática mundial creciente es el excesivo consumo de productos plásticos, los cuales pese a poder ser reciclados o reutilizados mediante un correcto proceso, la mayoría son desechados como basura, generando grandes cantidades de desecho inorgánico e incapaces de degradarse en corto periodo de tiempo, contribuyendo al problema de la contaminación ambiental.

Como una alternativa a la problemática forestal ha surgido la opción del uso del bambú, esto debido a gran medida a que en los últimos años ha sido objeto de estudio, y que han demostrado que cuenta con capacidades similares a la madera común, con la característica peculiar que tiene un crecimiento acelerado, logrando su madurez de 2 a 6 años. Pese a lo mencionado, un gran problema que afecta al bambú es la humedad, por lo cual es necesario lograr evitar que se impregne de este problema.

Gracias a la gran manejabilidad, amplia variedad de métodos de reciclado y fácil obtención, muchas investigaciones se basan en tener como objetivo principal el aprovechamiento de los plásticos.

El problema que se aborda en esta investigación incide en poder aprovechar las características y ventajas de cada uno de los dos materiales expuestos anteriormente. En el ámbito de la construcción existe la premisa de ir creando



nuevos materiales empleando el plástico en combinación con otros materiales, como lo puede ser el bambú.

## 1.2 JUSTIFICACIÓN DEL TEMA DE INVESTIGACIÓN.

Con la existencia de una crisis maderable en el mundo y la necesidad de buscar alternativas de este material, surge el bambú como una opción. El bambú ha estado presente a lo largo de la historia y se han obtenido grandes beneficios ya sea como material de construcción, muebles, artesanías, alimento, utensilios, entre otros, pero sin obtener el mismo reconocimiento como lo tienen otros materiales vernáculos. Países asiáticos como China o Japón, que cuenta con grandes bosques de bambú, han desarrollado en gran medida su uso como material de construcción, mientras tanto en América, Colombia en los últimos tiempos ha sido el principal país en impulsar el estudio y uso de esta planta.

*“El uso de la guadua en una gran cantidad de aplicaciones como sustituto de las maderas tradicionales viene tomando fuerza dadas las ventajas como su rápido crecimiento y su elevada resistencia mecánica. Por ser un producto natural su consumo y empleo se han considerado amigables con el medio ambiente.”* (Becerra, 2013).

En México ha estado presente desde los tiempos prehispánicos, utilizado para la construcción de viviendas y elaboración de diversos utensilios, pero que con el paso del tiempo su relevancia fue decayendo, sin embargo, en los últimos años en estados como Puebla, Veracruz o Chiapas, el interés ha ido creciendo al grado de explotarlo como fuente forestal. En la década pasada en el estado de Colima, productores se vieron interesados por esta planta formando el Consejo Colimense del Bambú (BAMBUCOL), logrando producirla en gran medida, teniendo la mayor plantación en la comunidad conocida como el Remudadero, en el municipio de Comala, Colima. Con esto, se ha logrado tener a la mano una fuente principal de materia prima en lo que respecta al bambú.



En los siglos XX y XXI el crecimiento demográfico a nivel mundial ha sido extraordinario, esto trajo consigo la necesidad de una mayor demanda de productos, sin embargo, también aparece uno de los grandes problemas al día de hoy, los residuos. Los plásticos empezaron a llegar en la primera mitad del siglo XX para atender necesidades de la sociedad, pero con el paso de los años se han convertido en uno de los principales residuos inorgánicos en el mundo. La gran cantidad de desechos plásticos que se generan día a día, una falta de cultura en reciclaje y separación de plásticos en la sociedad, está contribuyendo con el problema de generación de desechos. Para esto es necesario buscar alternativas de reutilización esto debido a que es bien sabido que la vida un plástico puede llegar al menos más los 300 años, antes de degradarse.

*“En el mundo actual, los residuos plásticos debemos verlos como recursos recuperables. Desde hace varios años y en distintos lugares del mundo están trabajando en el estudio y la investigación de las mejores formas de minimizar y aprovechar los residuos plásticos.” (Di Bernardo, 2015)*

En años recientes se han realizado estudios donde utilizando diversos métodos de unión, han logrado crear materiales uniendo productos maderables (palma, pino, bambú, etc.) con plásticos reciclados (PVC, PET, polipropileno, Polietileno de baja/alta densidad, etc.). El polietileno de alta densidad o PEAD, es un polímero termoplástico que está formado por varias unidades de etileno dándole densidad molecular.

Este plástico cuenta con algunas de las mejores propiedades entre los polímeros, por ejemplo, debido a su composición molecular tiene mayor rigidez y resistencia que cualquier plástico, logrando resistir a los impactos, a la tracción y altas y bajas temperaturas, además de que también puede resistir a los ácidos y disolventes, es muy versátil además de maleable. Con estas peculiaridades que presenta este plástico, es necesario tener nuevas alternativas de reciclaje o reutilización optando por aprovechar sus cualidades y contribuir al cuidado del medio ambiente.

Con todas estas premisas, se busca crear un material uniendo el bambú con el PEAD, aprovechando que existe disponibilidad de las materias primas en el estado de Colima. Lograr que, mediante la unión de este plástico pueda proteger de la humedad al bambú, y que este nuevo material logre tener las propiedades de resistencia, rigidez y manejabilidad del PEAD combinándolas con la flexibilidad y dureza del bambú.

Por último, que con la creación de este material sirva como una solución tecnológica y sostenible, y sea empleada en la construcción de edificaciones y viviendas, y alcance ser una alternativa constructiva innovadora que cumpla con los estándares normativos y de calidad.

## 1.3 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.

### 1.3.1. General.

¿Cuáles serían las características que deberían tener un tipo de panel elaborado con plásticos de alta densidad y esterilla de bambú, para que cumplan o mejoren las de un panel tradicional o comercial?

### 1.3.2. Específicas.

¿Cuál tipo de bambú con plástico de alta densidad podrá tener la mejor capacidad de resistencia mecánica?

¿Logrará el plástico de alta densidad proteger a la esterilla de bambú de la humedad?

El panel hecho de esterilla de bambú y plástico reciclado de alta densidad, ¿podrá considerarse como una alternativa sustentable en el mercado de la industria de la construcción?



## 1.4 HIPÓTESIS.

Dadas las características de resistencia mecánica del bambú y la cualidad hidrofóbica de los plásticos, se puede crear con la unión de la esterilla de bambú y el polietileno de alta densidad (PEAD), un material útil en la construcción, que sea de baja densidad y de alta resistencia tanto mecánica como a la humedad.

## 1.5 OBJETIVOS:

### 1.5.1. Objetivo General.

Crear mediante la utilización de esterilla de bambú (material fibroso) y polietileno de alta densidad (desechos plásticos reciclados y triturados), un material que pueda utilizarse en la construcción aprovechando sus características mecánicas e hidrofóbicas que contribuya a la disminución de la contaminación.

### 1.5.2. Objetivos Particulares.

- Conocer las características de los materiales empleados para la realización de las muestras.
- Definir y diseñar el sistema a implementar para la unión de los componentes.
- Realizar el diseño experimental con las diferentes variables que participan en los modelos propuestos.
- Realizar los prototipos de prueba que se obtuvieron mediante el diseño experimental.
- Obtener los resultados de las pruebas mecánicas y de humedad realizadas y generar la base de datos.
- Analizar y comparar las muestras que presenten una mejor capacidad mecánica.
- Analizar y comparar las muestras que presenten una mejor resistencia a la humedad.



## 1.6 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO METODOLÓGICO.

Se logró realizar el diseño y la construcción de la máquina y los moldes para la elaboración de las probetas, se realizaron pruebas pilotos mediante las cuales se fue observando y determinando la manera en que los materiales se combinarían para integrarse en las mezclas.

Para el desarrollo de la investigación se tomaron en cuenta dos variables presentes en los agregados de las probetas, en primer lugar, sería el bambú como principal elemento, utilizándose las cuatro diferentes especies existentes en la región con tres diferentes grosores y el otro es el plástico de alta densidad (PEAD) como el elemento envolvente, mediante el diseño de las mezclas hechas completamente al azar, derivaron un total de 24 tipos de combinaciones.

Para poder medir la resistencia mecánica y la capacidad de retención de humedad de las probetas, se hicieron las pruebas para medir la compresión, la capacidad de absorción y retención de humedad.

## 1.7 ALCANCES Y LIMITACIONES.

El presente estudio tiene la intención de lograr un impacto tanto nacional, como internacional, con la motivación de lograr el desarrollo de nuevas tecnologías y apoyo a más investigaciones, también brindar una nueva alternativa de material que sea de gran beneficio para cualquier usuario y que provoque un nulo o bajo impacto ambiental.

En relación a los materiales y equipos que fueron necesarios para la realización de la experimentación podemos expresar que; el plástico de alta densidad es un material de consumo y que se desecha desgraciadamente en cualquier parte y no se cuenta con un control adecuado para su manejo, por otro lado, el bambú, pese a que se puede encontrar a lo largo de las zonas cálidas y templadas de Colima, preferentemente se encuentra entre a las altitudes de 500 a 1600 m.s.n.m., sin embargo se encuentra en el campo experimental de Tecomán del INIFAP plantíos en estudio a una altitud menor a 20 m.s.n.m. por lo que podemos





concretar que no hubo limitación en este sentido sin embargo, respecto al equipo, las limitante que se presentó fue principalmente en no contar con herramientas adecuadas para creación de los paneles por lo cual fue necesario diseñar y construir el equipo.



## 2. ESTADO DEL ARTE.

### 2.1 MATERIAS PRIMAS.

#### **Plástico.**

Proveniente de la palabra griega *plastikos* que significa “hábil para ser moldeado o moldeable”, los plásticos son materiales polímeros (compuesto por moléculas gigantes) que pueden ser transformados hasta conseguir características o forma deseada.

Debido a esta característica maleable “los plásticos pueden ser blandos, tenaces, duros, quebradizos, transparentes, opacos, con posibilidad de teñirse de cualquier color, o bien admitiendo una serie limitada de colores, pueden arder con facilidad o bien pueden ser auto extingüibles o incombustibles: pueden poseer una resistencia excelente a la intemperie o deteriorarse rápidamente al exterior.” (H., 1972)

Con todas estas características que cuentan los plásticos, si se desarrollan tanto separadas como en conjunto, pueden lograr cubrir algunas necesidades del sector de la construcción. Económicamente, los plásticos son más sencillos de producir, aun sea a una medida específica, que otros productos. Su maleabilidad hace que varios componentes logren combinarse en uno solo facilitando la fabricación y la instalación.

#### **Historia.**

El hombre ha utilizado polímeros naturales a lo largo de la historia. Los primeros indicios datan del siglo XVI a.C., cuando algunos pueblos mesoamericanos transformaron caucho natural en objetos como bandas, figuras o bolas. (Hosler, Burkett, & Tarkanian, 1999) Los egipcios hacían uso de resinas naturales para embalsamar a sus difuntos, mientras que en la India y el sudeste asiático hacían uso de la goma laca y la gutapercha como recubrimiento de objetos



o recipientes. También, el ámbar ha estado presente de muchas maneras, incluido como preservador de plantas o insectos del pasado.

El origen de los polímeros sintéticos empieza en el año 1839, cuando Charles Goodyear logra transformar las propiedades de la goma natural (extraída del árbol de Brasil) obteniendo un material resistente y elástico, al mezclarlo con azufre. Este producto lo denominó *vulcanización*, parteaguas de lo que hoy se utiliza para la creación de neumáticos.

Alrededor de 1850, el británico Alexander Parkes estudiando el nitrato de celulosa, logra combinarla con alcanfor y aceites vegetales, haciendo una sustancia transparente, flexible pero dura a la que llamaría *parkesina*. En 1868 John Wesley Hyatt, basándose en el trabajo de Parkes y por un concurso de una empresa de bolas de billar que buscaba un material alternativo para el marfil, logra mejorar el proceso de fabricación de la parkesina, creando un material al que llamo *celuloide*. Este sería uno de los primeros plásticos en ser industrializados.

El año 1920 daría un hito importante para el desarrollo futuro de los plásticos. Sería el químico Hermann Staudinger quien comenzaría estudios teóricos sobre las estructuras moleculares de los polímeros tanto naturales como sintéticos. Con esto formularía la hipótesis de que estos materiales estaban constituidos por moléculas de gran tamaño, lineales y largas, proponiendo el término de *macromoléculas*. Esta investigación no fue del todo bien recibida por la comunidad científica, y que pasados algunos años mediante investigaciones y experimentos lograron darle la razón a Staudinger, obteniendo incluso el premio Nobel en Química en 1953. Con esta investigación se lograrían las bases para el desarrollo de la química macromolecular, desarrollando nuevos materiales mediante una base científica y no por combinaciones casuales como había sido en materiales anteriores.

Waldo Semon en 1926, guiado por el trabajo previo de Klatter y Zacharias, lograría desarrollar definitivamente el cloruro de vinilo o *PVC*, siendo un material impermeable y resistente al fuego, que al día de hoy tiene un gran uso, sobre todo en tuberías de edificaciones. Se llega a la década de los 30's y se logra un desarrollo



industrial de polímeros importante, es en esta década donde se logra la técnica de los termoplásticos, desarrollando diversas herramientas y técnicas para el desarrollo de estos materiales.

Sería también al inicio de esta década cuando la empresa alemana Farbenindustrie A.G. (hoy BASF), guiándose por investigaciones anteriores, lograron obtener el *poliestireno* y que a su vez lo impulsarían a una producción industrial, dando inicio a uno de los plásticos más consumidos hoy en día. Para 1937, Otto Bayer desarrollaría la primera síntesis del *poliuretano*, pero debido a la segunda guerra mundial, su producción industrial creció lentamente. Un año después, en 1938, la empresa estadounidense DuPont iniciaría la producción del material conocido como *nailon*, descubierto en 1933 por su fallecido empleado Wallace Hume Carothers. Este material sería utilizado en la segunda guerra mundial en cuerdas y paracaídas y después tendría auge en la industria textil.

Para 1941 en el Reino Unido, los científicos J. Rex Whinfield y W. Drekson desarrollarían por primera vez el polietileno tereftalato mejor conocido como *PET*. Inicialmente sería utilizado para la fabricación de fibras en la segunda guerra mundial para después entrar en la industria textil y posteriormente en el envasado de alimentos, siendo hoy en día otro de los plásticos más utilizados.

En la década de los 50's aparecerían dos plásticos que, al día de hoy, tienen un uso masivo. Empezando en 1953, donde el químico alemán Karl Ziegler y sus colaboradores, lograron la creación del *polietileno*. Al año siguiente, en 1954, el químico italiano Giulio Natta lograría manufacturar el *polipropileno*. Por sus grandes logros realizados en esta década, ambos científicos recibirían el premio Nobel de Química en 1963.

Las siguientes décadas se profundizó en el estudio de las estructuras de los plásticos además de mejorar su desarrollo industrial. En la década de los 60's, muchos plásticos empezaron sustituir a productos hechos de materiales como la madera, el cartón o el vidrio. En los 70's, viendo como los plásticos fueron un excelente sustituto de varios materiales, se comenzó ahora el remplazo de algunos



metales. Llegando los 80's la producción industrial de plásticos se intensificaría, llegando a ser una de las principales del mundo.

Al día de hoy los plásticos los podemos encontrar en casi cualquier objeto de uso cotidiano, se han convertido en materiales de gran uso en muchas industrias debido a su fácil creación y bajo costo. Ha sido tanta la demanda que en los últimos años ha provocado una saturación como residuo sólido y ha sido necesario crear estrategias para reducir su impacto, buscando alternativas como el reciclado o reutilización.

### **Clasificación de los plásticos.**

Existen varias clasificaciones para los materiales plásticos, pero una de las más utilizadas es en la que se divide en dos grupos: los termoplásticos y los termoestables.

Los termoplásticos son polímeros poco ramificados o lineales, pueden fluir por encima de su punto de fusión. Mediante el calor pueden ser moldeados una y otra vez, aunque van perdiendo una parte de sus propiedades originales. Gracias a esto, son fáciles de reciclar y suponen un 80% de todos los plásticos que actualmente se han producido. (Jurado, 2012) En este grupo tenemos:

- Polietileno (PE)
- Polipropileno (PP)
- Poliestireno (PS)
- Cloruro de Polivinilo (PVC)
- Polietileno de Alta Densidad (PEAD)
- Polietileno de Baja Densidad (PEBD)
- Policarbonato (PC)
- Otros como el nailon, poli acetal, fluoruro de polivinilo, etc.

Los polímeros termoestables, al entrar en contacto con calor, sufren una transformación química, haciendo que sus moléculas crean una red tridimensional.



Una vez que se han solidificado no se pueden moldear o fundirse de nuevo, debido a que pierden sus características, por lo tanto, son más difíciles de reciclar y suponen el 20% de los plásticos que se han producido. (Jurado, 2012) Aquí encontramos:

- Poliéster (PES)
- Poliuretanos (PU)
- Resinas epoxilínicas
- Resinas fenólicas
- Siliconas
- Melamina
- Otros como poliamidas, fenol formaldehído, urea, etc.

### **Codificación de los plásticos.**

Hoy en día, en el mercado actual, la presencia de plásticos es muy grande. Ante esta situación fue necesario crear un sistema de clasificación o codificación que ayudara a identificar de que material plástico esta hecho un producto, permitiendo así una recolección, separación y reciclado de más sencilla.

Para el año de 1988 el Bottle Institute de la Society of the Plastics Industry crearía el Código Internacional SPI, reconocido en todo el mundo (tabla 1). Este código es grabado en el fondo de los productos y tiene forma triangular (tres flechas que forman el triángulo aludiendo al reciclaje), llevando un número que corresponde al tipo de plástico y debajo una abreviatura. Esto con el fin de identificar correctamente el material para su correcto reciclaje.

**Tabla 1.** Codificación de plásticos. Fuente: Elaboración propia (2021).

Tipo de Plástico	Abreviatura	Símbolo	Propiedades	Aplicaciones
Polietileno tereftalato	PET		Resistencia física, propiedades térmicas, propiedades barreras, ligereza y resistencia química.	Botellas, envasado de productos alimenticios, moquetas, refuerzos neumáticos de coches.
Polietileno de alta densidad	PEAD		Poco flexible, resistente a químicos, opaco, fácil de pigmentar, fabricar y manejar, se suaviza a los 75° C.	Botellas de productos alimenticios, detergentes, contenedores, juguetes, bolsas, embalajes, laminas y tuberías.
Cloruro de polivinilo	PVC		Duro, resistente, puede ser claro, puede ser utilizado con solventes, se suaviza a los 80° C, flexible, elástico.	Marcos de ventanas, tuberías rígidas, revestimientos para suelos, botellas, cables aislantes, productos de uso sanitario.
Polietileno de baja densidad	PEBD		Suave, flexible, translucido, se suaviza a los 70° C, se raya fácilmente.	Bolsas de basura, pañales, recubrimiento, contenedores flexibles, tuberías para riego, adhesivos.
Polipropileno	PP		Difícil pero aun flexible, se suaviza a los 140° C, translucido, soporta solventes, versátil.	Envases para productos alimenticios, cajas, tapones, piezas de automóviles, alfombras y componentes eléctricos.
Poliestireno	PS		Esponjoso, ligero, absorbe energía, mantiene temperaturas.	Botellas, vasos de yogurt, recubrimientos, vasos, platos, cubiertos, materiales de empaque.
Otros	-		Incluye de muchas otras resinas y materiales. Sus propiedades dependen de la combinación de los plásticos.	Auto partes, hieleras, electrónicos, piezas para empaques.



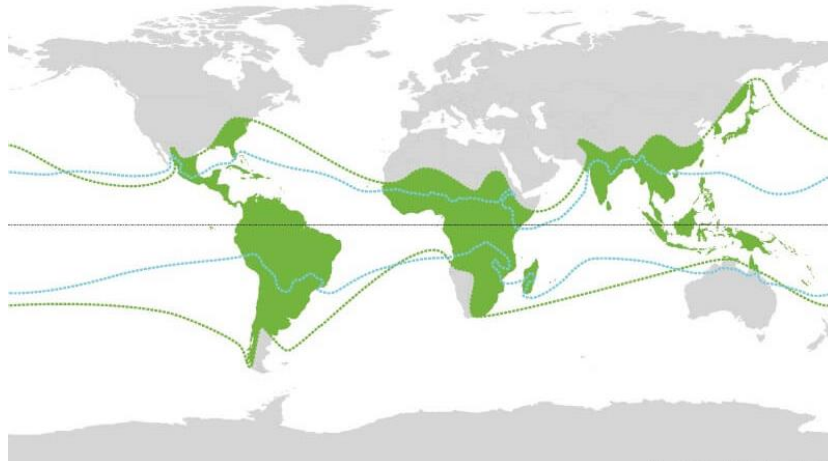
## Bambú.

El bambú es una planta perteneciente a la familia de las gramíneas (como el arroz, el maíz o la caña de azúcar). Pueden ser herbáceos o leñosos, alcanzar alturas de hasta sesenta metros y diámetros de 30 cm cercano a su base. La mayoría crece de forma erecta, aunque existen especies que tienen tallos flexionados en sus puntas y otras crecen en forma dispersa o lineal. (Ordóñez, Mejía, & Bárcenas, 2011)

Cuenta con características muy peculiares ya que tiene resistencia a la flexión, a la tracción y a la compresión, en comparación a cualquier otra madera. También es una planta que logra alcanzar su madurez entre 4 o 6 años, debido a su rápido crecimiento. Y ha demostrado ser excelente para la construcción, ya que es más ligero que el acero, más fuerte que el concreto (haciendo un material con resistencia sísmica) y tiene un menor costo que materiales convencionales. (Aguilar, 2018)

En el planeta existen 1,200 especies y 90 géneros de bambú, distribuidas en los cinco continentes puede adaptarse simplemente a diferentes climas y condiciones, se asocian principalmente en áreas tropicales y subtropicales, solamente en Europa no existen especies nativas. Se distribuyen desde los 51° de latitud Norte hasta los 47° latitud Sur y desde el nivel del mar hasta los 4,300 metros de altura. El área total del bambú en el mundo es de alrededor de 36 millones de hectáreas o aproximadamente 3.2% de la superficie forestal total, distribuida principalmente en Asia, Oceanía, África y América Latina. Hay pocas especies de bambú en América del Norte y Europa (Chaowana y Barbu, 2017).





**Figura 1.** Zonas de cultivo de bambú en el mundo. Fuente: A.P. Hebel. *Global Natural Bamboo Habitat 1980 – National Geographic.*

## Historia.

El origen se remonta a unos 40 millones de años, pero su utilización data aproximadamente del año 5.000 a.C., Neolítico de la Edad de Piedra, en China, donde aparecen los primeros productos fabricados en bambú, como flechas o materiales de construcción. Por esto se piensa que tiene su origen en China, aunque no hay pruebas de ello. Aunque también en Perú (en época preincaica) y Mesoamérica, algunos pueblos como los olmecas, toltecas, mayas y aztecas han dejado vestigios del uso del bambú en fechas similares.

Sin embargo, existen primeros vestigios sobre el empleo del bambú en la construcción de viviendas en Ecuador que datan del 9,500 a.C., según algunos investigadores. Entre los años 1,500-100 a.C., en la región costera de México, se localizaron viviendas olmecas que hacían sus muros con carrizo, bambú y otros materiales. En el año 600 a.C. en la India, empiezan aprovechar las ventajas de la flexibilidad del bambú para la construcción de viviendas y templos, generando arcos con la forma de la flor de loto, punto de partida de la arquitectura india.

Entre 960-1279 en Oriente, encontramos puentes chinos y la tradición japonesa que utiliza el bambú en las cubiertas con carácter estructural o en los canalones y bajantes de pluviales, en celosías de ventana y eventualmente como



suelos o revestimientos de fachadas o como refuerzo interno recubierto con arcilla, de los tabiques fijos de la vivienda. Durante 1631 y 1654 en la India, se construye la cúpula del Taj Mahal, originalmente realizada en bambú, apreciándose las influencias de las antiguas cupulas de bambú en la India.

La primera obra contemporánea de importancia hecha con bambú la constituye la Glorieta de verano construida por Gaudí para el Parque Güell, con bambú de las Filipinas. Consiste en una intersección de dos bóvedas de cañón y más que una construcción efímera, se trató de un estudio experimental sobre las posibilidades este material.

Llegando el siglo XX, entre 1914 y 1918, se empieza a tomar interés por este material y posibles combinaciones con otros materiales, un campo poco explorado. Una de las más importantes aplicaciones del bambú es como refuerzo del hormigón como ya lo experimento H. Chou en el MIT de Harvard y cuyos resultados fueron explotados en China para la cimentación de puentes de ferrocarril y utilizados para las estructuras de las instalaciones militares del Pacífico durante la Segunda Guerra Mundial tanto en Japón como EEUU. El punto débil se encuentra en la incompatibilidad entre los contenidos de humedad de ambos materiales.

En 1978, debido al fracaso de la combinación bambú-hormigón, se empieza a plantear ensayos, llevados a cabo por Oscar Hidalgo, donde se establece la alternativa de emplear como refuerzo del hormigón cables de bambú, con los que se consigue una mayor adherencia.

Ya en los últimos años, el bambú ha surgido como una alternativa en campos como la construcción, donde poco a poco ha empezado a ser utilizado tanto estructural como decorativo. También ha surgido el interés, en el campo de la investigación, muchos al verlo como una alternativa maderable optan por realizar experimentación en esta planta, buscando crear nuevos materiales.



## Bambú en el mundo.

El bambú se cultiva en varios continentes del mundo, en consecuencia, se ha dividido en regiones: Región bambú de Asia y el Pacífico, de América, africana y europea - Norte americana, la de Asia y el Pacífico es el área de cultivo más grande del mundo (Abdul Khalil, et al, 2012).

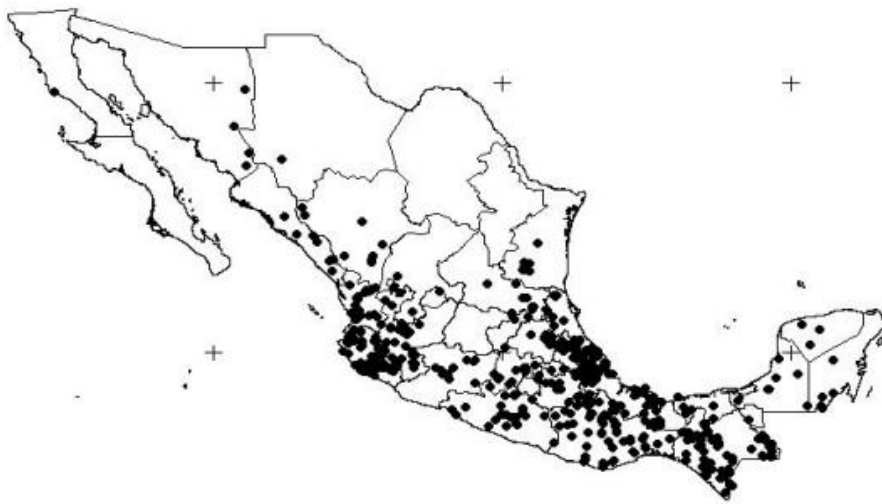
Asia la región más rica de bambú, con alrededor de 24 millones de hectáreas (65% del área total del bambú en el mundo), una gran superficie está ocupada por seis países: India, China, Indonesia, Filipinas, Myanmar y Vietnam, entre otros que también contribuyen. Hay cerca de 900 especies con aproximadamente el 80% del total de especies de bambú en el mundo. Alrededor del 80% de las especies que crecen en esta área son bambús agrupados y se utilizan en diferentes aspectos como por ejemplo alimento, artesanal, construcción o industria. La India es un importante país productor de bambú con unas 145 especies, que cubren un área de 11.4 millones de hectáreas o alrededor del 17% de la superficie forestal total del país. China es uno de los principales países productores de bambú con una superficie de 5.4 millones de hectáreas o aproximadamente el 3% de la superficie forestal total del país. Desde el punto de vista, Asia es importante para formular recursos eficaces de bambú y su utilización (Chaowana y Barbu, 2017).

En comparación con Asia y América Latina, África tiene el recurso de bambú más pequeño que cubre un área de 2.7 millones de hectáreas o aproximadamente el 7% del área de bambú total en el mundo. Hay alrededor de 40 especies que se distribuyen principalmente en bosque mixto y bosque lluvioso tropical.

En América, existe casi la mitad de la diversidad mundial, reportándose un total de 41 géneros y 514 especies, que se distribuyen desde el Sudeste de los Estados Unidos de Norte América hasta Centro, y América del Sur, y las islas Caribe. Hay más de 10 millones de hectáreas o alrededor del 28% del área total de bambú en el mundo. En su mayoría crecen los bambúes denominadas “guadas”, siendo la especie de bambú más importante debido que es propicio para ser utilizado para la industria y la construcción (Chaowana y Barbu, 2017).

## Bambú en México.

Como se dijo anteriormente, el uso del bambú en México viene desde los tiempos prehispánicos, totonacas, huastecos, teotihuacanos, aztecas y mayas lo han utilizado hasta el día de hoy para construcción en viviendas como estructuras o cubiertas. En México se han registrado 36 especies de bambúes leñosos y cuatro especies de bambúes herbáceos, por lo que se considera como un país de “moderada diversidad” (Ordoñez, 2002).



**Figura 2.** *Distribución del bambú en México. Fuente: Rodríguez, (2005).*

De las especies que crecen en el país, las que sobresalen son las denominadas guaduas, cañizo y caña brava, representados en México por el género de las guaduas, con cinco especies nativas: aculeata, amplexifolia, longifolia, paniculata y velutina. Estas especies se encuentran principalmente en el centro del país y zonas de clima cálido, como lo son selvas húmedas, ríos y arroyos.

El género oatea, es el bambú leñoso nativo de México más abundante, ocupa grandes superficies debido a que generalmente es la única planta que crece. También esta especie es muy utilizada por las poblaciones rurales, pues con sus tallos se logran construir el sistema constructivo denominado bahareque (mezcla de tallos con lodo y zacate) que se ha utilizado históricamente en la construcción viviendas tradicionales o vernáculas.



## Especies de bambú.

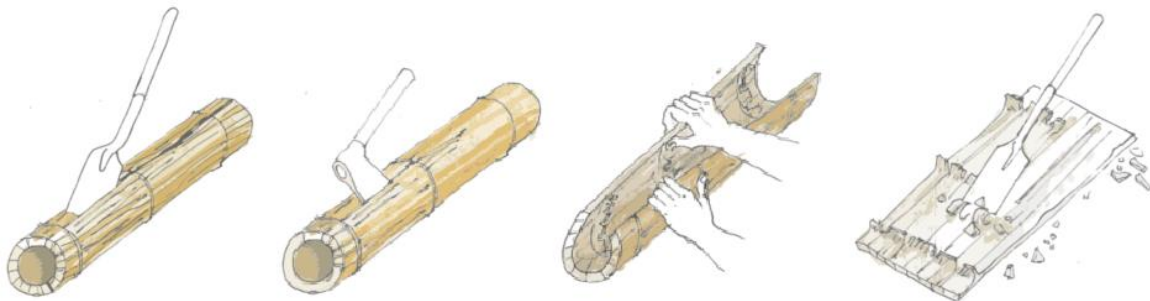
- **Guadua aculeata:** Llega a medir 25 m de altura y 25 cm de diámetro en la base. Como característica distintiva tiene espinas en las ramas y entrenudos huecos.
- **Guadua amplexifolia:** Bambúes que forman grandes vástagos, de 10 a 20 m de longitud y de 5 cm de diámetro en su base, los culmos son erectos con pelitos blanquecinos.
- **Guadua angustifolia:** Alcanza altura de 30 m y 22 cm de diámetro, no necesita semilla para reproducirse y su velocidad de crecimiento puede ser de hasta 11 cm de altura por día.
- **Guadua longifolia:** Alcanza los 10 m de longitud, sus cañas tienen estar arqueadas en la parte superior del tallo y cuando alcanzan su madurez el diámetro logra medir de 4 a 6 cm.
- **Guadua paniculada:** Sus vástagos son muy densos de 10 a 20 cañas, de 5 a 10 m de longitud y de 2.5 de diámetro. Culmos erectos, ligeramente arqueados en la parte superior. Crece siendo color verde, pero en madurez es color amarillo.
- **Guadua velotina:** Vástagos de regular tamaño, culmos rectos y alcanzan longitudes de 3 a 5 m y diámetros de 5 a 10 cm.
- **Bambusa Oldhamii:** Especie adaptable de rápido crecimiento que no es invasora, logra alcanzar de 12 a 18 metros de altura, su diámetro oscila entre los 3 y 10 cm. Cuando madura es de gran utilidad para la agricultura, decoración y construcción.

- *Otatea acuminata*: Es leñoso y espinoso, pero no tiene espinas, sus tallos tiene grandes vainas que envuelven su tallo, logra alcanzar hasta los 25 cm de largo y 20 cm de ancho.

### **Esterilla de bambú.**

Se denomina esterilla a los tableros que se obtienen de la parte intermedia de la caña de bambú, que se abre manualmente formando una superficie plana. Los tableros de esterilla tienen una gran diversidad de aplicaciones en la construcción de vivienda, fabricación de pisos, paredes y techos.

Para hacer esterilla se emplean secciones recién cortadas de 1 a 8 metros de longitud de la parte basal e intermedia de bambúes de 2 y 3 años de edad. Es muy importante que el bambú este recién cortado para que garantice suficiente humedad y sea más flexible a los cortes y aplastamientos. (Aguilar, 2018)



**Figura 3.** *Proceso de fabricación de esterilla. Fuente: Manual para la construcción con Bambú (2020).*

## **2.2 REVISIÓN DE LA LITERATURA Y PATENTES.**

### **Bambú con plásticos.**

Los países donde hay escasez de recursos forestales, la agricultura y los cultivos culturales se han utilizado para el desarrollo y la investigación de compuestos poliméricos. El bambú es uno de los cultivos agrícolas que se puede explorar para el diseño y desarrollo de polímeros compuestos (Abdul Khalil, et al, 2012).



Años recientes se ha ido desarrollando un compuesto plástico de partículas de bambú denominada polvos de bambú compuestos de policaprolactona (BCCP, por sus siglas en ingles), el cual es un tipo de tablero biocompuesto de bambú (polvo de bambú) y un polímero termoplástico como el polipropileno (PP), poliestireno (PS), cloruro de polivinilo (PVC) o polietileno de alta y baja densidad (PEAD/ PEBD), mediante la aplicación de un proceso de moldeo en caliente o prensado (Chaowana y Barbu, 2017).

Estos compuestos han comenzado a remplazar la madera tradicional en términos de interiores y aplicaciones al aire libre. Su fuerza ha sido comparada con la madera tradicional, siendo 10 veces más fuerte. Estos productos logran sobre llevar deficiencias tales como estabilidad dimensional, longevidad, resistencia al clima, al alto impacto, de bajo mantenimiento, no toxico y propagación de llama baja, en comparación de compuestos convencionales y tradicionales de madera (Abdul Khalil, et al, 2012).

Los compuestos de madera/plástico se han concebido como una vía para utilizar plásticos que ingresan al reciclaje para aferrarse a esta corriente. Estos productos iniciales tenían menos que ideales propiedades, pero los refinamientos del procesamiento han empezado a producir una demanda en los mercados de estructuras al aire libre (Bari, et al, 2018).

Este nuevo campo de investigación de compuestos plásticos de biomasa está empezando a explorarse en todo el mundo en diversos aspectos importantes de la vida humana como en decoración, la construcción y el embalaje, debido a que muestran buena resistencia al agua durabilidad, estabilidad dimensional y formaldehido libre de emisión.

Se realizó una búsqueda de investigaciones, estudios y artículos que se hayan desarrollado utilizando la combinación de algún plástico con bambú o madera, además de ver como lograron la unión de los materiales. Se clasificaron de acuerdo al lugar donde se desarrollaron, obteniendo tres categorías Asia, Europa – África – Norte América y América Latina.

Dentro de la primera categoría se encontraron 23 estudios en 6 países (Bangladesh, China, India, Irán, Nepal y Taiwán), China cuenta con la mayoría teniendo 15. Se puede observar que una gran parte de los estudios ocurrieron en la década pasada (2010-2019) y que el tipo de unión más utilizado fue el moldeo ya sea por compresión, extrusión o por compresión. De los materiales que más estudiaron fueron los plásticos PVC, PEAD y PP combinándolo con fibra, polvo o harina de bambú (tabla 2).

**Tabla 2.** Investigaciones hechas en Asia. Fuente: Elaboración propia (2021).

PAÍS	TÍTULO	AUTOR	AÑO	UNIÓN	MATERIAL
Bangladesh	Investigación de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales compuestos de láminas de espuma de PVC y fibra de bambú.	Humayun Kabir, et al.	2014	Moldeo por compresión	PVC + Fibra de bambú
	Un estudio sobre el contenido de humedad del compuesto de HDPE reforzado con fibra de bambú a diferentes temperaturas.	Shaharul Islam, et al.	2019	Prensado con altas temperaturas	PEAD + Fibras de bambú
China	Una especie de sección de madera de plástico en polvo de bambú y método de preparación de la misma.	Cheng Qingmin, et al.	2012	Moldeo por extrusión	PEAD + Polvo de bambú
	Método de preparación de material de polietileno de alta densidad reforzado con polvo de bambú.	Lin Jianjun	2014	Aditivos químicos	PEAD + Polvo de bambú
	Método para preparar partículas de plástico compuesto de fibra	Zhang Guobin, et al.	2010	Moldeo por extrusión	PP + Fibras de bambú



	de bambú y aplicación de producto de las mismas.				
	Novedoso material compuesto de bambú y plástico.	Wang Jikui, et al.	2011	Prensado con altas temperaturas	PP + Polvo de bambú
	Producción de productos de plástico de bambú a partir de residuos de bambú.	Wang Yihua	2013	Moldeo por extrusión	PEAD + Aserrín de bambú
	Una especie de tableros de madera y plástico de PVC de superficie lisa de alta rigidez y método de preparación de los mismos.	Fang Xiao, et al.	2017	Moldeo por extrusión	PVC + Madera
	Caracterización e investigación de las propiedades mecánicas de los compuestos plásticos de bambú.	Yu Xian, et al.	2018	Moldeo por extrusión	PEAD + Fibra de pulpa de bambú
	Compuestos de polietileno de alta densidad rellenos de fibra de bambú efecto del tratamiento de acoplamiento y nanoarcilla.	G. Han, et al.	2008	Moldeo por compresión	PEAD + Fibra de bambú + nanoarcilla
	Morfología, propiedades mecánicas y estabilidad dimensional de partículas de biomasa - compuestos de polietileno de alta densidad efecto de las especies y la composición.	Binshan Mu, et al.	2018	Moldeo por extrusión	PEAD + Biomasa

	Polietileno de alta densidad y compuestos de fibra de bambú tratados térmicamente.	Yanjun Li, et al.	2015	Moldeo por extrusión	PEAD + Fibra de bambú
	Propiedades de absorción de agua de la fibra de bambú tratada térmicamente y los compuestos de polietileno de alta densidad.	Lanxing Du, et al.	2014	Moldeo por extrusión	PEAD + Fibra de bambú
	Propiedades de los compuestos de harina de bambú - polietileno de alta densidad reforzados con polietileno de peso molecular ultra alto.	Yong Guo, et al.	2019	Moldeo por micro inyección	PEAD + Harina de bambú + PP de peso molecular ultra alto
	Propiedades mecánicas y térmicas de los compuestos de polietileno reforzado con fibra de pulpa de bambú.	Wenhan Ren, et al.	2014	Moldeo por extrusión	PEAD + Fibras de pulpa de bambú
	Resistencia al moho y absorción de agua de compuestos de madera HDPE y bambú HDPE.	Jing Feng, et al.	2014	Moldeo por compresión	PEAD + Maderas / bambú
	Respuesta al impacto de compuestos de bambú y plástico con las propiedades del bambú y el cloruro de polivinilo (PVC).	Hui Wang, et al.	2008	Moldeo por compresión	PVC + Aserrín de bambú
India	Compuestos cortos de HDPE reforzados con fibra de bambú influencia del contenido de fibra y modificación en la	Smita Mohanty	2010	Moldeo por inyección	PEAD + Fibra de bambú

	resistencia del compuesto.				
	El efecto de la absorción de agua sobre las propiedades mecánicas de los compuestos híbridos de polipropileno de harina de madera / cáscara de trigo.	Pradeep Upadhyay , et al.	2012	Moldeo por inyección	PP + Harina de madera / cáscara de trigo
Irán	Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de los compuestos de bambú y plástico.	Ehsan Bari, et al.	2019	Moldeo por inyección	Harina de bambú + PEAD / PEBD / PP
	Propiedades mecánicas de compuestos de aserrín y plásticos reciclados.	Saeed Kazemi Najafi, et al.	2005	Prensado con altas temperaturas	Aserrín + PEAD / PP
Nepal	Análisis de los comportamientos morfológicos y mecánicos de los compuestos de polipropileno reforzado con harina de bambú.	Netra L. Bhandari, et al.	2012	Moldeo por compresión	PP + Harina de bambú
Taiwán	Caracterización de compuestos de madera y plástico elaborados con diferentes materiales lignocelulósicos que varían en su morfología, composición química y estabilidad térmica.	Ke-Chang Hung, et al.	2017	Prensado con altas temperaturas	PEAD + Maderas / bambú

En la segunda categoría encontramos un total de 6 estudios en 4 países distintos (Alemania, Canadá, E.U.A. y Nigeria). Tanto E.U.A. y Nigeria lideran con 2 investigaciones cada uno. Aquí 5 estudios se realizaron en la década pasada y el

moldeo con sus variaciones aparecen en toda a lista. Finalmente, la mayoría de materiales empleados fueron PVC, PP y PEAD con bambú (polvo o fibras), solo un caso se combinó un plástico con una mezcla de trigo y arcilla (tabla 3).

**Tabla 3.** Investigaciones hechas en Europa – África - Norteamérica. Fuente: Elaboración propia (2021).

PAÍS	TÍTULO	AUTOR	AÑO	UNIÓN	MATERIAL
Alemania	Utilización de bambú de Malasia para su uso en compuestos termoplásticos.	Shahril Anuar Bahari	2015	Moldeo por compresión	PVC + Polvo de bambú
Canadá	Preparación y caracterización de composites de polipropileno-paja de trigo-arcilla	C. Ravindra Reddy, et al.	2010	Moldeo por inyección	PP + Paja de trigo / arcilla
E.U.A.	Compatibilización y endurecimiento de compuestos de HDPE rellenos de harina de bambú.	H. Liu, et al.	2008	Moldeo por extrusión	PEAD + Harina de bambú
	Compuesto de bambú y polietileno de alta densidad con fibra de bambú tratada térmicamente propiedades de descomposición térmica.	Yanjun Li, et al.	2013	Moldeo por extrusión	PEAD + Bambú
Nigeria	Evaluación de la resistencia, sorción y propiedades térmicas de los compuestos plásticos de bambú.	Olufemi O. Adefian	2019	Moldeo por extrusión	PEAD + Bambú molido
	Rendimiento mecánico y comportamiento de absorción de agua de compuestos de polietileno de alta densidad reforzados con fibra de bambú tratados.	O.O. Daramola, et al.	2019	Moldeo por compresión	PEAD + Fibras de bambú

Para la última categoría se encontraron 5 estudios en 4 países diferentes (Brasil, Chile, Cuba y México), Chile se adelanta al tener 2 investigaciones. Todos los estudios se realizaron igualmente en la década pasada y el método de unión más utilizado fue el prensado con altas temperaturas. De los materiales que fueron objeto de estudio tenemos en plásticos el PEBD, PP, PEAD, PET y PVC combinado con polvo (harina) de bambú, madera o corteza (tabla 4). Algo para mencionar es la investigación realizada en México la cual fue realizada mediante combinación de polipropileno con polvo de bambú utilizando el prensado con altas temperaturas.

**Tabla 4.** Investigaciones hechas en América Latina. Fuente: Elaboración propia (2021).

PAÍS	TÍTULO	AUTOR	AÑO	UNIÓN	MATERIAL
Brasil	El potencial del bambú en el diseño de compuestos poliméricos.	Patricia Santos Delgado, et al.	2012	Prensado con altas temperaturas	PEBD + Harina de bambú + Glicerol
Chile	Efecto de las características de harina de madera en las propiedades físico-mecánicas y térmicas de polipropileno reciclado.	Justo Lisperguer, et al.	2013	Prensado con altas temperaturas	PP + Harina de madera
	Propiedades físicas y mecánicas de compuestos de polietileno reciclado y harinas de corteza y madera de pinus radiata fabricados mediante moldeo por inyección.	Cristian Moya Villablanca, et al.	2012	Moldeo por inyección	Polietileno + harina corteza / madera
Cuba	Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de los tableros de madera plástica producidos en cuba respecto a los tableros convencionales.	Yonny Martínez-López, et al.	2014	Aditivos químicos	Aserrín de madera + PVC / PEAD / PEBD / PET / PP

México	Evaluación de las propiedades físicas de material compuesto elaborado con bambú y polipropileno.	Karen Catherine Lázaro León, et al.	2016	Prensado con altas temperaturas	PP + Polvo de bambú
--------	--	-------------------------------------	------	---------------------------------	---------------------

## 2.3 NORMATIVIDAD.

Se realizó la búsqueda en primera instancia, de normatividad respecto a tableros o paneles de plásticos con bambú, lamentablemente no se encontró normativa respecto a estos dos materiales unidos, por lo cual se hizo una segunda búsqueda igualmente de paneles o tableros, pero de plásticos y/o maderas. En esta nueva búsqueda se logró encontrar normatividad internacional en países como Alemania, Cuba, España, E.U.A., México y Venezuela (tabla 5).

**Tabla 5.** Normatividad internacional sobre paneles y tableros encontrada. Fuente: Elaboración propia (2021).

PAÍS	NORMA	TEMA	AÑO
Alemania	DIN 52362	Ensayo de tableros de partículas de madera; ensayo de flexión, determinación de la resistencia a la flexión.	2004
	DIN 17104	Paneles de revestimiento de paredes de protección rígida termoplásticos para uso interno en edificios - Características de rendimiento.	2021
	DIN 53799	Métodos de ensayo para láminas decorativas laminadas y tableros de fibra para construcción laminados con plástico.	1967
	<b>OBJETIVO</b>		
Estas normas alemanas especifican las características del producto para paneles de revestimiento de paredes protectores rígidos de madera y termoplásticos cuyos propósitos son decorativos y protectores, pero no estructurales.			
Cuba	NC EN 323:2003	Tableros de partículas y tableros de fibras. Determinación de densidad.	2003
	NC EN 322:2003	Tableros de partículas y tableros de fibras. Determinación de humedad.	2003

	NC EN 310:2003	Tableros de partículas y tableros de fibras. Determinación de flexión.	2003
	<b>OBJETIVO</b>		
Estas normas cubanas establecen un método para determinar la densidad, humedad y flexión de los tableros de partículas y de fibras.			
España	UNE-EN 17104	Paneles termoplásticos rígidos de protección para el revestimiento de paredes en el interior de edificios. Características de las prestaciones.	2021
	UNE-CEN/TS 15534-1	Compuestos de madera-plástico (WPC). Parte 1: Métodos de ensayo para la caracterización de los materiales y productos de WPC.	2008
	UNE-CEN/TS 15534-2	Compuestos de madera-plástico (WPC). Parte 2: Caracterización de los materiales de WPC.	2008
	<b>OBJETIVO</b>		
Estas normas españolas técnicas especifican los métodos de ensayo, y sus parámetros importantes y las condiciones de ensayo que utilizan en la determinación de propiedades seleccionadas de los materiales y productos de compuestos de madera-plástico, normalmente llamadas WPC.			
E.U.A.	ASTM E72-05	Métodos de prueba estándar para realizar pruebas de resistencia de paneles para la construcción de edificios.	2010
	ASTM D3043-17	Métodos de prueba estándar para paneles estructurales en flexión	2018
	ASTM D1037-12	Métodos de prueba estándar para evaluar las propiedades de los materiales de paneles de partículas y fibras a base de madera.	2020
	<b>OBJETIVO</b>		
Estos métodos dan las propiedades de flexión, principalmente resistencia y rigidez, de los paneles estructurales. Estas propiedades son de importancia primordial en la mayoría de los usos estructurales de los paneles, ya sea en la construcción de pisos, revestimiento de paredes, cubiertas de techo, etc.			
México	NMX-C-461-ONNCCE-2010	Industria de la construcción - Tableros de partículas de madera - Denominación, clasificación y especificaciones.	2010
	NMX-C-405-ONNCCE-2014	Industria de la construcción - Paneles para uso estructural aplicados en sistemas constructivos - Especificaciones y métodos de prueba.	2014

	<b>OBJETIVO</b>		
	Estas normas mexicanas establecen la denominación, clasificación y especificaciones que reúnen los tableros de partículas de madera y los métodos de ensayo para su uso estructural aplicados en sistemas constructivos.		
Venezuela	COVENIN 3:1-200	Edificaciones. Paneles aligerados y reforzados. Requisitos.	2003
	COVENIN 3:1-201	Edificaciones. Paneles aligerados y reforzados. Diseño constructivo. Requisitos.	2003
	COVENIN 3:1-202	Edificaciones. Paneles aligerados y reforzados. Proceso constructivo. Requisitos.	2003
	<b>OBJETIVO</b>		
Estas normas especifican los materiales, las características dimensionales y los controles requeridos para la fabricación de paneles aligerados y reforzados destinados a la conformación de miembros estructurales tales como muros, pisos y techos de edificaciones, a fin de garantizar la geometría, estabilidad, calidad, resistencia y durabilidad de los paneles.			

De la normatividad encontrada en Alemania tenemos que dos ya se encuentran retiradas sin ningún tipo de reemplazo, mientras que la norma restante menciona que los paneles solo serán de uso decorativo, por lo cual no describe nada de pruebas de resistencia, por lo tanto, esta normatividad no tiene injerencia en la investigación. Por su parte la normatividad cubana solo va encaminada para tableros hechos de madera y no para plásticos o una combinación de estos dos materiales haciendo no aplicable esta normatividad.

La normatividad española cuenta con el mismo problema que la alemana, dos de sus normas se encuentran retiradas sin reemplazos y la norma restante menciona que el material combinado lo denomina WPC (madera-plástico), los materiales deben estar combinados de acuerdo a las técnicas que se validan en la norma, siendo que no se realizó así la investigación, no se puede aplicar la norma.

En lo que respecta a la normatividad de Estados Unidos, las encontradas se encuentran vigentes, pero de igual manera que la normatividad cubana, esta va dirigida a paneles hechos a base de alguna madera sin estar combinada con algún material, por lo tanto, estas normas no se aplican a la investigación. Por último, tanto





la normatividad mexicana como la venezolana pese a estar vigentes cuenta con un pequeño problema, ambas especifican que los paneles deben ser realizados utilizando algún material liviano entre dos capas de mallas de acero o algún tipo de metal, haciendo esto que ninguna de las dos sea aplicable en el estudio.

## 3. METODOLOGÍA APLICADA.

### 3.1 ENFOQUE Y TIPO DE ESTUDIO.

La presente investigación es de carácter exploratorio, ya que no hay suficiente información documental para explicar el objeto de estudio y experimenta. Por lo que, mediante las pruebas a las que someteremos las probetas, se obtuvieron datos para compararlos con variables de los distintos materiales empleados y con esto determinar las causas de los resultados del estudio.

Este mismo estudio también contemplo tres tipos de investigación: documental, se realizó el estado del arte mediante la búsqueda de la información que sirvió de referencia al tema estudiado, analítica, logrando el desglose de los elementos de la mezcla; y cuantitativa, porque se obtuvieron valores de las variables dependientes afectadas por las independientes las cuales se manipularon.

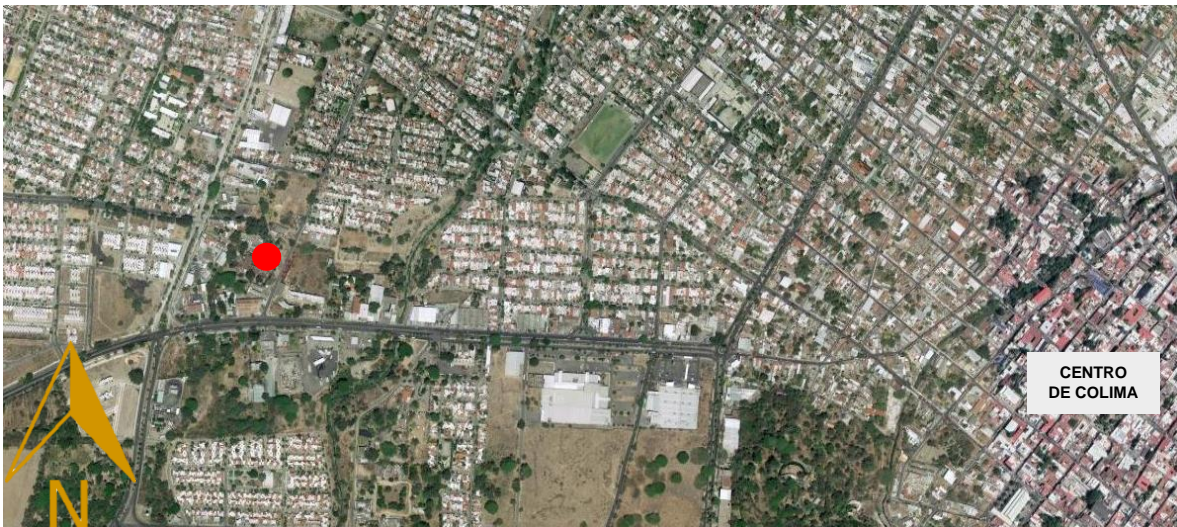
- **Investigación documental:** se hizo una búsqueda de información actualizada de artículos, estudios, patentes y normatividad donde se emplearon materiales más afines a los de este estudio, con esto se pudo obtener una metodología para esta investigación y tener referencias para sustentar el enfoque de este estudio.
- **Investigación analítica:** se lograron caracterizar los materiales empleados en las mezclas para las probetas, observar y analizar que apporto cada uno en las pruebas que se realizaron, haciendo una descripción a detalle de lo que se encontró para poder comparar los resultados y comprender que afectaciones se causaron y hacer válida o no la hipótesis de investigación.
- **Investigación cuantitativa:** ya que cada variable de los materiales empleados se logró integrar a las mezclas determinadas por un diseño experimental, haciendo varias muestras, de las cuales se obtuvieron

resultados cuantificables y que se analizaron para comprenderlos y sacar conclusiones.

### 3.2 ÁREA DE ESTUDIO

Esta investigación tiene como objetivo llegar a la industria de la construcción, enfocada en el análisis e investigación de nuevos materiales y técnicas constructivas, y más específicamente en el área de la arquitectura sostenible.

Para poder realizar las muestras, se tuvieron dos materias primas, el plástico de alta densidad (PEAD) y el bambú. La obtención del PEAD fue mediante un establecimiento que se encarga de la compra y venta de materiales reciclados, y que además cuenta con la maquinaria necesaria para poder triturar el plástico y venderlo en esa forma. Se encuentra ubicado al oeste del centro del municipio de Colima, Colima (figura 4), con coordenadas  $19.25^\circ$  en latitud norte y  $-103.75^\circ$  de longitud oeste.



**Figura 4.** Ubicación centro de reciclaje. Fuente: Google Maps (2021)

En lo que respecta a la obtención del bambú fue gracias a la Dra. Gabriela Orozco, investigadora del INIFAP y su esposo el Ing. Rogelio de Lira, productor y miembro del Consejo Colimense del Bambú. Ambos cuentan con un predio en la comunidad del “El Remudadero” (figura 5), al norte del municipio de Comala, Colima

con coordenadas de  $19.42^\circ$  en latitud norte y  $-103.75^\circ$  de longitud oeste. Ellos cuentan con varios tipos de plantaciones de diferentes especies de bambú y una bodega con bambú ya cortado, sometido al tratamiento de preservación y almacenado. Gracias a esto se obtuvieron y se cortaron a medida solicitada, varias muestras diferentes especies de bambú.



**Figura 5.** Ubicación de la comunidad El Remudadero. Fuente: Google Maps(2021)

### 3.3 CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES UTILIZADOS.

Las variables a considerarse para la creación de los paneles son el polietileno de alta densidad y de esterilla de bambú, esta última será de distintas especies y varios grosores haciendo diversas muestras, por lo tanto, al someterlas a prueba poder observar y analizar cuales presentan mejores resultados. Para poder elaborar las distintas muestras se tuvieron que tener las siguientes consideraciones:

**Polietileno de Alta Densidad (PEAD):** Es un polímero sintético, termoplástico que se obtiene de una reacción conocida con el nombre de polimerización del polietileno elaborado a partir de etano, un componente de gas natural. Es semicristalino (70-80%), incoloro, no tóxico y se puede encontrar en

todas las tonalidades de colores tanto transparentes como opacas. Sus propiedades dependen de su estructura, es decir, básicamente de su peso molecular y cristalinidad. (Roca, 2005)

**Tabla 6.** *Propiedades físicas, mecánicas y químicas del PEAD. Elaboración propia del autor, fuente: Roca (2005).*

Propiedades	Unidades	Valor
Densidad	g/cm <sup>3</sup>	0.941 – 0.965
Absorción de agua	mg a 96 h	< 0.5
Contracción	%	1.5 – 3
Resistencia a la tensión al cede	N/mm <sup>2</sup>	18 – 35
Elongación al punto de ruptura	%	1000
Resistencia al impacto		
A 20 C	KJ/m	No rompe – 6
A -20 C	KJ/m	>5
Temperatura de defeción		
1.86 N/mm <sup>2</sup>	°C	50
0.45 N/mm <sup>2</sup>	°C	75
Resistencia Dieléctrica	KV/cm	>600
Coeficiente de fricción		0.29
Dureza		D60 – 73 – Shore
Módulo de tracción	(GPa)	0.5 – 1.2
Resistencia a la tracción	(MPa)	15 – 40
Resistencia al impacto	(Jm <sup>-1</sup> )	20 - 210
Ácidos concentrados/ diluidos		Buena
Alcoholes		Buena
Cetonas		Buena
Grasas y aceites		Aceptable

Al ser un material presente en objetos de uso cotidiano como cubetas, botes, rejas, etc., por lo tanto, se tiene fácil acceso a él. El inconveniente que se presenta

es que para poder triturarlo es necesario de una gran fuerza mecánica como lo es una máquina para triturar, por lo cual encontrarlo en este estado es más sencillo en un centro de reciclado que cuente con la maquinaria.

En lo que respecta al bambú o la esterilla de bambú, Colima al ser un estado que cuenta con especies nativas e introducidas, se convierte en un banco de material abundante de fácil acceso. Tras estudios realizados por la CONAFOR, se determinó que sus 10 municipios son aptos para la producción de bambú, durante el año 2018 en el estado existían más de 80 hectáreas de plantación de bambú con varias otras áreas con potencial para cultivo. Los esfuerzos de los productores y miembros del Bambucol por implementar el uso de bambú en el estado han ido creciendo poco a poco, por lo cual esta investigación contribuye en el desarrollo de esta materia prima. Para la investigación se optó por utilizar cuatro especies de bambú: *Guadua Angustifolia*, *Guadua Aculeata*, *Otatea Acuminata* y *Bambusa Oldhamii*.

**Tabla 7.** *Propiedades físicas, mecánicas del bambú establecidos. Elaboración propia del autor, fuente: Jansen (1980).*

Propiedades	Valor (kg/cm <sup>2</sup> )
Resistencia de diseño	102
Masa por volumen	600
Relación de resistencia	0.170
Módulo de elasticidad	203000
Relación de rigidez	340
Tensión de rotura	1400
Densidad	800
Relación resistencia-peso	1.75
Resistencia a la compresión	825
Resistencia a flexión	856
Resistencia a tensión	2038 – 3058

Pese a que en la tabla anterior se muestran algunas de las propiedades medidas y aceptados por la comunidad, son solamente valores generales establecidos y cabe aclarar que debido a que existen diferentes especies de bambú, algunas todavía están bajo estudio con el objeto de obtener valores de ciertas propiedades.

### 3.4 DISEÑO DE LA MUESTRA.

El diseño experimental aplicado en este estudio fue el llamado “Diseño de bloques completamente aleatorizados” o RCBD (randomized complete block design) por sus siglas en inglés (Moontgomery, 2004). El objetivo de este tipo de experimento es tener comparaciones precisas entre los tratamientos bajo estudio, por lo tanto, se supone que las unidades experimentales son relativamente homogéneas con respecto a factores que afectan a la variable de respuesta. En este caso podemos indicar que cada **unidad experimental** (paneles) contienen todos los **tratamientos** (diferentes especies de bambú con el plástico de alta densidad), determinadas por un principal **factor** (medida de la esterilla de bambú).

**Tabla 8.** Elementos que intervienen en el diseño experimental. Elaboración propia del autor (2021).

<b>Factor</b>	Medida de la esterilla
<b>Tratamiento</b>	Tipo de bambú con PEAD
<b>Unidad Experimental</b>	Paneles

Una vez determinados los elementos implicados en el experimento, fue necesario establecer los valores o medidas para cada uno, es decir en el factor que medidas de esterilla de bambú se van a utilizar, para el tratamiento cuales especies de bambú son las implicadas y para la unidad experimental que tipo de panel que será realizado (tablas 6 y 7).

Al final en lo que respecta al tamaño de la esterilla de bambú, se optó por utilizar tres medidas: 1 x 1 cm, 1 x 0.5 cm y 0.5 x 0.5 cm. Las especies de bambú a emplear fueron las cuatro mencionadas anteriormente: Guadua Angustifolia,

Guadua Aculeata, Otatea Acuminata y Bambusa Oldhamii. Y, por último, se determinó hacer dos tipos de paneles, uno donde la solamente va una tira de esterilla de bambú y otra donde van dos tiras, pero en sentidos diferentes no encima una de otra.

**Tabla 9.** *Diseño experimental para paneles sencillos. Elaboración propia del autor (2021).*

Concepto de prueba	Factor Tamaño	Tratamiento				
		Angustifolia	Aculeata	Otatea	Oldhamii	PEAD
Resistencia Mecánica	1x1 cm (I)	AGI	ACI	OTI	OHI	PL
	1x0.5 cm (II)	AGII	ACII	OTII	OHII	
	0.5x0.5 cm (III)	AGIII	ACIII	OTIII	OHIII	
Absorción / Retención Humedad	1x1 cm (I)	AGI-E	ACI-E	OTI-E	OHI-E	PL-E
	1x0.5 cm (II)	AGII-E	ACII-E	OTII-E	OHII-E	
	0.5x0.5 cm (III)	AGIII-E	ACIII-E	OTIII-E	OHIII-E	

**Tabla 10.** *Diseño experimental para paneles dobles. Elaboración propia del autor (2021).*

Concepto de prueba	Factor Tamaño	Tratamiento				
		Angustifolia	Aculeata	Otatea	Oldhamii	PEAD
Resistencia Mecánica	1x1 cm (2-I)	AG2I	AC2I	OT2I	OH2I	PL2
	1x0.5 cm (2-II)	AG2II	AC2II	OT2II	OH2II	
	0.5x0.5 cm (2-III)	AG2III	AC2III	OT2III	OH2III	
Absorción / Retención Humedad	1x1 cm (2-I)	AG2I-E	AC2I-E	OT2I-E	OH2I-E	PL2-E
	1x0.5 cm (2-II)	AG2II-E	AC2II-E	OT2II-E	OH2II-E	
	0.5x0.5 cm (2-III)	AG2III-E	AC2III-E	OT2III-E	OH2III-E	

### 3.5 POBLACIÓN Y MUESTRA.

Realizado el diseño de las muestras se puede observar que existen 4 tratamientos distintos que son las cuatro especies de bambú con el PEAD, estos a su vez tienen 3 distintas medidas de la esterilla y además de la existencia de un panel hecho de puro plástico el cual será el testigo, por lo tanto, existen un total de





13 combinaciones distintas; pero al existir dos tipos de paneles será necesario replicar las 13 combinaciones haciendo un total de 26 combinaciones. Sin embargo, para la prueba de resistencia mecánica se tienen contempladas tipos de medición diferentes, por lo cual es requerido replicar las combinaciones haciendo un total de 52 unidades experimentales. Por último, para tener una medición válida y de confiabilidad fue necesario dividir cada una de las unidades experimentales en 3, obteniendo al final un total de 156 probetas.

### 3.6 MATERIAL, HERRAMIENTA Y EQUIPO.

Para poder llevar a cabo el desarrollo de la investigación fue necesario el uso de materiales y el apoyo de herramientas y equipos para poder realizar las diversas etapas del proceso metodológico, algunas de las cuales fueron utilizadas fueron las siguientes:

- Perfil de aluminio de 20 mm de espesor para elaboración de molde.
- Perfil de aluminio de 13 mm de espesor para elaboración de molde.
- Segueta para realizar el corte del perfil de aluminio.
- Báscula digital para medir pesos de materiales y paneles.
- Vaso medidor con el que se tomaba el material.
- Guantes para proteger las manos de las altas temperaturas.
- Malla electrosoldada de 4.5 mm para cernir el plástico.
- Espátula flexible de acero para separar los paneles de las placas calientes.
- Termómetro digital para la medición de temperaturas de la prensa.



Para la prueba de absorción y retención de humedad fueron necesarios los siguientes equipos:

- Báscula digital para medir los paneles antes y después de la saturación de humedad.
- Pileta de granito con la capacidad necesaria para poder sumergir por completo todos los paneles.
- Mueble expositor de aluminio para colocar los paneles, con buena ventilación, alejado de cualquier contacto con alguna superficie y con suficiente espacio para evitar que los escurrimientos afecten a otros paneles.

Para realizar el ensayo de resistencia mecánica fue necesario el uso de más herramientas, además de un equipo más especializado el cual se menciona a continuación:

- Prensa universal ubicada en el laboratorio ingeniería mecatrónica, en las instalaciones del Instituto Nacional de México, campus Colima.
- Sierra cortadora de disco para realizar el corte de los paneles y formar las probetas que se someterán a la prueba.
- Barra cilíndrica de acero de alta resistencia de 20 cm de alto y diámetro de 1 pulgada como plato superior para utilizarse en la prueba de resistencia mecánica.
- Pequeñas tablas de 10 x 5 cm x 1 pulgada de alto, como base de apoyo para las probetas en la prueba de resistencia mecánica.
- Prensa tipo C de 3 pulgadas para sujetar las probetas con las tablas en la prueba de resistencia mecánica.

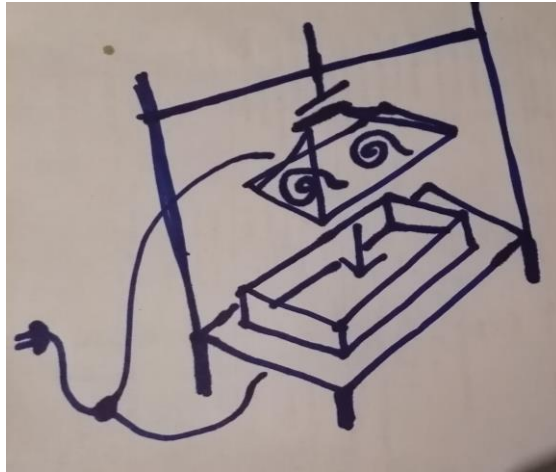
- Cámara de fotografías y video para monitorear el comportamiento de las probetas durante los ensayos de resistencia mecánica.

### 3.7 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.

Para esta investigación se expone de manera detallada las técnicas (instrucciones y recomendaciones a seguir) para la recolección de datos necesarios si se quiere replicar los modelos, paneles o probetas; la metodología fue propuesta en base a fuentes de investigación consultadas y también a las observaciones vistas durante el desarrollo del estudio. De igual manera se enuncian y detallan los recursos que fueron útiles para recoger o almacenar la información (fichas técnicas) y sirvieron como instrumentos de recolección de datos.

#### 3.7.1. MÁQUINA DE TERMO FUSIÓN PARA ELABORACIÓN DE PROBETAS.

La máquina que sirvió para elaborar los paneles, surge por la necesidad de no tener a disposición algo que se asemeje. De esta manera se fue pensando y haciendo algunos bocetos de diseño, analizando como podría llevarse a cabo y teóricamente cuál sería su funcionamiento. Finalmente se optó por un diseño que consiste básicamente en tener una estructura de acero, la base sería una lámina metálica donde estaría soldado el molde en forma de prisma rectangular para realizar los paneles, a su vez la tapa del molde en forma de pirámide rectangular truncada, hecha de acero se podría quitar y poner y también tendría una lámina de metal. Ambas partes tendrían en sus láminas 2 resistencias eléctricas en espiral, estas al estar conectadas a la electricidad, dotarían de calor a las placas e irían calentado el interior del molde. Por último, para ir haciendo presión de la tapa sobre la base, de la misma estructura de la maquina en la parte superior se pondría en medio un tubular con un tornillo que al ir girándolo hacia abajo, ejercería presión sobre la tapa (Figura 6).



**Figura 6.** Boceto final de la máquina. Fuente: Propia del autor (2021).

Teniendo una idea clara del equipo, se acudió con un herrero para hablar y ver como empezar a construir la máquina, también con su experiencia nos hizo comentarios sobre que podría funcionar o que materiales utilizar, los cuales todo lo necesario él se encargó de conseguir. Empezó por hacer la base, los soportes consistían en 4 perfiles o ángulos de hierro de 1 pulgada de 47 cm de largo, estos fueron unidos por soldadura con otros perfiles similares, 2 de 24.5 cm y los otros 2 de 52.5 cm de largo. Después se haría el apoyo rectangular de 20 x 40 cm, donde se colocan y quedan soldadas las resistencias de la base, esta fue hecha también de ángulos de 1 pulgada y tendría que quedar perfectamente centrada de la base (figura 7).



**Figura 7.** Base de la maquina hecha de ángulos de hierro. Fuente: Propia del autor (2021).

Una vez hecha la estructura de la base se procedió a realizar la tapa. Al tener una forma de pirámide rectangular truncada empezó con la parte baja haciendo el rectángulo de 20 x 40 cm de soleras de acero de 1 pulgada, una de ellas pasaría por el centro la figura para brindar soporte; en cada vértice del rectángulo y del centro del lado largo, se soldaron pequeños tubulares cuadrados de  $\frac{1}{2}$  pulgada inclinados que llegarían a un tubular de 1  $\frac{1}{2}$  pulgada con una solera encima soldada de 1 pulgada, esto último serviría como agarradera y el punto donde se haría la presión y distribución de la carga sobre la tapa. Después se pondría una lámina de acero inoxidable de 20 x 40 cm, esta iría en la parte baja de la tapa ya que es la tendrá contacto directo con los materiales y transmitirá el calor. Por último, se colocarían las dos resistencias al interior de la estructura (figura 8), algo que se considero es que estas no debían tener contacto directo con la lámina de acero, ya que al hacerlas funcionar podría causar un corto circuito, por lo cual los apoyos en forma de “Y” donde venían las resistencias fueron los que unieron a una solera colocada posteriormente que pasa por encima de estas.



**Figura 8.** Tapa del molde con las resistencias presentadas. Fuente: Propia del autor (2021).

Lo siguiente en empezar a realizar fue el molde que iría en la lámina de acero que va en la base. Para los costados del molde se cortó en diagonal un perfil tubular de 3 x 1  $\frac{1}{2}$  pulgadas, haciendo 2 piezas de 40 cm y otras 2 de 20 cm. También se cortaron pequeños segmentos de ángulo de acero que iban a ser soldados alrededor del molde, esto con la intención de dar soporte a los perfiles cortados cuando se hicieran los paneles ya que la presión que ejercería la tapa no hiciera

que los doblara (figura 9). Al final en lugar de colocar estos ángulos, se cortaron piezas de lámina en forma de triángulo rectángulo, de esta manera y con esta forma se tiene mejor apoyo para evitar el doblez del molde (figura 10).



**Figura 9.** Molde presentado en la lámina de la base. Fuente: Propia del autor (2021).



**Figura 10.** Piezas colocadas como apoyo alrededor del molde. Fuente: Propia del autor (2021).

Enseguida se pasó a colocar y soldar la otra lámina de acero a la base de la máquina, una vez hecho esto llegó el momento de poner las otras resistencias en este lugar, se hizo lo mismo que en la tapa, cuidar que las resistencias quedaran centradas y no hicieran contacto con la lámina, colocando en este caso, debajo de ellas una solera para soldar los apoyos “Y” (figura 11).



**Figura 11.** Resistencias colocadas en la base de la máquina. Fuente: Propia del autor (2021).

Una vez hecho lo anterior, se pasó colocar el tornillo que hará presión y su apoyo. Para esto primero se colocó en la parte superior en el lado largo dos tramos de 52.5 cm de ángulo de 1 pulgada, soldados en los apoyos de la máquina. Teniendo esto ya macizado, ahora se puso justo en medio de la maquina un tubular de 2 x 1 pulgada de 29.5 cm de largo, previamente a la mitad del tubular se hizo una perforación y se adaptó para que pudiera pasar y dar vuelta un tornillo de una prensa nodular. Soldado todo esto se colocó el tornillo de 21 cm de largo, este se acondiciono de la parte de abajo soldando una placa de 20 cm que se empataría con la agarradera de la tapa, haciendo que la presión fuera uniforme y bien distribuida (figura 11). Otra acción que se hizo fue en el molde, se decidió que la mitad de este quedara soldado a la lámina y el otro quedara atornillado, para si poder desembrar y sacar los paneles más fáciles, al final una “L” del molde fue soldada y en la otra parte se hizo la perforación para los tornillos (figura 12).



**Figura 12.** *Tornillo colocado en la parte superior de la máquina, en la parte inferior, la mitad del molde soldado. Fuente: Propia del autor (2021).*

Con esto prácticamente la máquina ya estaba construida, solo se hizo el chequeo del buen funcionamiento tanto del tornillo, como del ensamble del molde y la tapa (figura 13), además de hacer detalles estéticos como pintar toda la máquina, una vez hecho esto ahora seguía la tarea de dotar de electricidad a las resistencias.



**Figura 13.** Máquina terminada sin pintar. Fuente: Propia del autor (2021).

Para hacer funcionar la máquina con electricidad se requirió a ayuda de personal especializado, en este caso sería el Ingeniero en Mecatrónica Ángel Primitivo Véjar Cortés. Primero se hizo una pequeña reunión donde se le explico del porqué se realizó la maquina y cómo se requería que funcionara. El hizo algunos bocetos de cómo podría crear el circuito para hacerla funcionar para finalmente pedir algunos materiales. Estos serían:

- 2 clavijas macho 110 v.
- 1 hembra de 110 v.
- 1 switch eléctrico de 15 amperes.
- Capuchones.
- Cinta aislante.
- Cable calibre 10 AWG.
- Cable calibre 14 AWG de un polo.
- 2 termostatos bimetálico de 15 amperes.
- 4 terminales con capucha.
- 8 terminales de anillo calibre 14.
- Base para instalar los termostatos



Una vez dado el material el ingeniero se puso a trabajar en el funcionamiento, el cual básicamente consiste en que cada par de resistencias serán controladas por los termostatos, además de que la tapa se puede desconectar de la línea principal de corriente para poder moverla sin problema (figura 14).



**Figura 14.** Máquina conectada a corriente eléctrica funcionando. Fuente: Propia del autor (2021).

Finalmente, ya funcionado con electricidad la máquina, se empezaron a realizar pequeñas pruebas con la intención de ver y conocer su comportamiento y ver si a que temperaturas empezaba a derretir el plástico y el tiempo que se tardaba (figura 15), también otras pruebas hicieron fueron realizar la unión del plástico con esterilla de bambú, también checando temperaturas y tiempo que tardaba en realizar esta acción (figura 16).



**Figura 15.** Plástico siendo derretido por la máquina. Fuente: Propia del autor (2021).



**Figura 16.** Una de las primeras pruebas hechas con bambú y plástico. Fuente: Propia del autor (2021).

### 3.7.2. LAS PROBETAS

Antes de iniciar con la fabricación de las probetas se observó que el PEAD, pese a venir triturado, contaba con piezas de gran tamaño, por lo cual con la malla electrosoldada se empezó a cernir para tener plástico de un tamaño más reducido (figura 17) haciendo estos más rápidos y fáciles de derretir con el calor.



**Figura 17.** Lado izquierdo PEAD cernido, lado derecho PEAD como se obtuvo. Fuente: Propia del autor (2021).

Otro aspecto que también se consideró antes de realizar los paneles fue el factor de abundamiento del PEAD. En este caso se realizó una prueba muy sencilla, que consiste en tomar el vaso medidor y llenarlo de PEAD hasta el tope (figura 18), después echarle agua igualmente hasta el tope tratando de no derramar el plástico. Una vez hecho esto hay que verter el agua a otro recipiente y observar cuanto es la medida (figura 19).



**Figura 18.** Vaso medidor hasta el tope de PEAD. Fuente: Propia del autor (2021).



**Figura 19.** Agua vertida en otro recipiente, obtenida de la prueba. Fuente: Propia del autor (2021).

En este caso se utilizó un vaso de 1 litro y se obtuvo 450 mililitros de líquido (figura 20) y el resto de 550 de PEAD. Entonces para poder tener un litro de puro plástico harán faltan 450 mililitros, para conocer cuanto equivale ese valor dentro del 550 que es el puro PEAD y el valor entero, se hace la división de  $450/550$  dando el resultado de 0.81. Por lo tanto, 550 siendo el valor entero es decir 1, se pronuncia que en un litro de plástico se suman los 550 igual a “1” más los 450 mililitros de líquido que equivalen a “0.81”, con esto se obtiene el factor de abundamiento del PEAD en un litro, es decir “1.81”.



**Figura 20.** Agua obtenida de la prueba en el vaso medidor. Fuente: Propia del autor (2021).

Otro aspecto que se cambió fue el tamaño de los paneles, originalmente se realizarían del tamaño del molde de la máquina (40 x 20 cm), pero para someterlos a la prueba de compresión era mejor de un tamaño más reducido y manejable, por lo cual su tamaño cambió a 16 x 16 cm tanto en paneles sencillos como en dobles. La altura sería lo que diferencia uno de otro, ya que los paneles sencillos tendrían 1.3 cm de alto, mientras que los dobles sería 2 cm. Una vez hecho esto se realizaron los nuevos moldes para los paneles, utilizando los perfiles de aluminio de 20 y 13 mm, se fueron recortando y doblando hasta crear los moldes (figura 21).



**Figura 21.** Moldes utilizados para los paneles, a la izquierda para los sencillos y derecha los dobles. Fuente: Propia del autor (2021).

Una cuestión más que faltaba por saber, era cuanto plástico se llevaría cada panel, esto se pudo conocer gracias al factor de abundamiento del PEAD y el volumen que tiene cada panel. El volumen de los paneles sencillos (16 x 16 x 1.3 cm) era 332.80 cm<sup>3</sup> y el de los dobles (16 x 16 x 2 cm) era 512 cm<sup>3</sup>, estos valores de volumen se multiplican por el factor de abundamiento y así se conoce el PEAD que requiere cada uno. Entonces en los paneles sencillos 332.80 x 1.81 igual a 602.36 cm<sup>3</sup>, los paneles dobles es 512 x 1.81 es igual a 926.72 cm<sup>3</sup>. Esto se convirtió a litros porque con el vaso medidor se tomaría el plástico, entonces los 602.36 cm<sup>3</sup> se puede redondear a 602 ml e igualmente los 926.72 cm<sup>3</sup> se puede redondear a 927 ml. Para facilitar la obtención de estos datos, se utilizó una hoja de cálculo (figura 22), la información que se requiere es proporcionada en las celdas amarillas mismas que se interrelacionan matemáticamente obteniendo el volumen neto de bambú y del tablero, de esta manera se obtuvo más rápidamente cuanto plástico se requiere para su fabricación, para esto es necesario restar el volumen neto del bambú al volumen del tablero, teniendo este nuevo valor del volumen se multiplica por el factor de abundamiento y se obtiene el volumen neto del plástico que se requiere para realizar la probeta.

Vaso Medidor						
ml de contenido	1000					
ml necesitados	450					
ml restantes	550					
Abundamiento	0.82	%	Factor de abundamiento directo		1.82	
Esterilla Sencilla	Ancho 0.5 cm	x	Alto 0.5 cm			
Largo del tablero	16 cm	Ancho del tablero	16 cm	Número de esteras	10	
Perímetro a cubrir	3.5 cm	Longitud estera	14 cm	Separación de esteras	1 cm	
Superficie del tablero	256 cm <sup>2</sup>	Altura del tablero	1.3 cm			
Volumen de bambú	35.00 CM <sup>3</sup>	Volumen del tablero	332.8 CM <sup>3</sup>	Plástico requerido	541.45 cm <sup>3</sup>	

**Figura 22.** Cálculo hecho para un tablero sencillo de esterilla de bambú de 0.5 x 0.5 cm. Fuente: Propia del autor (2021).

En lo que respecta al bambú, fue cortado a 14 cm de largo, esto para evitar que no quedara justo a la medida de los moldes y pudiera quedar expuesto sin plástico que lo rodeara. También para un orden y mejor control se agruparon de acuerdo a su especie y su tamaño (figura 23).



**Figura 23.** Bolsas con bambú cortado, en orden de acuerdo a su especie y tamaño. Fuente: Propia del autor (2021).

Teniendo cernido el plástico y organizado el bambú se procede a realizar los paneles, el procedimiento sería el siguiente:

- Primero se coloca el molde en la lámina de la base de la máquina, este debe de quedar centrado a las resistencias tanto de la base como de la tapa (figura 24) para que el calor se pueda transmitir por todo el molde y derretir el PEAD fácilmente.



**Figura 24.** Molde posicionado en la máquina. Fuente: Propia del autor (2021).

- Lo siguiente sería poner dentro del molde el PEAD, por lo cual se pone una primera capa de plástico, algo observado en las pruebas preliminares y por lo cual se sugiere, es poner un poco más de la mitad del plástico a utilizar en esta primera capa, ya que, si ponemos justo la mitad y después la esterilla, esta con el empuje de la tapa y el plástico en un estado fluido por el calor, puede moverse hasta el fondo del molde quedando expuesta sin plástico que la proteja.
- Teniendo la primera capa de PEAD, se pasa a colocar la esterilla de bambú (figura 25), aquí se debe tener en cuenta la separación entre esteras, por lo cual es recomendable estar midiendo.



**Figura 25.** Esterilla colocada dentro del molde. Fuente: Propia del autor (2021).

- Lo siguiente es colocar el resto de PEAD en el molde, haciendo esto se procede a colocar la tapa de la máquina sobre el molde y después hacer presión bajando el tornillo hasta el punto donde no pueda girar (figura 26).



**Figura 26.** Máquina preparada para su uso. Fuente: Propia del autor (2021).

- Seguido de esto se conecta la máquina a la corriente eléctrica y se giran los termostatos para encender las resistencias. Una vez encendidas con el termómetro digital se va checando la temperatura de las resistencias y de las láminas, entre 350° y 360° centígrados fue el rango de temperatura que se estuvieron haciendo los paneles. Algo a considerar es que con el paso de los

minutos el plástico al irse fundiendo va tomando la forma del molde, por lo cual también será necesario ir checando y bajando el tornillo poco a poco, llegando el momento en que la tapa quede a ras del molde.

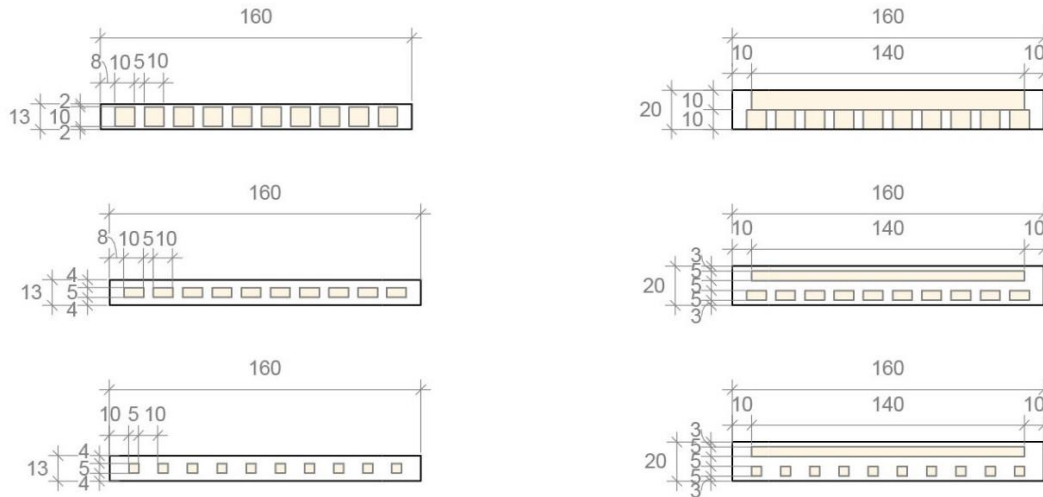
- El tiempo aproximado de la elaboración de los moldes fue de 15 a 18 minutos para los sencillos y de 20 a 25 minutos para los dobles. Una vez pasado este tiempo se dejaba enfriar la máquina de 20 a 25 minutos.
- Pasando el tiempo de enfriado, se vuelve encender la máquina unos 2 o 3 minutos, esto es para que el PEAD del panel se caliente un poco y se pueda desprender una manera más fácil sin requerir mucho esfuerzo.
- Para poder sacar el panel, primero se sube el tornillo que está ejerciendo la presión sobre la tapa, teniendo la lámina de la base ya calentada, con ayuda de la espátula y los guantes se va haciendo fuerza para poder separar el panel; una vez separado de la base toca calentar la tapa y hacer lo mismo con la espátula. Habiendo separado el panel de la tapa queda sacarlo del molde y checar que no cuente con imperfecciones (figura 27).



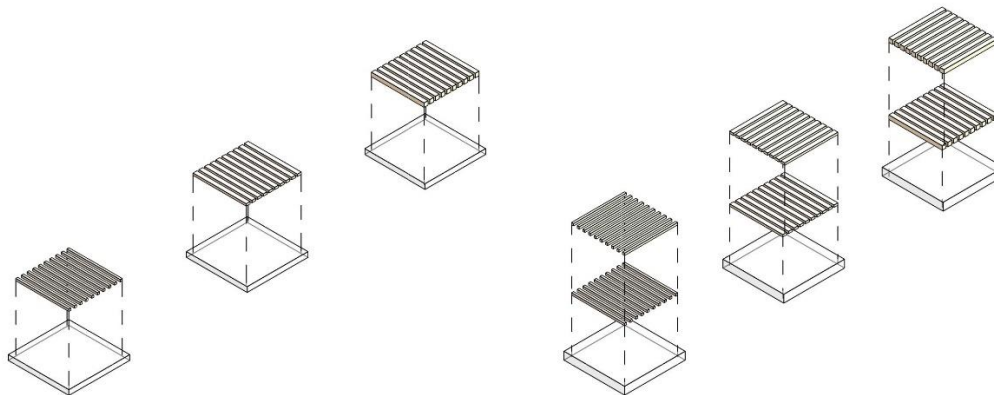
**Figura 27.** Panel recién desmoldado. Fuente: Propia del autor (2021).



- Teniendo hechos todos los paneles es importante irlos marcando, para saber de cuál especie de bambú y grosor de esterilla fue hecho y que los datos que se obtengan poderlos asociar a los tratamientos y factores correspondientes.



**Figura 28.** Secciones de los paneles, izquierda sencillos y derecha dobles. Fuente: Propia del autor (2021).



**Figura 29.** Despiece de paneles, izquierda sencillos y derecha dobles. Fuente: Propia del autor (2021).

### 3.7.3. PRUEBAS DE LABORATORIO.

#### Prueba de absorción de humedad.

Para poder llevar a cabo este tipo de prueba con todos los paneles fue necesario lo siguiente:

- Se hizo el secado completo de los paneles, esto fue dejándolo a exposición directa al sol durante 24 horas por lo menos, esto para que cualquier cantidad de humedad al interior desapareciera y no afectada a la prueba.
- Una vez hecho el secado de los paneles, estos se pesaron para tener el registro de su peso en seco.
- Se preparó una pileta de granito, llenándola de agua; gracias a sus medidas pudieron acomodarse todos los paneles dentro de ella y estar completamente sumergidos (figura 30).



**Figura 30.** Paneles acomodados dentro de la pileta con agua. Fuente: Propia del autor (2021).

- Se hidrataron todos los paneles estando inmersos completamente en agua por un lapso de 24 horas, un inconveniente fue que los paneles al estar hechos de plástico inevitablemente iban a flotar, por lo cual se debió de colocar sobre ellos peso para que estuvieran completamente sumergidos (figura 31).



**Figura 31.** *Peso colocado encima a los paneles para evitar que flotarían. Fuente: Propia del autor (2021).*

- Pasando el lapso de tiempo establecido, se sacaron los paneles y se pesaron, con esto se obtuvieron los datos y se realizó la comparativa entre el peso seco y el hidratado, obteniendo así el valor de capacidad de absorción de humedad.
- Finalizando el pesado de los paneles, inmediatamente se pasó a realizar la prueba de retención de humedad.

### **Prueba de retención de humedad.**

Para esta prueba dado que no se encontró información al respecto, se tuvo que diseñar en función de lapsos de tiempo que se establecieron personalmente, lo cual se fijó medir que, al hacer una medida, la siguiente tendría que ser en el doble de tiempo, el proceso fue el siguiente:

- Se comenzó el proceso de secado de los paneles con exposición directa al sol.

- Se utilizó una base de aluminio, garantizando la ventilación de todas las caras y además de cuidar que al estar destilando agua un panel, esta no le cayera a otro y afectara con las mediciones. En medio de la base se taponeó para que el agua no siguiera cayendo a la otra mitad de los paneles (figura 32).



**Figura 32.** Base de aluminio con los paneles colocados. Fuente: Propia del autor (2021).

- Se tomó el peso de los paneles en intervalo de tiempo establecido de 32 horas después estar sumergido en líquido, las mediciones se hacían el doble de tiempo cada que se tomaba una por lo cual quedaron de esta manera:
  - 4 horas, primera medición
  - 8 horas
  - 16 horas
  - 32 horas, última medición
- En cada lapso fue tomado el peso de los paneles para posteriormente poder realizar el análisis y la comparativa.

### Prueba de resistencia mecánica.

Para lograr esta prueba al no existir literatura, se hizo de acuerdo ejemplos similares, lo pasos para poder replicarla con la mayor precisión posible se mencionan a continuación:

- Los paneles deberán estar completamente secos, dejándolos en exposición directa al sol algunos días.
- Para tener resultados válidos y confiables, será necesario cortar en 3 piezas cada panel (figura 33), con esto, se tienen 3 probetas por unidad experimental que serán sometidas a prueba, para posteriormente obtener un promedio de los datos obtenidos y no solamente un dato que se obtendría si solamente el panel se somete a prueba.



**Figura 33.** *Probetas OT21-E recién cortadas. Fuente: Propia del autor (2021).*

- Se requirió marcar cada nueva probeta de acuerdo a la nomenclatura asignada a cada tratamiento, para llevar el control y no equivocarse al realizar la base de datos.

La máquina de pruebas universal utilizada para la realización de este ensayo se describen sus características a continuación:

- Prensa universal University testing Machine, marca SHIMADZU Corporation, modelo UH-500 kNI, número de serie I21054500193, capacidades de 500,

250, 100, 50 y 25 kN, hecha en Japón. Las especificaciones en cuanto al hardware, estas se encuentran dentro del manual de usuario, se toma como referencia los modelos UH-X 500 kN (tabla 8), el cual fue utilizado para las pruebas de esta investigación.

**Tabla 11.** Capacidades de medición de la máquina. Nota: En rojo se señala las características del equipo empleado. Fuente: SHIMADZU (2008).

Tipo y nombre del marco de prueba	UH-X 200 kN	UH-X 300 kN	UH-FX 300 kN	UH-X 500 kN	UH-FX 500 kN	UH-X 600 kN
Capacidad de carga del marco de prueba	Máx.200 kN (44.000 libras)	Máx. 300 kN (67.000 libras)	Máx. 300 kN (67.000 libras)	Máximo 500 kN (112.000 libras)	Máximo 500 kN (112.000 libras)	Max 600 kN (134.000 lbs)
Max. Alcance de agarre	800 mm (31 pulgadas)			900 mm (35 pulgadas)		
Max. Tramo de placa de compresión	720 mm (28 pulgadas)			800 mm (31 pulgadas)		
Rango de velocidad del ariete	0,1 a 100 mm / min (0,004 a 3,9 pulg / min)			0,1 a 80 mm / min (0,004 a 3 pulg / min)		
Carrera de carnero	200 mm (7,8 pulgadas)			250 mm (9,8 pulgadas)		
Dimensión efectiva de la mesa	500 x 500 mm (19 x 19 pulgadas)			650 x 650 mm (25 x 25 pulgadas)		
Dimensiones del bastidor de prueba de altura estándar	W780 x D500 x H2000 (W31 x D20 x H91 pulgadas)	W870 x D520 x H2300 (W35 x D21 x H91 pulgadas)	W960 x D650 x H2400 (W38 x D26 x H95 pulgadas)	W1060 x D700 x H2400 (W38 x D26 x H95 pulgadas)	W1060 x D700 x H2400 (W38 x D26 x H95 pulgadas)	W960 x D650 x H2400 (W38 x D26 x H95 pulgadas)
Peso para el marco de prueba de altura estándar	Aproximadamente 900 kg (1.985 libras)	Aproximadamente 1.500 kg (3.306 libras)	Aproximadamente 1.700 kg (3.748 libras)	Aproximadamente 2.600 kg (5.732 libras)	Aproximadamente 2.600 kg (5.732 libras)	Aproximadamente 1.700 kg (3.748 libras)

- Antes de realizar los ensayos con las probetas, se debió de calibrar la prensa universal, esto se hizo por personal técnico especializado que maneja la máquina, con esto se asegura que los datos que se obtienen de cada prueba sean lo correctos.
- Para la realización de los ensayos, las probetas se colocaron encima de dos rieles de acero, midiendo que cada lado de apoyo fuera de 2 cm. Todo esto debía estar centrado a la prensa esto para que cuando se hiciera presión con

la barra cilíndrica de acero cayera exactamente al centro de la probeta, observando la deformación y que los datos obtenidos fueran los correctos.

- Se realizaron dos tipos de ensayos, el primero las probetas se sometían a resistencia mecánica simplemente apoyadas puestas sobre dos rieles de acero (figura 34).



**Figura 34.** Probeta AGI-E siendo ensayada. Fuente: Propia del autor (2021).

- En el segundo tipo, las probetas se sometieron a resistencia mecánica, pero con la diferencia que en los extremos estaríamos simulando el empotramiento a tablas sujetadas con las prensas tipo C a los rieles de acero (figura 35).



**Figura 35.** Probeta AGI siendo ensayada. Fuente: Propia del autor (2021).

- A medida que se iban realizando las pruebas, se fueron registrando los datos obtenidos en un ordenador conectado a la prensa universal, al final mediante un USB se podían guardar para pasarlos a otro equipo.
- Una vez sometidas las 156 probetas a prueba y obtener los datos, estos se pasan a un software de cálculo para procesarlos y compararlos para posteriormente organizar los resultados.

#### 3.7.4. FICHAS TÉCNICAS.

Se realizaron fichas técnicas de cada panel realizado (anexo 1). Estas sirvieron para llevar un control y simplificar la información que se obtuvo en la investigación (figura 36), en ellas se presentan tres apartados, cada uno cuenta con diferentes puntos los cuales son:

- Datos generales
  - Nombre de la probeta
  - Composición
  - Imagen ilustrativa del panel
  - Fecha
  - Prueba a la que se sometió
- Características físicas
  - Dimensión
  - Área
  - Volumen
  - Peso en seco
  - Peso saturado
  - Densidad
  - Fatiga
  - Carga máxima
  - Esfuerzo máximo



- Gráfica

- Comportamiento obtenido de la relación fuerza-deformación de las pruebas realizadas.

I.- DATOS GENERALES		
<b>PROBETA</b>	<b>COMPOSICIÓN</b>	
AG-I	Esterilla de Bambú Guada Angustifolia de 1 x 1 cm + PEAD	
<b>FECHA</b>	<b>PRUEBA</b>	
22/08/2021	Compresión /Adsorción de humedad	

II.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
<b>DIMENSIÓN</b> cm	<b>ÁREA</b> cm <sup>2</sup>	<b>VOLÚMEN</b> m <sup>3</sup>
16 x 16 x 1.4	256	0.00036

<b>PESO (en seco)</b> kg	<b>DENSIDAD</b> kg/m <sup>3</sup>	<b>FATIGA</b> kg/cm <sup>2</sup>
0.297	828.68	320.24

<b>PESO (saturado)</b> kg	<b>CARGA MÁXIMA</b> kN	<b>FUER-DEF MAX</b> kg/mm
0.39	1.3708	139.78

III.- GRÁFICA



Figura 36. Ejemplo de ficha técnica unidad experimental AG1. Fuente: Propia del autor (2021).



### 3.8 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.

El análisis de la información se realizó en su mayoría utilizando la observación científica, en otros casos para lograr la justificación científica aplicable de algún fenómeno fue necesaria la observación directa, técnica y crítica según se requería; también se hizo uso de un programa de hojas de cálculo, en él se insertaron los datos obtenidos de las pruebas, con el manejo de estos se lograron formar tabulaciones, promedios y gráficas de todo lo recabado y ver cuál ha sido el comportamiento de las unidades experimentales a lo largo de cada prueba realizada.

El procesamiento de la información fue posible mediante la interpretación y comparativa de los resultados obtenidos en las pruebas de resistencia mecánica, absorción y retención de humedad, comparando los datos entre los testigos y las unidades experimentales de los diferentes tratamientos, con esto se logra determinar si se cumple con lo estipulado en las preguntas de investigación, hipótesis y objetivos, desarrollando un análisis y comparación de resultados.

## 4. RESULTADOS OBTENIDOS.

### 4.1 RESULTADOS.

#### Prueba de resistencia mecánica.

En la tabla 12 y 13 se muestran los resultados obtenidos de la prueba de resistencia mecánica aplicada a las probetas, simplemente apoyadas y empotradas respectivamente. En la primera columna se muestra el tipo de panel, que puede ser simple o doble, en la siguiente columna vemos los tratamientos empleados que son las 4 especies de bambú, a continuación, observamos la columna con la nomenclatura asignada a cada unidad experimental, está se compone por dos letras mayúsculas correspondientes a la especie de bambú, un número romano que asigna la medida del espesor de la esterilla y en el caso que sea de doble línea se asignara el número arábigo 2 por ejemplo OT2II significa Otatea de doble línea con espesor de 1 x 0.5 cms. Los siguientes pares de columnas corresponden a las cargas máximas resistente expresada en kilonewton (kN) y las deformaciones provocadas en milímetros por cada ensayo, cabe mencionar que por cada tratamiento y factor se hicieron tres especímenes con el objeto de obtener mayor confiabilidad en los resultados.

**Tabla 12.** Resultados de la prueba de compresión en unidades simplemente apoyadas. Elaboración propia del autor (2021).

PRUEBA DE RESISTENCIA MECÁNICA SIMPLEMENTE APOYADA								
Panel	Tratamiento	U.E.	Ensayos					
			Probeta a		Probeta b		Probeta c	
			Fuerza	Defor.	Fuerza	Defor.	Fuerza	Defor.
			kN	mm	kN	mm	kN	mm
Simple	Testigo	PL	0.45	2.76	0.19	2.30	0.27	2.30
	Angustifolia	AGI	1.70	13.54	1.52	4.54	1.28	4.70
		AGII	0.40	6.40	0.37	2.01	0.24	1.46
		AGIII	0.66	6.52	0.48	7.60	0.94	8.73
	Acueleata	ACI	1.98	5.07	0.77	6.43	1.84	4.45
		ACII	1.26	7.02	0.82	9.40	1.28	8.56
		ACIII	1.04	7.12	1.18	8.39	0.57	4.34
	Otatea	OTI	0.64	2.06	0.81	3.37	1.54	6.68
		OTII	0.56	2.20	0.42	1.34	0.62	4.48
OTIII		0.73	3.57	0.53	4.99	0.38	1.48	

	Oldhamii	OHI	1.85	4.59	2.17	8.02	1.07	4.69
		OHII	1.43	10.50	0.74	3.97	1.38	7.57
		OHIII	1.25	8.98	1.19	9.33	1.36	5.35
Doble	Testigo	PL2	0.78	2.62	0.74	2.48	0.66	2.56
	Angustifolia	AG2I	1.15	6.02	0.83	5.01	1.04	5.63
		AG2II	0.17	0.96	0.48	3.83	0.73	6.12
		AG2III	1.46	6.75	1.92	7.92	1.77	6.55
	Acueleata	AC2I	2.75	5.53	2.78	6.69	2.51	6.19
		AC2II	1.33	9.32	1.12	10.26	1.41	8.84
		AC2III	0.97	10.20	1.40	8.01	1.84	11.04
	Oatea	OT2I	0.62	1.18	0.54	1.07	0.73	1.25
		OT2II	1.54	10.24	1.66	9.22	1.59	8.82
		OT2III	1.57	7.87	0.53	8.65	1.17	7.78
	Oldhamii	OH2I	2.11	8.98	1.93	8.41	1.21	6.27
		OH2II	0.74	6.54	1.04	10.11	1.33	7.82
		OH2III	0.25	9.10	0.50	5.61	1.11	8.74

**Tabla 13.** Resultados de la prueba de compresión en unidades empotradas. Elaboración propia del autor (2021).

PRUEBA DE RESISTENCIA MECÁNICA EMPOTRADA								
Panel	Tratamiento	U.E.	Ensayos					
			Probeta a		Probeta b		Probeta c	
			Fuerza	Defor.	Fuerza	Defor.	Fuerza	Defor.
			kN	mm	kN	mm	kN	mm
Simple	Testigo	PL-E	0.48	5.16	0.42	4.97	0.45	4.88
	Angustifolia	AGI-E	1.19	8.55	1.04	4.71	1.23	7.44
		AGII-E	0.84	5.05	1.17	13.93	0.78	7.84
		AGIII-E	0.60	6.62	0.63	16.99	0.76	7.79
	Acueleata	ACI-E	1.53	5.68	1.75	4.80	1.44	4.36
		ACII-E	1.01	12.61	1.38	8.77	1.18	12.46
		ACIII-E	0.76	12.29	0.78	8.28	0.99	12.12
	Oatea	OTI-E	0.78	4.40	0.73	3.32	1.24	8.72
		OTII-E	0.74	3.62	0.75	4.31	1.34	12.65
		OTIII-E	0.69	7.02	0.37	4.70	0.67	7.13
Oldhamii	OHI-E	1.77	6.89	2.21	7.69	2.48	7.80	
	OHII-E	1.30	10.60	1.29	7.84	1.47	12.91	
	OHIII-E	1.13	7.73	1.71	13.08	1.47	8.91	
Doble	Testigo	PL2-E	0.90	5.60	0.53	1.31	0.74	2.65
	Angustifolia	AG2I-E	0.69	3.18	1.37	8.68	1.58	5.71
		AG2II-E	1.23	7.47	2.21	10.68	1.85	8.67
		AG2III-E	1.63	6.17	1.07	7.59	1.39	7.24
Acueleata	AC2I-E	2.41	12.32	1.73	4.43	2.32	6.55	

		AC2II-E	2.26	6.52	1.77	5.90	2.34	7.00
		AC2III-E	1.63	11.99	1.84	11.06	1.84	11.42
	Oatea	OT2I-E	0.63	1.84	0.50	17.04	0.85	3.42
		OT2II-E	0.53	3.18	1.05	6.56	1.09	3.78
		OT2III-E	1.78	12.63	1.40	10.31	1.10	7.98
	Oldhamii	OH2I-E	1.65	8.88	0.68	5.83	1.29	6.47
		OH2II-E	2.33	11.84	2.15	13.15	1.98	11.21
		OH2III-E	1.33	9.72	1.40	12.69	1.27	7.90

### Prueba de absorción de humedad

Los resultados obtenidos de la prueba de absorción de humedad aplicadas en las probetas simplemente apoyadas y empotradas se muestran en las tablas 14 y 15, respectivamente. El tipo de panel, ya sea sencillo o doble, se muestra en la primera columna, en la siguiente columna vemos las nomenclaturas que se asignadas a las unidades experimentales. El peso en seco obtenido en gramos de cada unidad experimental se muestra en la columna que sigue, en la columna contigua se muestra la densidad calculada en gramos sobre centímetro cúbico (g/cm<sup>3</sup>) de cada unidad experimental, continuando con la siguiente columna ahora se muestra el peso en gramos de las unidades experimentales saturadas. En las próximas dos columnas se muestra la diferencia en gramos de entre el peso en seco y saturado, después el porcentaje de absorción de humedad, respectivamente. Por último, las dos columnas siguientes se muestran los promedios de densidad y absorción de humedad de las unidades experimentales que coinciden en especie de bambú y en espesor de esterilla de bambú, no importando si es simplemente apoyada o empotrada

**Tabla 14.** Resultados de la prueba de absorción de humedad en paneles sencillos. Elaboración propia del autor (2021).

PRUEBA DE ABSORCIÓN DE HUMEDAD								
Panel	U.E.	Característica analizada						
		Peso en seco	Densidad	Peso saturado	Diferencia	Absorción de humedad	Promedio densidad	Promedio absorción humedad
		g	g/cm <sup>3</sup>	g	g	%	g/cm <sup>3</sup>	%
Simple	AGI	297	0.89	390	93	31.31%	0.85	28.0%
	AGI-E	268	0.81	334	66	24.63%		

	AGII	274	0.82	325	51	18.61%	0.80	12.2%
	AGII-E	257	0.77	272	15	5.84%		
	AGIII	279	0.84	330	51	18.28%	0.80	11.3%
	AGIII-E	256	0.77	267	11	4.30%		
	ACI	320	0.96	392	72	22.50%	0.92	15.3%
	ACI-E	295	0.89	319	24	8.14%		
	ACII	282	0.85	338	56	19.86%	0.83	13.0%
	ACII-E	273	0.82	290	17	6.23%		
	ACIII	256	0.77	318	62	24.22%	0.79	13.6%
	ACIII-E	269	0.81	277	8	2.97%		
	OTI	304	0.91	359	55	18.09%	0.93	11.4%
	OTI-E	316	0.95	331	15	4.75%		
	OTII	286	0.86	340	54	18.88%	0.85	11.8%
	OTII-E	277	0.83	290	13	4.69%		
	OTIII	270	0.81	318	48	17.78%	0.84	11.1%
	OTIII-E	290	0.87	303	13	4.48%		
	OHI	308	0.93	363	55	17.86%	0.91	13.5%
	OHI-E	296	0.89	323	27	9.12%		
	OHII	273	0.82	290	17	6.23%	0.84	5.7%
	OHII-E	287	0.86	302	15	5.23%		
OHIII	296	0.89	356	60	20.27%	0.88	12.4%	
OHIII-E	289	0.87	302	13	4.50%			
PL	275	0.83	295	20	7.27%	0.83	7.3%	
PL-E	276	0.83	296	20	7.25%			

**Tabla 15.** Resultados de la prueba de absorción de humedad en paneles dobles. Elaboración propia del autor (2021).

PRUEBA DE ABSORCIÓN DE HUMEDAD								
Panel	U.E.	Característica analizada						
		Peso en seco	Densidad	Peso saturado	Diferencia	Absorción de humedad	Promedio densidad	Promedio absorción humedad
		g	g/cm <sup>3</sup>	g	g	%	g/cm <sup>3</sup>	%
Dobles	AG2I	327	0.64	462	135	41.28%	0.66	35.6%
	AG2I-E	348	0.68	452	104	29.89%		
	AG2II	362	0.71	448	86	23.76%	0.66	25.3%
	AG2II-E	313	0.61	397	84	26.84%		
	AG2III	345	0.67	432	87	25.22%	0.72	20.1%
	AG2III-E	388	0.76	446	58	14.95%		
	AC2I	402	0.79	501	99	24.63%	0.80	23.8%
	AC2I-E	415	0.81	510	95	22.89%		
	AC2II	391	0.76	490	99	25.32%	0.72	26.8%
	AC2II-E	342	0.67	439	97	28.36%		

	AC2III	369	0.72	464	95	25.75%	0.72	23.0%
	AC2III-E	370	0.72	445	75	20.27%		
	OT2I	363	0.71	451	88	24.24%	0.72	23.1%
	OT2I-E	370	0.72	451	81	21.89%		
	OT2II	366	0.71	446	80	21.86%	0.72	22.4%
	OT2II-E	370	0.72	455	85	22.97%		
	OT2III	395	0.77	484	89	22.53%	0.74	25.2%
	OT2III-E	365	0.71	467	102	27.95%		
	OH2I	392	0.77	509	117	29.85%	0.81	28.5%
	OH2I-E	438	0.86	557	119	27.17%		
	OH2II	404	0.79	489	85	21.04%	0.78	23.8%
	OH2II-E	394	0.77	499	105	26.65%		
	OH2III	349	0.68	429	80	22.92%	0.71	23.0%
	OH2III-E	381	0.74	469	88	23.10%		
	PL2	388	0.76	423	35	9.02%	0.76	9.0%
	PL2-E	388	0.76	423	35	9.02%		

### Prueba de retención de humedad.

En la tabla 16 y 17 se muestran los resultados obtenidos de la prueba de retención de humedad aplicada a los paneles simples y dobles respectivamente. En la primera columna se muestra la nomenclatura asignada a las unidades experimentales, en este caso uniendo las simplemente apoyadas y empotradas en una sola nomenclatura, en la siguiente columna se presenta el peso seco en gramos obtenido del promedio entre el panel simplemente apoyado y empotrado, continuando con la siguiente columna se muestra la densidad en gramos sobre centímetros cúbicos obtenida del peso seco. La siguiente columna se presenta peso saturado en gramos obtenido del promedio entre el panel simplemente apoyado y empotrado, las siguientes cuatro columnas muestran de igual manera los promedios entre los paneles simplemente apoyados y empotrados de los pesos durante el secado en gramos, habiendo pasando 4, 8, 16 y 32 horas respectivamente. En la próxima columna se observa el promedio de porcentaje saturado ahora por tratamiento, finalizando con las siguientes cuatro columnas que muestran el porcentaje de secado de cada tratamiento en 4, 8, 16 y 32 horas respectivamente.

**Tabla 16.** Resultados de la prueba de retención de humedad en paneles simples. Elaboración propia del autor (2021).

PRUEBA DE RETENCIÓN DE HUMEDAD PANELES SIMPLES												
U.E.	Característica analizada											
	Peso Seco	Densidad	Peso Saturado	Peso Secado				Saturado	Secado			
				4 h	8 h	16 h	32 h		4 h	8 h	16 h	32 h
	g	g/cm <sup>3</sup>	g	g	g	g	g	g	%	%	%	%
AGI	282.5	0.85	362	320.5	318.5	317	317	17.39%	7.67%	7.13%	6.95%	6.89%
AGII	265.5	0.80	298.5	279.5	277.5	278.5	278					
AGIII	267.5	0.80	298.5	279	278.5	277.5	277.5					
ACI	307.5	0.92	355.5	333.5	331.5	330.5	330.5	14.03%	7.03%	6.25%	6.02%	6.02%
ACII	277.5	0.83	314	293.5	291	290.5	290.5					
ACIII	262.5	0.79	297.5	280.5	278.5	278	278					
OTI	310	0.93	345	325	322.5	322	322	11.36%	4.64%	3.96%	3.66%	3.61%
OTII	281.5	0.85	315	295	293.5	292	292					
OTIII	280	0.84	310.5	292	290	289.5	289					
OHI	302	0.91	343	327.5	326	324.5	324.5	10.59%	6.37%	5.92%	5.46%	5.46%
OHII	280	0.84	296	296	295.5	294	294					
OHIII	292.5	0.88	329	307	305	304	304					
PL	275.5	0.83	295.5	278.5	277.5	275.5	275.5	7.26%	1.09%	0.73%	0.00%	0.00%

**Tabla 17.** Resultados de la prueba de retención de humedad en paneles dobles. Elaboración propia del autor (2021).

PRUEBA DE RETENCIÓN DE HUMEDAD PANELES DOBLES												
U.E.	Característica analizada											
	Peso Seco	Densidad	Peso Saturado	Peso Secado				Saturado	Secado			
				4 h	8 h	16 h	32 h		4 h	8 h	16 h	32 h
	g	g/cm <sup>3</sup>	g	g	g	g	g	g	%	%	%	%
AG2I	337.5	0.66	457	402	397.5	393.5	393	26.79%	11.99%	11.12%	10.07%	9.87%
AG2II	337.5	0.66	422.5	370.5	368	365	364					
AG2III	366.5	0.72	439	392.5	390.5	386.5	386					
AC2I	408.5	0.80	505.5	464	458	456	455	24.50%	10.92%	9.48%	9.18%	8.96%
AC2II	366.5	0.72	464.5	408	402.5	402.5	402					
AC2III	369.5	0.72	454.5	398.5	393.5	392	391					
OT2I	366.5	0.72	451	400.5	395.5	395	394	23.54%	8.63%	7.32%	7.10%	6.83%
OT2II	368	0.72	450.5	402	396.5	395	394					
OT2III	380	0.74	475.5	408	404	403.5	402.5					
OH2I	415	0.81	533	471.5	466.5	465	464.5	25.09%	10.06%	8.84%	8.33%	8.29%
OH2II	399	0.78	494	440	434.5	431.5	431.5					
OH2III	365	0.71	449	388	384	382.5	382.5					
PL2	388	0.76	423	392.5	389.5	388.5	388.5	9.02%	1.16%	0.39%	0.13%	0.13%



## 4.2 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

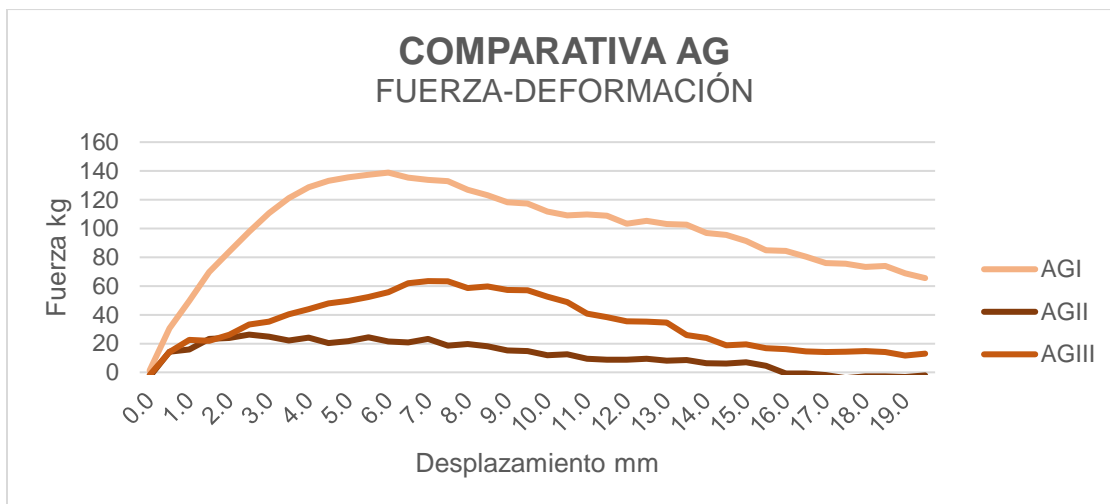
Para el análisis de los resultados se llevaron a cabo una serie de gráficas, con el objetivo de visualizar de mejor manera los valores obtenidos de los distintos tratamientos sometidos a prueba, realizar comparativas, analizar sus comportamientos e ir estableciendo lo que mejor funcionó.

### Resistencia mecánica.

#### Prueba de resistencia mecánica simplemente apoyadas.

##### Paneles simples.

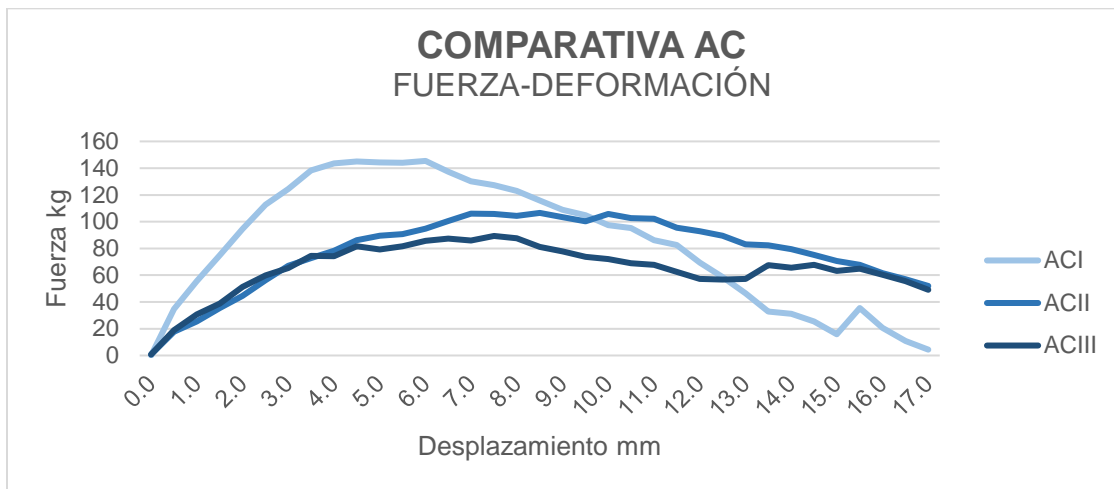
De acuerdo con los resultados obtenidos de las probetas ensayadas correspondientes al tratamiento AG “angustifolia” presentado en la tabla 12 del rubro de resultados, a continuación, se muestra una gráfica de comportamiento que se genera de la relación fuerza-deformación de los tres factores AGI, AGII, AGIII (figura 37) en la que observamos que AGI obtuvo como máxima resistencia de 139.78 kg, mientras AGII con apenas 28.04 kg y AGIII obtuvo una resistencia de 65.86 kg.



**Figura 37.** Gráfica de deformación paneles simples tratamiento AG simplemente apoyado. Fuente: Elaboración propia del autor (2021).

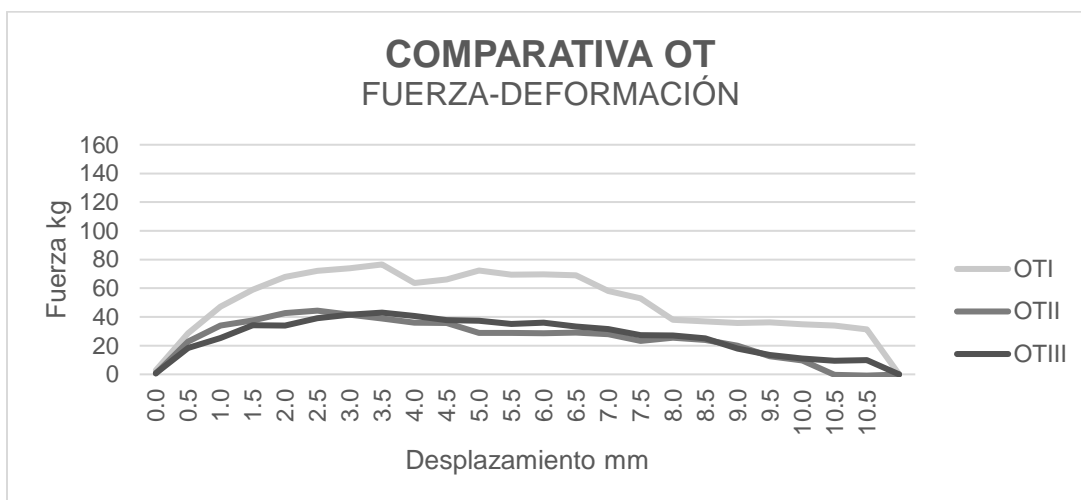
Los resultados obtenidos con el tratamiento AC “aculeata”, observamos (figura 38) la gráfica de comportamiento que se genera de la relación fuerza-deformación de los tres factores ACI, ACII, ACIII; observamos que ACI tiene una

resistencia de 150.51 kg, ACII obtuvo una resistencia de 109.09 kg, por último, ACIII con 91.77 kg.



**Figura 38.** Gráfica de deformación paneles simples tratamiento AC simplemente apoyado.  
Fuente: Elaboración propia del autor (2021).

Continuando con los datos obtenidos correspondientes al tratamiento OT “otatea”, vemos en la gráfica (figura 39) el comportamiento que se genera de la relación fuerza-deformación de los tres factores OTI, OTII, OTIII en la que observamos que OTI con resistencia de 77.65 kg, mientras que OTII y OTIII obtuvieron una resistencia de 46.74 kg y 46.10 kg respectivamente.



**Figura 39.** Gráfica de deformación paneles simples tratamiento OT simplemente apoyado.  
Fuente: Elaboración propia del autor (2021).

Con el tratamiento OH “oldhamii” observamos en la gráfica (figura 40) el comportamiento de los tres factores OHI, OHII, OHIII donde se aprecia que OHI

obtuvo una resistencia de 159.97 kg, OHII con 111.42 kg, mientras que OHIII obtuvo 117.46 kg.

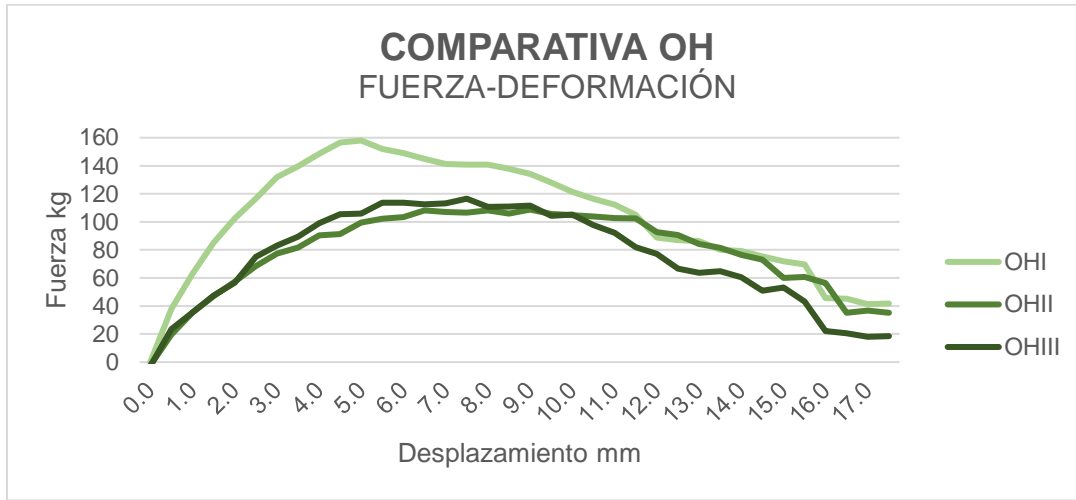


Figura 40. Gráfica de deformación paneles simples tratamiento OH simplemente apoyado. Fuente: Elaboración propia del autor (2021).

### Paneles dobles.

Los siguientes resultados obtenidos fueron de las probetas ensayadas con el tratamiento AG2 “angustifolia” presentadas en la tabla 12 del rubro de resultados, se observa (figura 41) la gráfica de comportamiento que se genera de la relación fuerza-deformación de los tres factores AG2I, AG2II, AG2III donde se aprecia que AG2I obtuvo una resistencia de 99.0 kg, AG2II con apenas 41.96 kg, por último, AG2III con 172.50 kg.

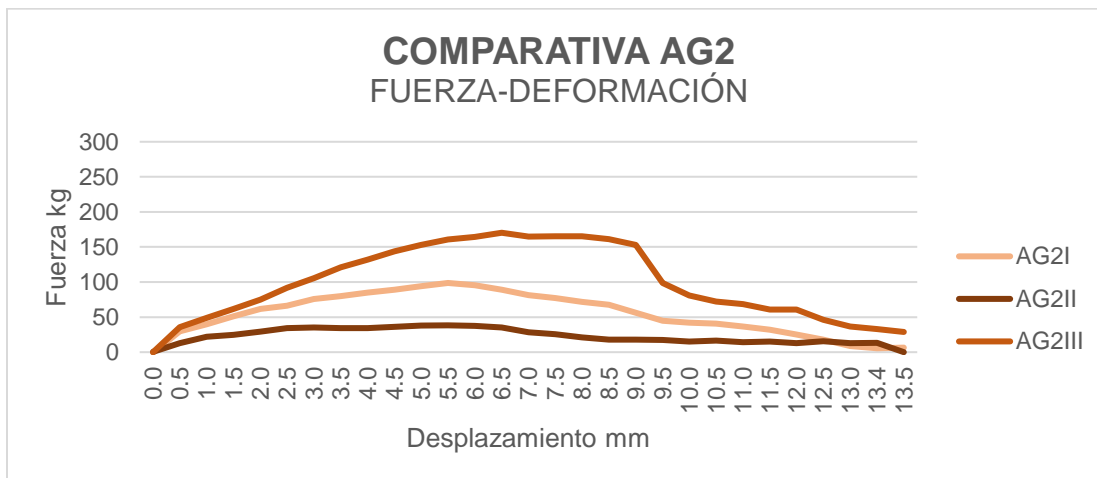
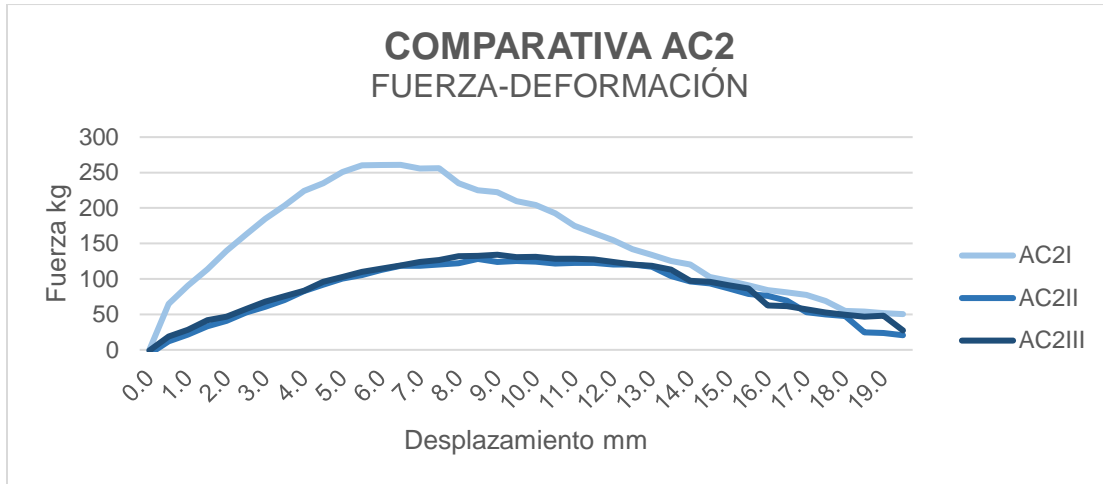


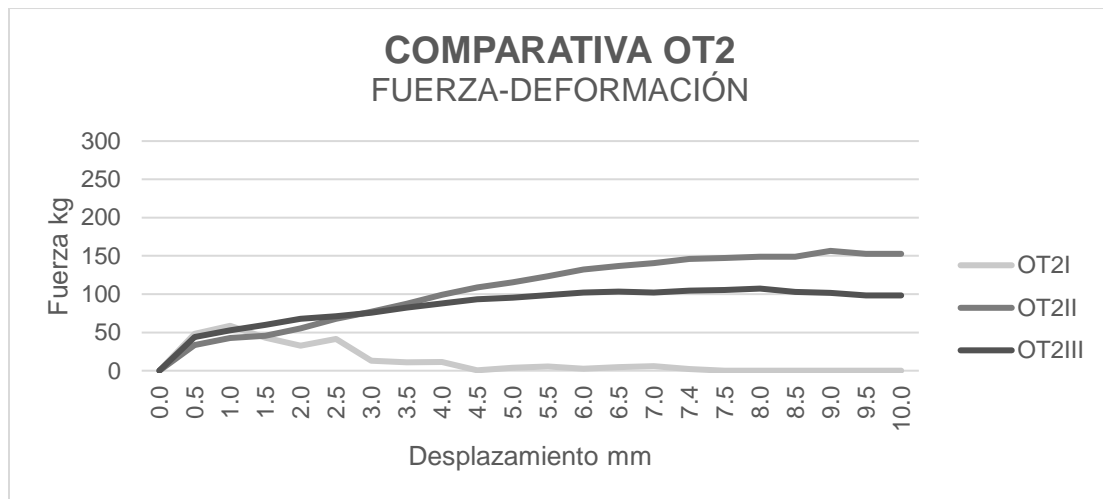
Figura 41. Gráfica de deformación paneles dobles tratamiento AG2 simplemente apoyado. Fuente: Elaboración propia del autor (2021).

Continuando con los resultados con el tratamiento AC2 “aculeata”, se presentan (figura 42) los tres factores AC2I, AC2II, AC2III en la que observamos AC2I con una resistencia de 265.33 kg, seguido de AC2II con 129.91 kg y AC2III con 136.28 kg.



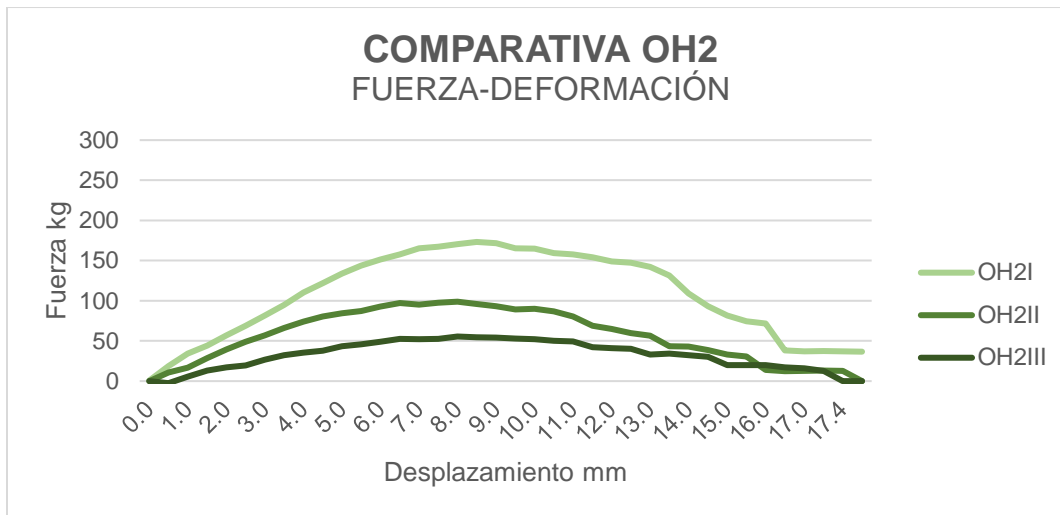
**Figura 42.** Gráfica de deformación paneles dobles tratamiento AC2 simplemente apoyado. Fuente: Elaboración propia del autor (2021).

Los resultados obtenidos con el tratamiento OT2 “otatea”, se muestran (figura 43) los tres factores OT2I, OT2II, OT2III, donde OT2I obtuvo una resistencia de 63.09 kg, OT2II de 159.97 kg y OT2III con una resistencia de 108.45 kg



**Figura 43.** Gráfica de deformación paneles dobles tratamiento OT2 simplemente apoyado. Fuente: Elaboración propia del autor (2021).

Prosiguiendo con los resultados, los que se obtuvieron con el tratamiento OH2 “oldhamii”, se observan en (figura 44) los tres factores OH2I, OH2II, OH2III, en el cual OH2I tuvo una resistencia de 176.11 kg, seguido de OH2II con una resistencia de 101.12 kg, por último, OH2III con 57.46 kg.

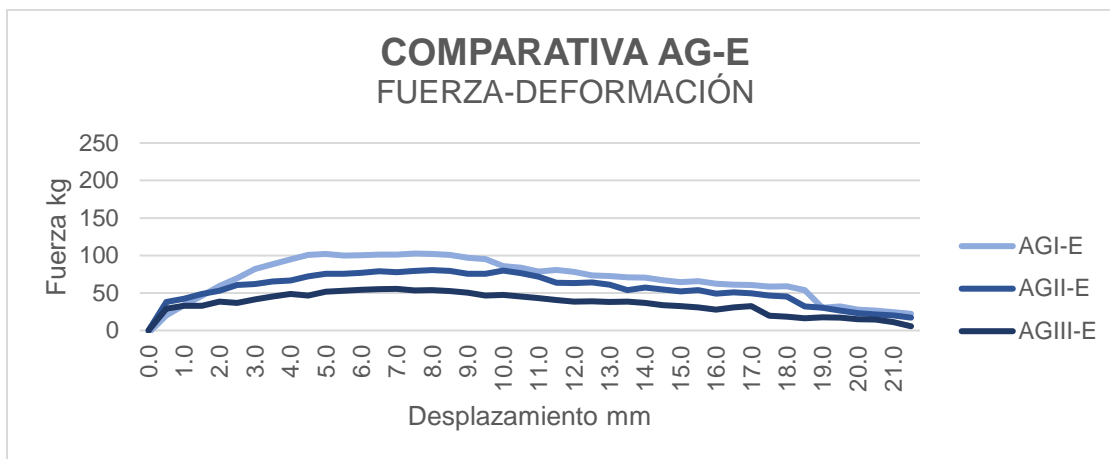


**Figura 44.** Gráfica de deformación paneles dobles tratamiento OH2 simplemente apoyado. Fuente: Elaboración propia del autor (2021).

## Prueba de resistencia mecánica con empotramiento.

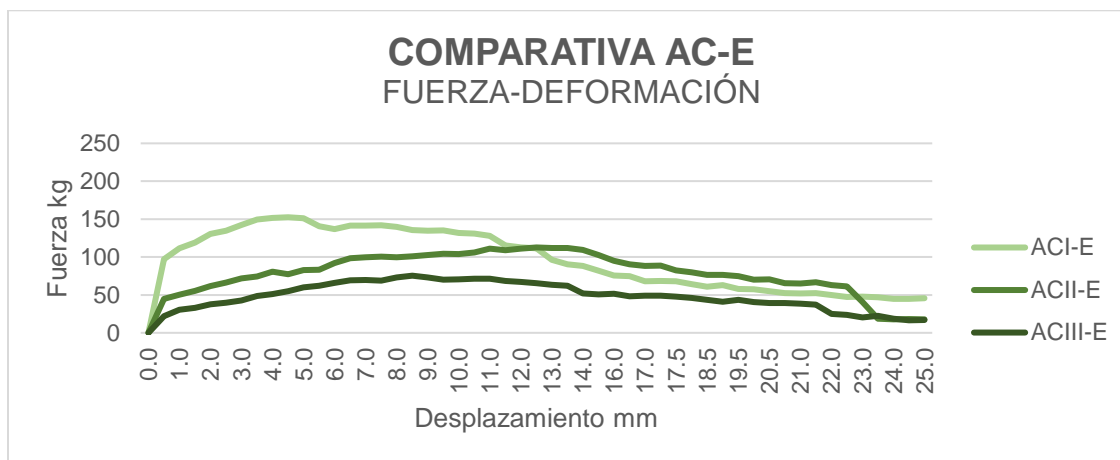
### Paneles simples.

De acuerdo con los resultados obtenidos de las probetas ensayadas correspondientes al tratamiento AG-E “angustifolia” presentado en la tabla 13 del rubro de resultados, a continuación, se muestra la gráfica de comportamiento que se genera de la relación fuerza-deformación de los tres factores AGI-E, AGII-E, AGIII-E (figura 45) en la que observamos que AGI-E obtuvo una resistencia de 106.22 kg, mientras que AGII-E obtuvo una resistencia de 82.74 kg, por último, AGIII-E con 57.78 kg



**Figura 45.** Gráfica de deformación paneles simples tratamiento AG empotrado. Fuente: Elaboración propia del autor (2021).

Los resultados obtenidos con el tratamiento AC-E “aculeata”, observamos (figura 46) la gráfica de comportamiento que se genera de la relación fuerza-deformación de los tres factores ACI-E, ACII-E, ACIII-E; observamos que ACI-E tiene una resistencia de 155.72 kg, ACII-E obtuvo una resistencia de 115.57 kg, por último, ACIII-E con 76.58 kg.



**Figura 46.** Gráfica de deformación paneles simples tratamiento AC empotrado. Fuente: Elaboración propia del autor (2021).

Continuando con los datos obtenidos correspondientes al tratamiento OT-E “otatea”, vemos en la gráfica (figura 47) el comportamiento que se genera de la relación fuerza-deformación de los tres factores OTI-E, OTII-E, OTIII-E en la que observamos que OTI-E con resistencia de 78.92 kg, mientras que OTII-E y OTIII-E obtuvieron una resistencia de 72.55 kg y 54.07 kg respectivamente.

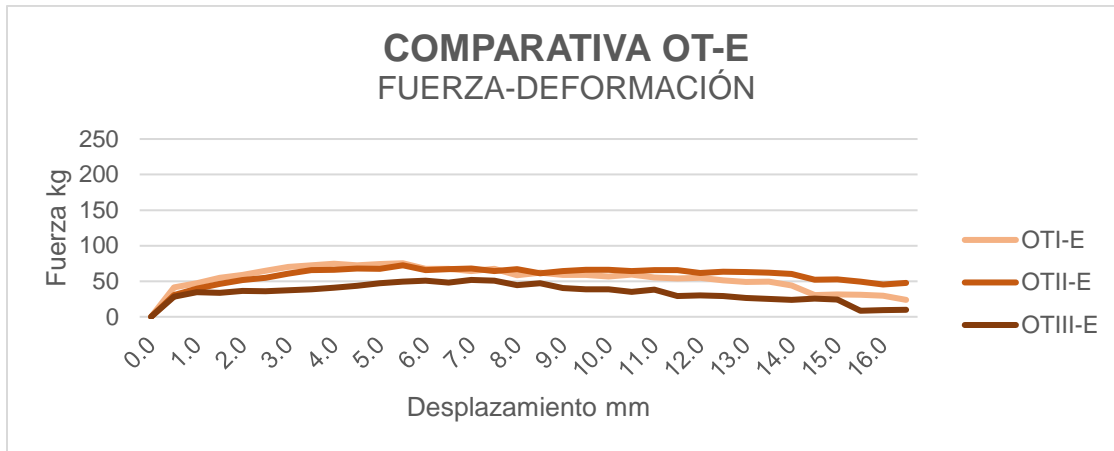


Figura 47. Gráfica de deformación paneles simples tratamiento OT empotrado. Fuente: Elaboración propia del autor (2021).

Con el tratamiento OH-E “oldhamii” observamos en la gráfica (figura 48) el comportamiento de los tres factores OHI-E, OHII-E, OHIII-E donde se aprecia que OHI-E obtuvo una resistencia de 216.26 kg, OHII-E con 134.79 kg, mientras que OHIII-E obtuvo 136.92 kg.

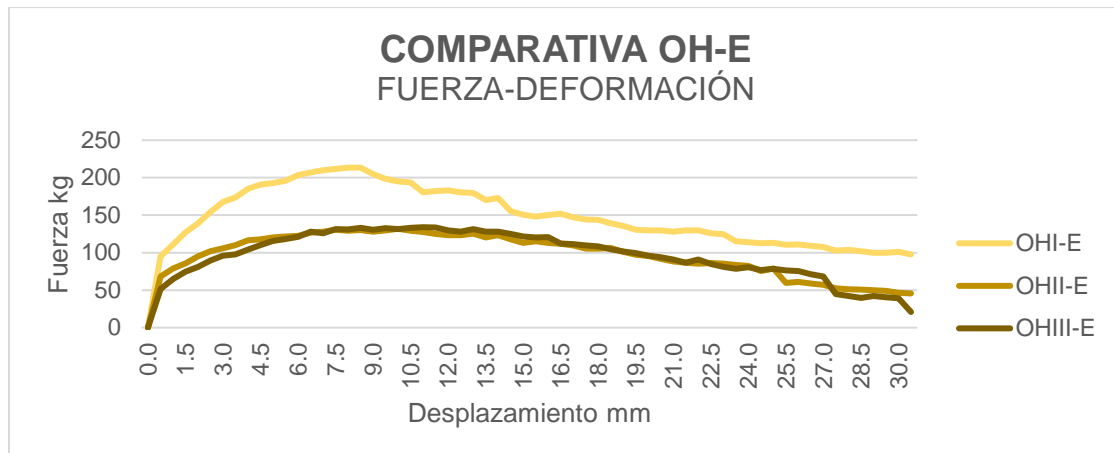


Figura 48. Gráfica de deformación paneles simples tratamiento OH empotrado. Fuente: Elaboración propia del autor (2021).

### Paneles dobles.

Los siguientes resultados obtenidos fueron de las probetas ensayadas con el tratamiento AG2-E “angustifolia” presentadas en la tabla 13 del rubro de resultados, se observa (figura 49) la gráfica de comportamiento que se genera de la relación fuerza-deformación de los tres factores AG2I-E, AG2II-E, AG2III-E donde se aprecia

que AG2I-E obtuvo una resistencia de 107.07 kg, AG2II-E con apenas 173.56 kg, por último, AG2III-E con 135.54 kg.

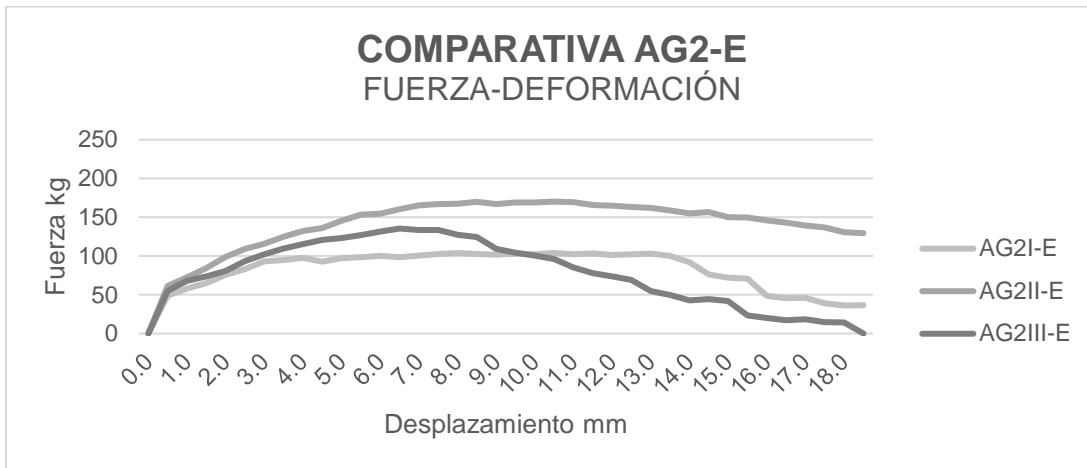


Figura 49. Gráfica de deformación paneles dobles tratamiento AG2-E empotrado. Fuente: Elaboración propia del autor (2021).

Continuando con los resultados con el tratamiento AC2-E “aculeata”, se presentan (figura 50) los tres factores AC2I-E, AC2II-E, AC2III-E en la que observamos AC2I-E con una resistencia de 200.54 kg, seguido de AC2II-E con 213.50 kg y AC2III-E con 176.75kg.

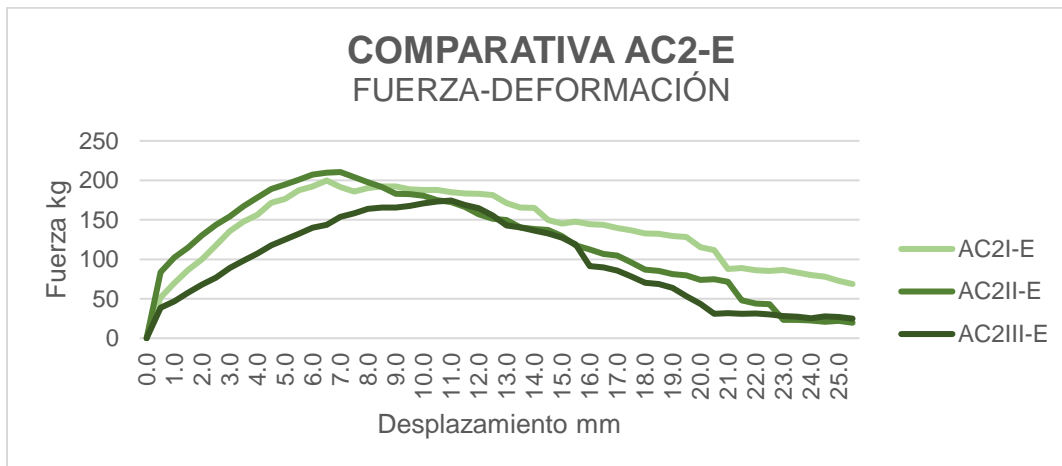
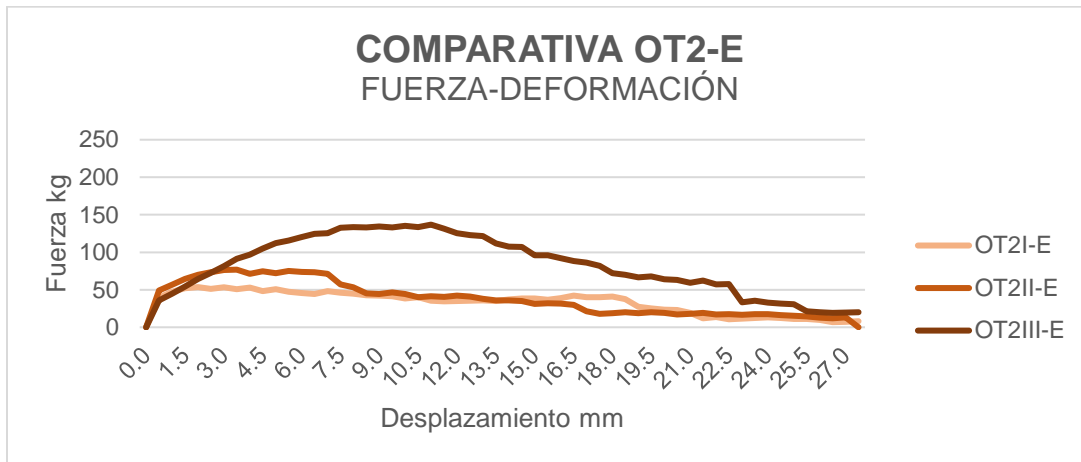


Figura 50. Gráfica de deformación paneles dobles tratamiento AC2-E empotrado. Fuente: Elaboración propia del autor (2021).

Los resultados obtenidos con el tratamiento OT2-E “otatea”, se muestran (figura 51) los tres factores OT2I-E, OT2II-E, OT2III-E, donde OT2I-E obtuvo una

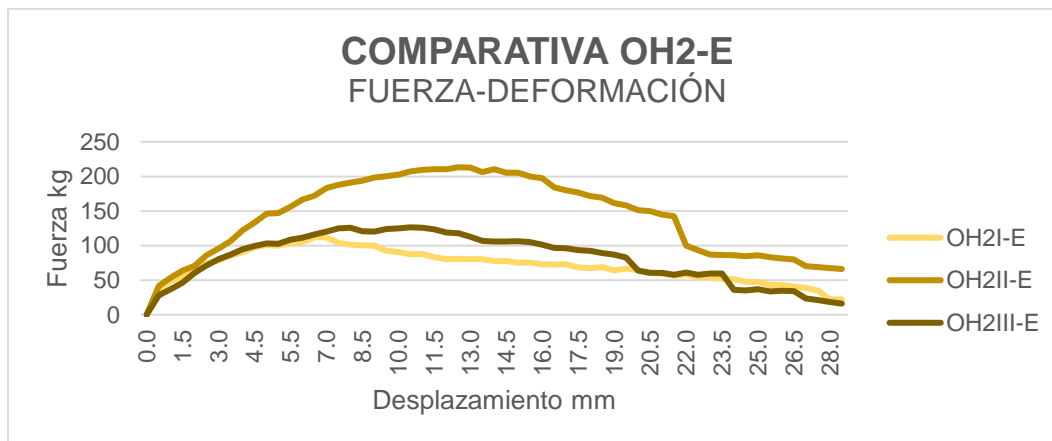


resistencia de 56.61 kg, OT2II-E de 79.35 kg y OT2III-E con una resistencia de 139.68 kg.



**Figura 51.** Gráfica de deformación paneles dobles tratamiento OT2-E empotrado. Fuente: Elaboración propia del autor (2021).

Prosiguiendo con los resultados, los que se obtuvieron con el tratamiento OH2-E “oldhamii”, se observan en (figura 52) los tres factores OH2I-E, OH2II-E, OH2III-E, en el cual OH2I-E tuvo una resistencia de 114.61 kg, seguido de OH2II-E con una resistencia de 215.20 kg, por último, OH2III-E con 129.69 kg.

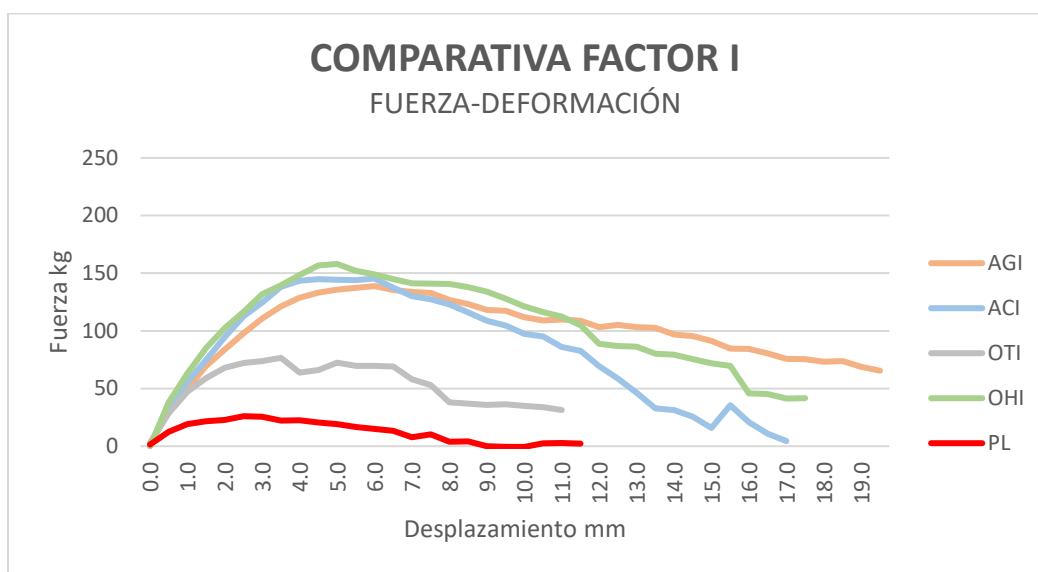


**Figura 52.** Gráfica de deformación paneles dobles tratamiento OH2-E empotrado. Fuente: Elaboración propia del autor (2021).

## Prueba de resistencia mecánica simplemente apoyadas.

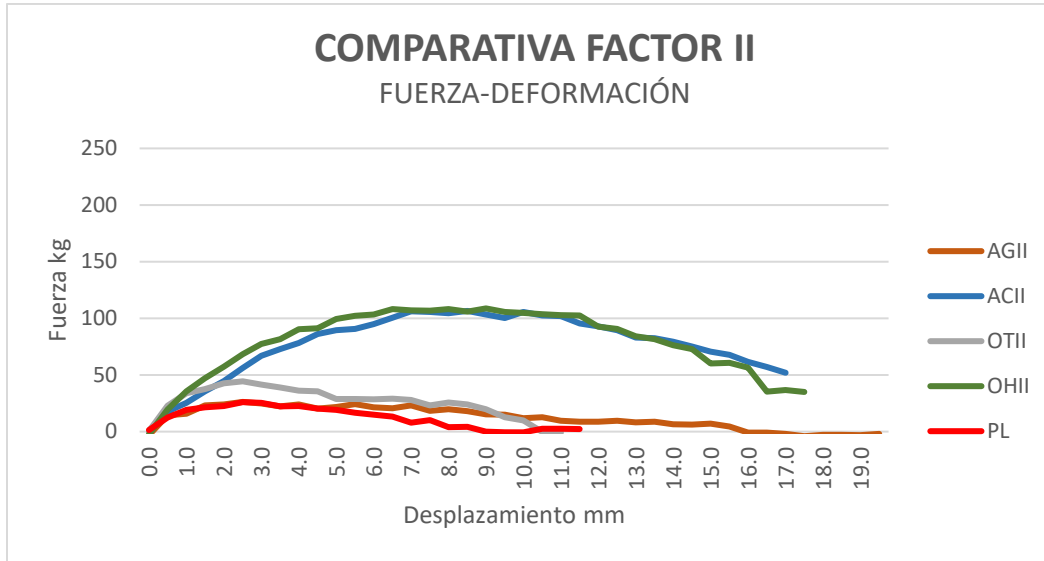
### Paneles simples.

Igualmente, al realizar el análisis por el factor “I” se observa (figura 53) una gráfica de comportamiento de las cuatro unidades experimentales AGI, ACI, OTI y OHI, y un testigo PL; se muestra que la mayor resistencia es de OHI con 159.97 kg, seguido de ACI con 150.51 kg, después AGI con 139.78 kg y finalizando con OTI con 77.65 kg, por último, el testigo PL con apenas 28.57 kg, también se observa que la mayor deformación es de AGI y las menores son la OTI y el testigo PL.



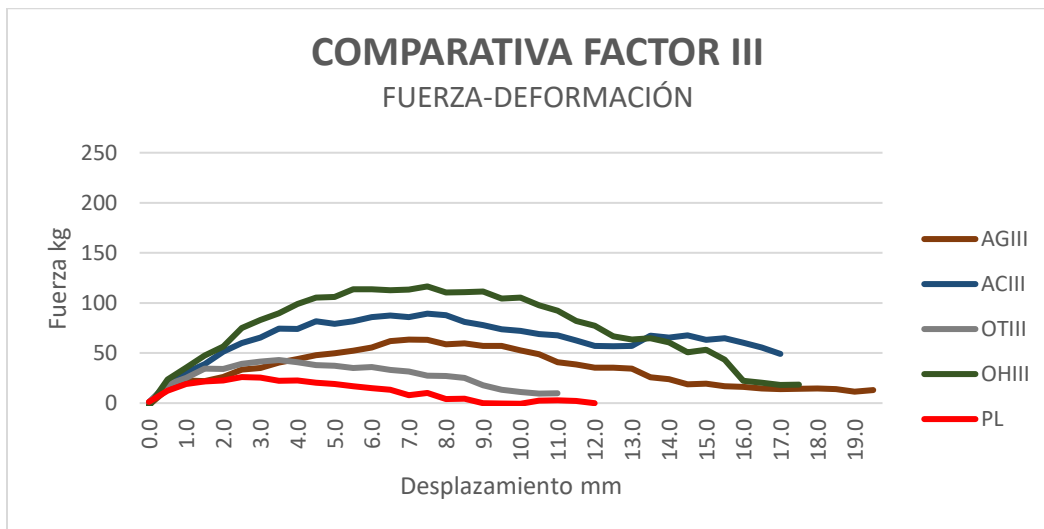
**Figura 53.** Comparativa paneles con factor I, simplemente apoyados. Fuente: Propia del autor (2021).

Continuando con los datos obtenidos de las probetas ensayadas correspondientes a los paneles con el factor “II”, vemos (figura 54) que OHII fue la de mayor resistencia 111.42 kg, mientras que ACII obtuvo 109.09 kg, seguido de OTII y AGII con 46.74 kg y 28.04 kg respectivamente, por último, queda el testigo con 28.57 kg, también se aprecia que la deformación menos es la OTII compartida con PL, mientras que la mayor es la ACII.



**Figura 54.** Comparativa paneles con factor II, simplemente apoyados. Fuente: Propia del autor (2021).

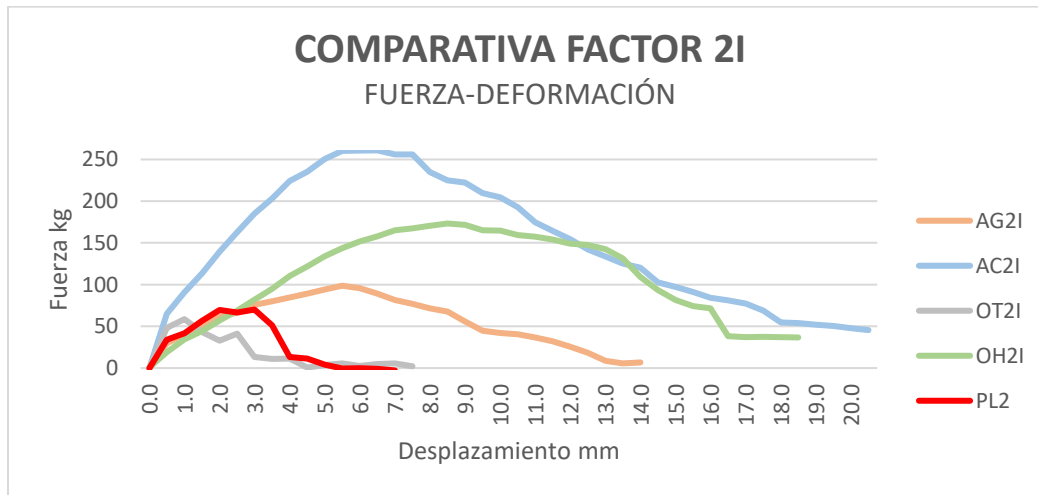
Los siguientes resultados que se presentan son de las probetas ensayadas correspondientes al factor “III”, vemos (figura 55) los tratamientos AGIII, ACIII, OTIII, OHIII y el testigo PL en la que observamos que OHIII tuvo mayor resistencia con 117.46 kg, sigue ACIII con 91.77 kg, después AGIII con 65.86 kg y terminando con OTIII y PL con 46.10 kg y con 28.57 kg cada una, también se distingue que las deformaciones menores son la OTIII y PL, mientras que la mayor es la AGIII.



**Figura 55.** Comparativa paneles con factor III, simplemente apoyados. Fuente: Propia del autor (2021).

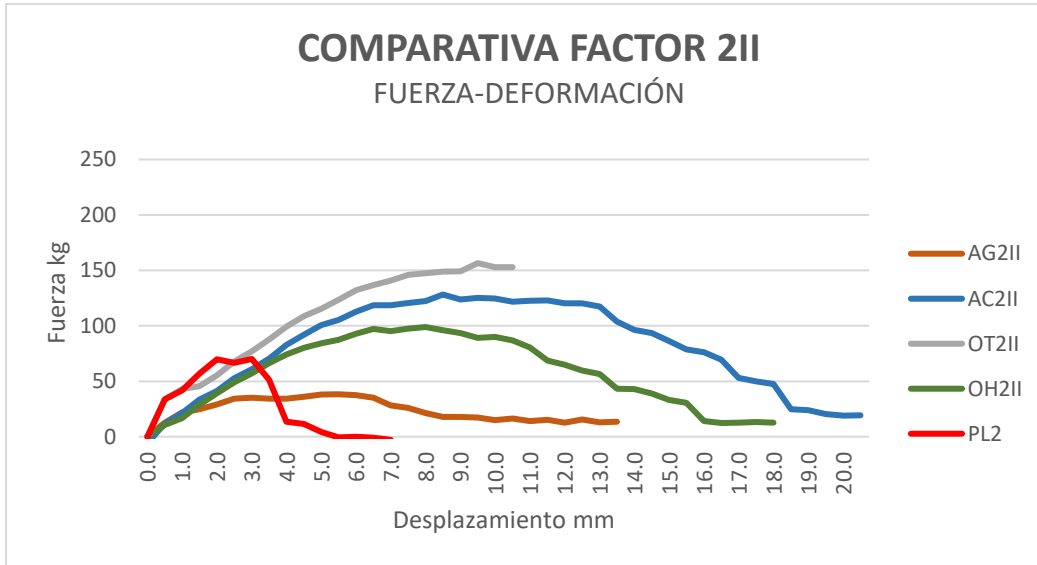
## Paneles dobles.

De acuerdo con los resultados obtenidos de las probetas ensayadas correspondientes al factor “2I”, se observa (figura 56) la gráfica de la relación fuerza-deformación de los tratamientos AG2I, AC2I, OT2I, OH2I y el testigo PL2, donde se aprecia que AC2I fue la mayor resistencia con 265.33 kg, mientras que OH2I obtuvo una resistencia de 176.11 kg, le sigue AG2I con 99 kg de resistencia, finalizando con PL2 y OT2I con 78.98 kg y 63.09 kg respectivamente, también vemos que la mayor deformación se presenta en OH2I, y las menores se muestran en OH2I y PL2.



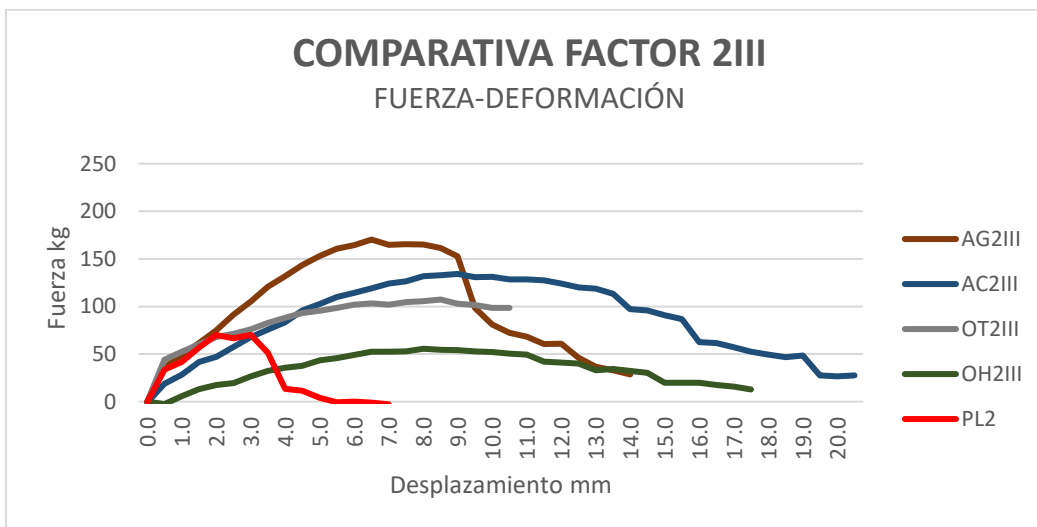
**Figura 56.** Comparativa paneles con factor 2I, simplemente apoyados. Fuente: Propia del autor (2021).

Siguiendo con los resultados correspondientes al factor “2II”, se observa (figura 57) los tratamientos AG2II, AC2II, OT2II, OH2II y el testigo PL2 donde se aprecia que OT2II fue la mayor resistencia con 159.97 kg, seguido de AC2II con 129.91 kg, enseguida OH2II con 101.12 kg, terminando con PL2 y AG2II con 78.98 kg y 41.96 kg cada uno, también se aprecia que la deformación mayor corresponde a OT2II y las menores a AG2II y PL2.



**Figura 57.** Comparativa paneles con factor 2II, simplemente apoyados. Fuente: Propia del autor (2021).

Los siguientes resultados fueron de las probetas con el factor “2III”, se presentan (figura 58) los tratamientos AG2III, AC2III, OT2III, OH2III y el testigo PL2 en la que observamos que AG2III fue la mayor resistencia de 172.50 kg, mientras que AC2III obtuvo 136.28 kg, seguido de la OT2III con 108.45 kg, después la PL2 con 78.98 kg y finalizando OH2III con apenas 57.46 kg, también se muestra que las deformaciones menores son de PL2 y AG2III, mientras que la mayor corresponde a AC2III.

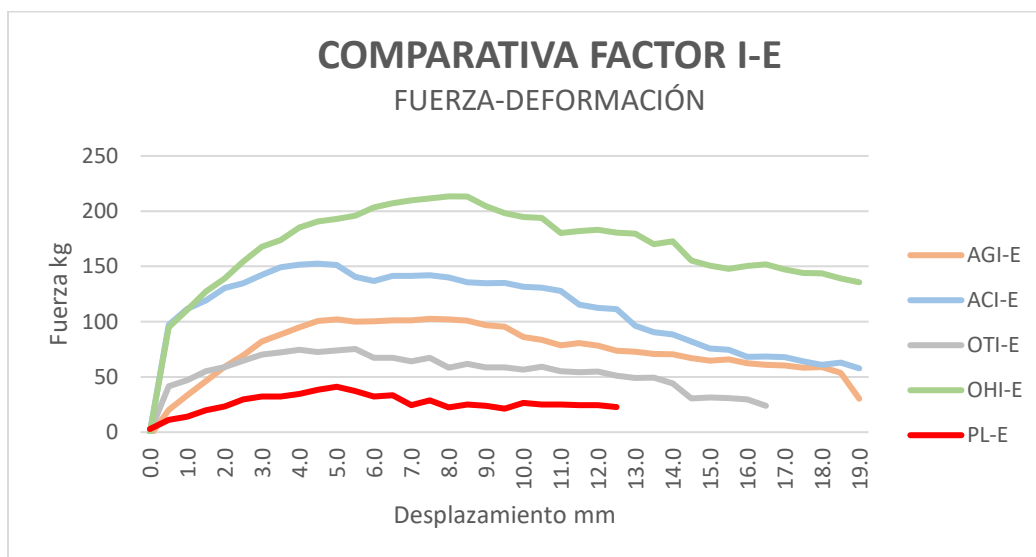


**Figura 58.** Comparativa paneles con factor 2III, simplemente apoyados. Fuente: Propia del autor (2021).

## Prueba de resistencia mecánica empotrados.

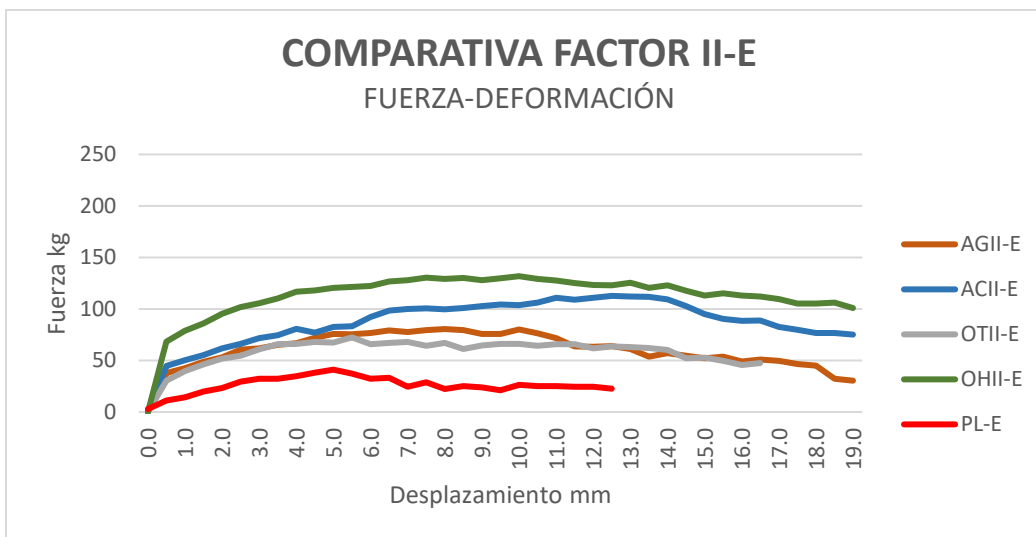
### Paneles simples.

Los resultados obtenidos de las probetas ensayadas correspondientes a los paneles con el factor “I-E”, vemos (figura 59) que OHI-E tiene la mayor resistencia con 216.26 kg, seguido de ACI-E, AGI-E, OTI-E con 155.72 kg, 106.22 kg y 78.92 kg respectivamente, por último, el testigo PL-E con 44.13 kg, también se aprecia que las deformaciones menores son las de ACI-E y PL-E, mientras que la mayor es la OHI-E.



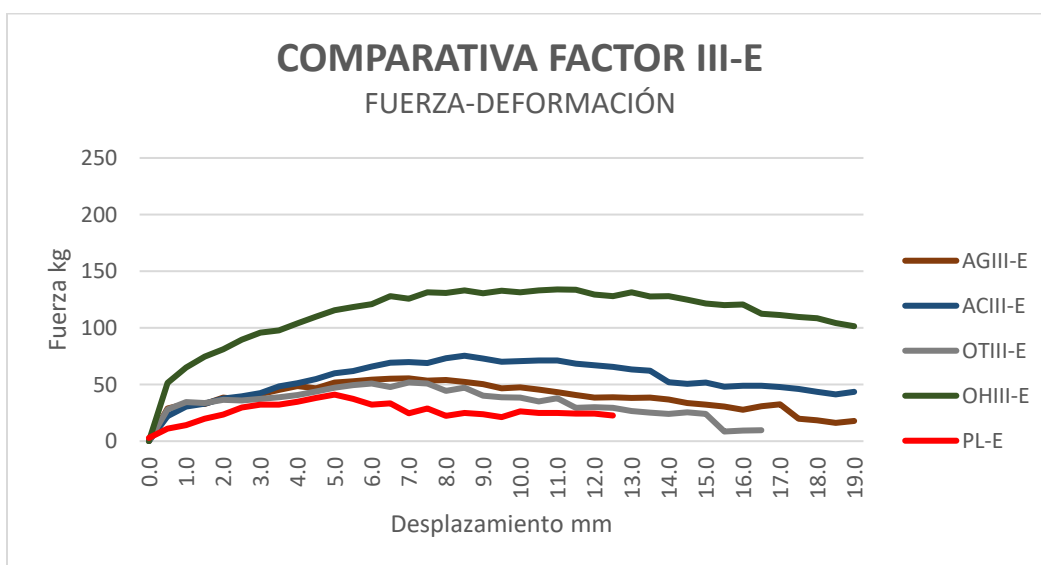
**Figura 59.** Comparativa paneles con factor I-E, empotrados. Fuente: Propia del autor (2021).

De acuerdo con los resultados de las probetas con el factor “II-E”, se aprecian (tabla 60) los tratamientos AGII-E, ACII-E, OTII-E, OHII-E, y el testigo PL-E, en la que se observa que OHII-E fue la de mayor resistencia con 134.79 kg, le sigue la ACII-E con 115.57 kg, después AGII-E con 82.74 kg y por último OTII-E y PL-E con 72.55 kg y 44.13 kg respectivamente, para finalizar se muestra que la mayor deformación la presenta la ACII-E mientras que las menores son la OTII-E y PL-E.



**Figura 60.** Comparativa paneles con factor II-E, empotrados. Fuente: Propia del autor (2021).

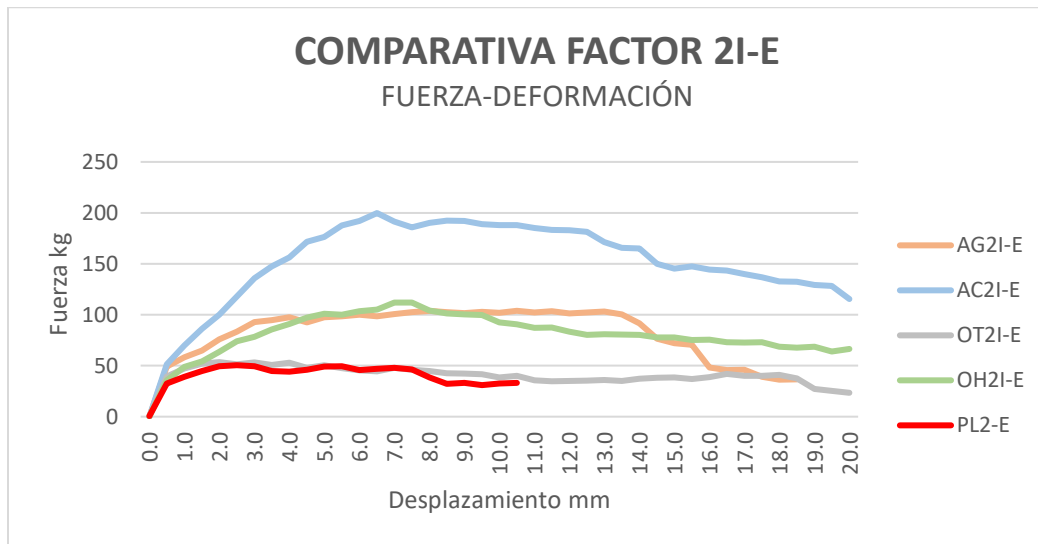
Pasando con los datos obtenidos de las probetas con el factor “III-E” vemos (figura 61) los tratamientos AGIII-E, ACIII-E, OTIII-E, OHIII-E y el testigo PL-E en la que se aprecia que la mayor resistencia es de OHIII-E con 136.92 kg, le siguen ACIII-E, AGIII-E, OTIII-E con 76.58 kg, 57.78 kg y 54.04 kg respectivamente y al último PL-E con 44.13 kg, se observa también que las menores deformaciones son de PL-E y AGIII-E y la mayor es de OHIII-E.



**Figura 61.** Comparativa paneles con factor III-E, empotrados. Fuente: Propia del autor (2021).

## Paneles dobles.

Continuando con los resultados obtenidos de las probetas con el factor “2I-E”, se observan (figura 62) los tratamientos AG2I-E, AC2I-E, OT2I-E, OH2I-E y el testigo PL2-E en la cual la AC2I-E presenta la mayor resistencia con 200.54 kg, le sigue OH2I-E con 114.61 kg, después AG2I-E con 107.07 kg, continua OT2I-E con 56.61 kg, finalizando con PL2-E con 52.58 kg, también se muestra que las menores deformaciones son de OH2I-E y PL2-E, mientras la mayor corresponde a AG2I-E.



**Figura 62.** Comparativa paneles con factor 2I-E, empotrados. Fuente: Propia del autor (2021).

Prosiguiendo con los resultados correspondientes con el factor “2II-E”, vemos (figura 63) los tratamientos AG2II-E, AC2II-E, OT2II-E, OH2II-E y el testigo PL2-E en la que observamos que OH2II-E fue la de mayor resistencia con 215.20 kg, seguido de AC2II-E con 213.50 kg, seguido de AG2II-E con 173.56 kg, por último, OT2II-E y PL2-E con 79.35 y 52.58 kg respectivamente, también se muestra que las deformaciones menores corresponden a OT2II-E y PL2-E, mientras que la mayor corresponde a OH2II-E.



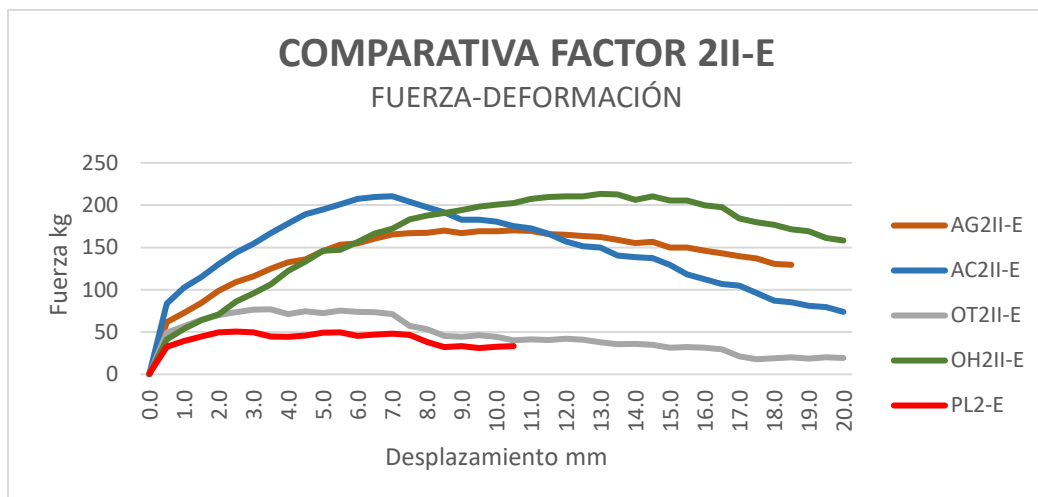


Figura 63. Comparativa paneles con factor 2II-E, empotrados. Fuente: Propia del autor (2021).

Por último, los resultados obtenidos de las probetas con el factor 2III-E, se aprecian (figura 64) los tratamientos AG2III-E, AC2III-E, OT2III-E, OH2III-E y el testigo PL2-E en la que se observa que el de mayor resistencia fue AC2III-E con 176.75 kg, después OT2III-E, AG2III-E y OH2III-E con 139.68 kg, 135.54 kg y 129.69 kg de cada uno y finalizando PL2-E con 52.58 kg, también se muestra que la mayor deformación la presenta AC2III-E y las menores corresponden a AG2III-E y PL2-E.

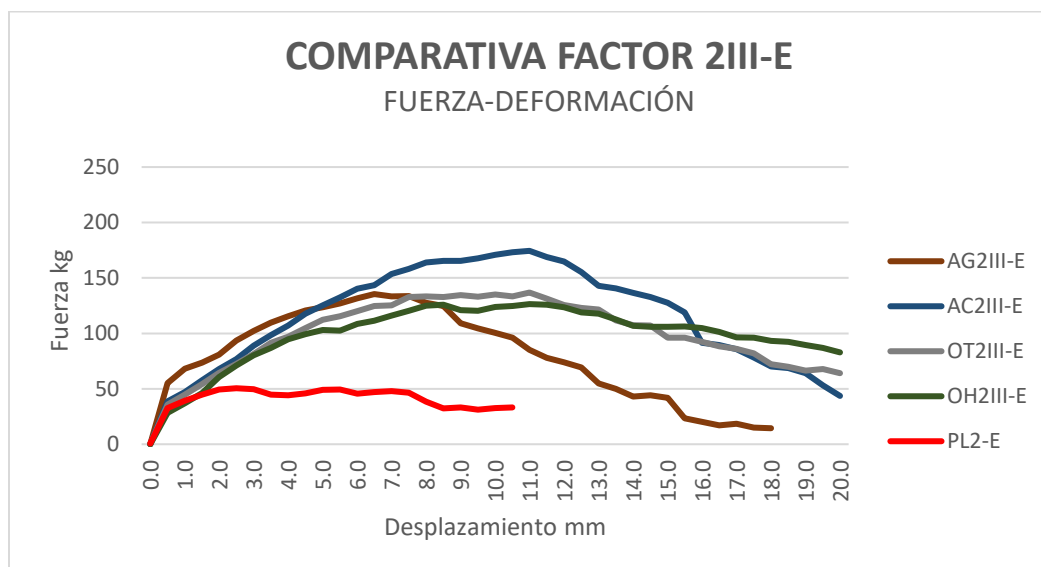


Figura 64. Comparativa paneles con factor 2III-E, empotrados. Fuente: Propia del autor (2021).

En las tablas 18 y 19 se muestra el resumen de los datos analizados de la prueba de resistencia mecánica aplicado a los paneles sencillos y dobles respectivamente. En la primera columna se muestra el ensayo realizado que puede ser simplemente apoyado o empotrado, en el siguiente par de columnas vemos el nombre y la abreviatura asignada a los distintos tipos de tratamientos o especies de bambú empleados, en las siguientes columnas repartidas en serie de tres se encuentran la carga máxima resistente obtenida expresada en kilonewton (kN) y en kilogramos (kg) seguida por la deformación expresada en milímetros (mm) todas ellas correspondientes a cada factor I, II y III, respectivamente.

**Tabla 18.** Resumen del análisis de resultados en las pruebas de resistencia mecánica en paneles sencillos. Elaboración propia del autor (2021).

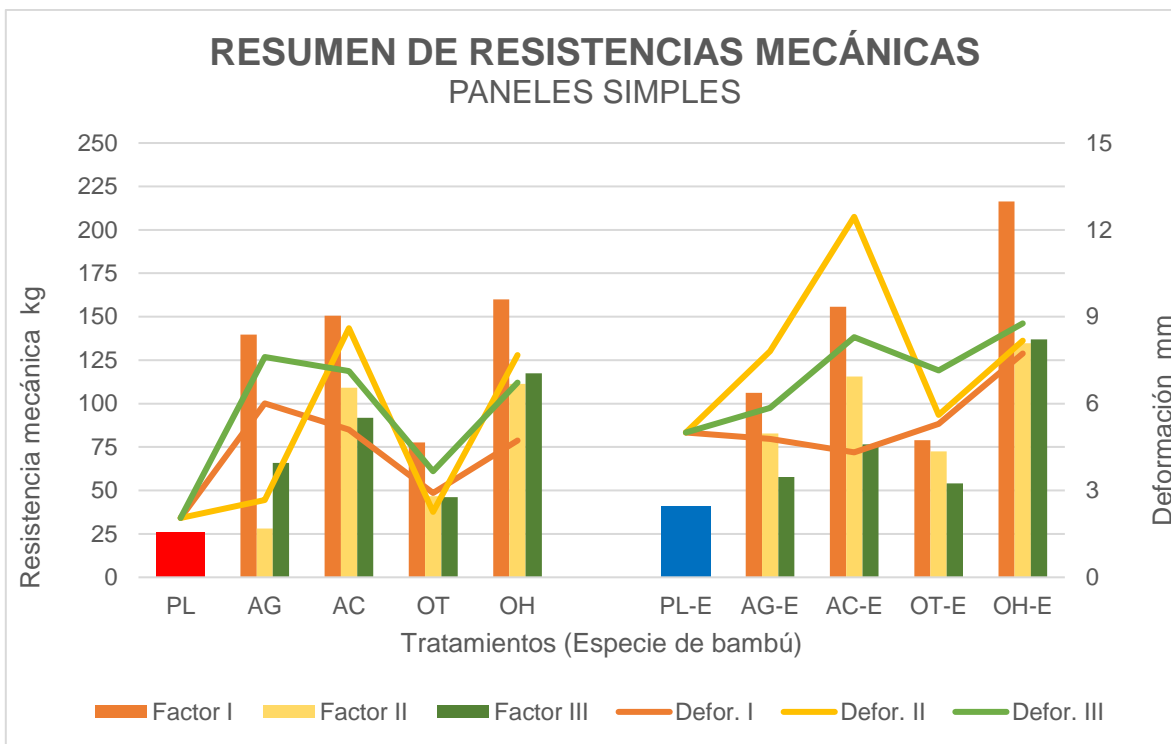
RESUMEN DEL ANÁLISIS DE RESISTENCIA MECÁNICA EN PANELES SENCILLOS											
Ensayo	Tratamiento		Factor								
			I			II			III		
			Fuerza		Defor.	Fuerza		Defor.	Fuerza		Defor.
			kN	kg	mm	kN	kg	mm	kN	kg	mm
Simplemente apoyados	Testigo	PL	0.26	26.02	2.05	0.26	26.02	2.05	0.26	26.02	2.05
	Angustifolia	AG	1.37	139.78	6.01	0.27	28.04	2.67	0.65	65.86	7.61
	Acueleata	AC	1.48	150.51	5.10	1.07	109.09	8.60	0.90	91.77	7.12
	Otatea	OT	0.76	77.65	2.91	0.46	46.74	2.26	0.45	46.10	3.66
	Oldhamii	OH	1.57	159.97	4.73	1.09	111.42	7.68	1.15	117.46	6.73
Empotrados	Testigo	PL-E	0.40	41.11	5.0	0.40	41.11	5.0	0.40	41.11	5.0
	Angustifolia	AG-E	1.04	106.22	4.78	0.81	82.74	7.81	0.57	57.78	5.85
	Acueleata	AC-E	1.53	155.72	4.32	1.13	115.57	12.45	0.75	76.58	8.29
	Otatea	OT-E	0.77	78.92	5.30	0.71	72.55	5.61	0.53	54.07	7.14
	Oldhamii	OH-E	2.12	216.26	7.73	1.32	134.79	8.17	1.34	136.92	8.77

**Tabla 19.** Resumen del análisis de resultados en las pruebas de resistencia mecánica en paneles dobles. Elaboración propia del autor (2021).

RESUMEN DEL ANÁLISIS DE RESISTENCIA MECÁNICA EN PANELES DOBLES											
Ensayo	Tratamiento		Factor								
			2I			2II			2III		
			Fuerza		Defor.	Fuerza		Defor.	Fuerza		Defor.
			kN	kg	mm	kN	kg	mm	kN	kg	mm
Simplemente apoyados	Testigo	PL2	0.69	70.10	3.00	0.69	70.10	3.00	0.69	70.10	3.00
	Angustifolia	AG2	0.97	99.00	5.55	0.41	41.96	5.77	1.69	172.50	6.56
	Acueleata	AC2	2.60	265.33	6.20	1.27	129.91	8.84	1.34	136.28	9.69
	Otatea	OT2	0.62	63.09	1.18	1.57	159.97	9.22	1.06	108.45	7.83

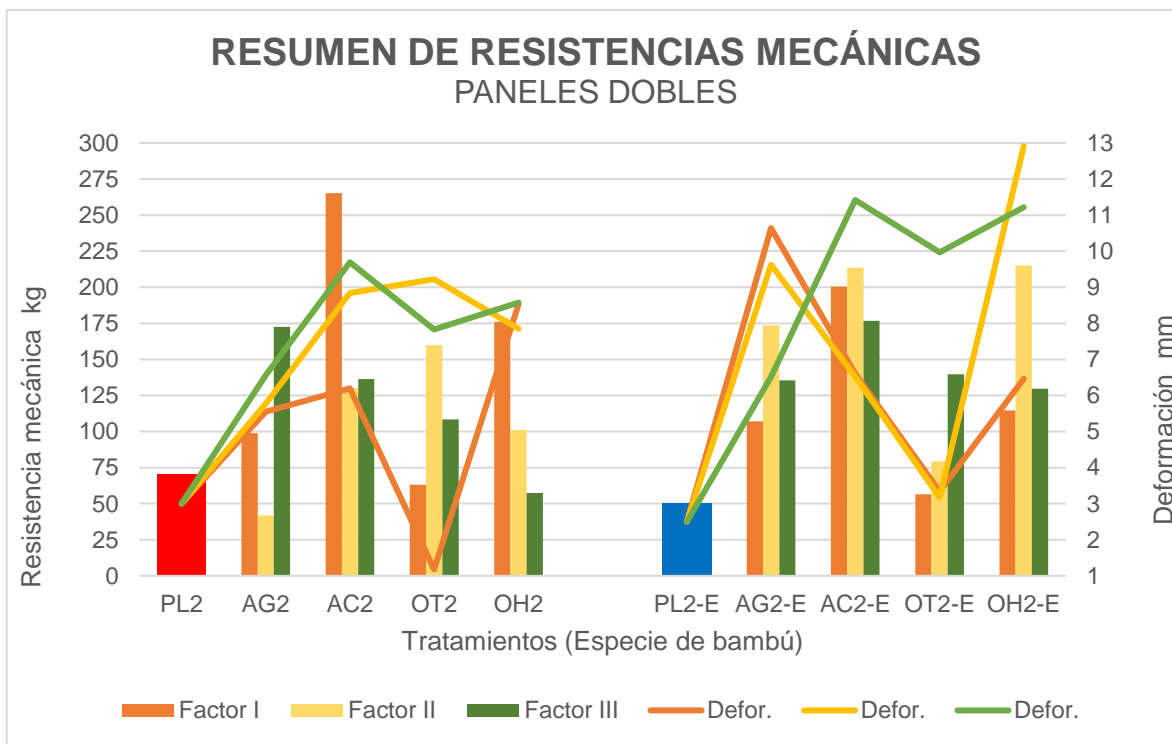
	Oldhamii	OH2	1.73	176.11	8.53	0.99	101.12	7.85	0.56	57.46	8.58
Empotrados	Testigo	PL2-E	0.50	50.51	2.50	0.50	50.51	2.50	0.50	50.51	2.50
	Angustifolia	AG2-E	1.05	107.07	10.64	1.70	173.56	9.62	1.33	135.54	6.52
	Acueleata	AC2-E	1.97	200.54	6.61	2.09	213.50	6.53	1.73	176.75	11.42
	Otatea	OT2-E	0.56	56.61	3.34	0.78	79.35	3.17	1.37	139.68	9.97
	Oldhamii	OH2-E	1.12	114.61	6.46	2.11	215.20	12.91	1.27	129.69	11.22

De acuerdo con los datos mostrados en las tablas anteriores se realizaron un par de gráficas combinadas donde las barras representan la resistencia obtenida y fueron agrupadas primero por el tipo de ensayo realizado, siendo simplemente apoyado (izquierda) y empotrados (derecha) y después de acuerdo a su tratamiento, las líneas por otro lado representan a la deformación alcanzada de acuerdo al factor que se representa por el color; a partir de la tabla 18 correspondiente a los paneles simples se construye la gráfica (figura 65) en ella se puede observar que tanto en las probetas simplemente apoyadas como en las empotradas, la mayoría de los resultados de resistencia y la deformación por tratamiento superan a los testigos, en ambos casos el mejor factor es el “I” representado por el color naranja y el tratamiento el OH ya que por grupo tuvieron las mejores resistencias; por otro lado en los probetas simplemente apoyadas correspondientes a los tratamientos AC y OH observamos que son muy similares tanto en resistencias como en deformación, el factor “III” fue el que tuvo las mayores deformaciones y resistencias comparativamente con el factor “II”, cambiando a los tratamientos empotrados vemos que el factor “I” tuvo las menores deformaciones, el factor “II” las mayores y fue más resistente que el factor “III”, por último mencionar que las probetas empotradas tuvieron mayor deformación que los simplemente apoyados.



**Figura 65.** Resumen de resistencias mecánicas en paneles simples. Fuente: Propia del autor (2021).

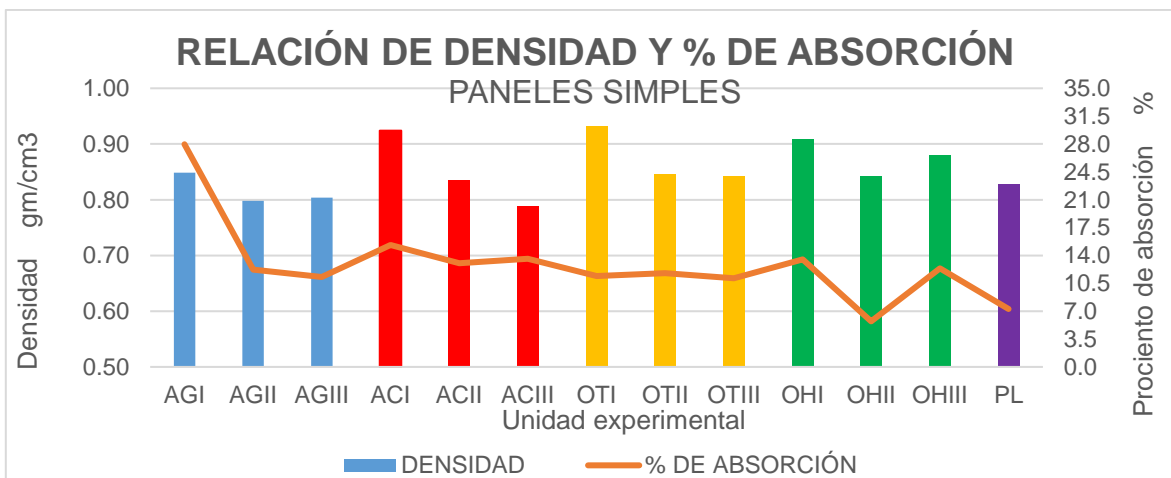
Si siguiendo con los datos mostrados en la tabla 19 correspondientes a los paneles dobles, a continuación, se muestra la gráfica (figura 66) donde se puede observar que en el ensayo simplemente apoyado como en empotrados el tratamiento AC2 tiene las mayores resistencias, mientras que el factor “III” correspondiente al color verde las mayores deformaciones, en los ensayos simplemente apoyados comparando con el testigo PL2, existen factores con menor resistencia correspondiendo al “II”, “I” y “III” de los tratamientos AG2, OT2 y OH2 respectivamente, por otra parte, el factor “I” (naranja) obtuvo las mayores resistencias en los tratamientos AC2 y OH2 pero las menores deformaciones en todos los tratamientos, por su parte, en las empotradas se aprecia que todos los tratamientos superan al testigo PL2-E en resistencia y deformación, el factor “II” (amarillo) obtuvo las mayores resistencias mientras que el factor “III” (verde) fue el que presentó las mayores deformaciones, también vemos que el factor “III” tuvo un comportamiento similar en todos los tratamientos al obtener resistencias mayores a 125 kg, por último se observa que los simplemente apoyados tuvieron menores deformaciones que los empotrados.



**Figura 66.** Resumen de resistencias mecánicas en paneles dobles. Fuente: Propia del autor (2021).

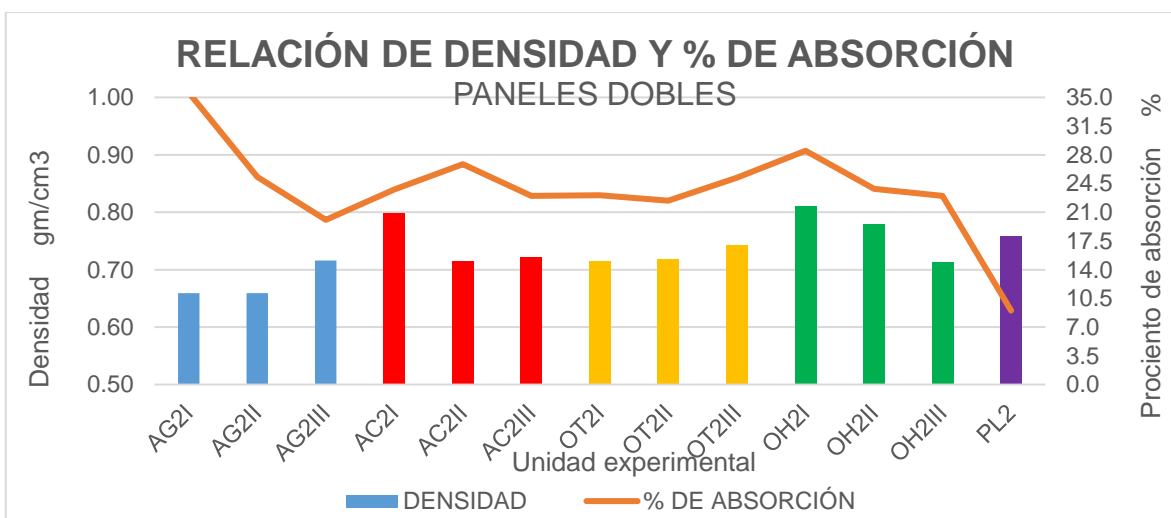
### Absorción de humedad.

De acuerdo con los resultados obtenidos de la prueba de absorción de humedad correspondientes a los paneles simples (tabla 14), se observa (figura 67) una gráfica combinada de columnas y líneas de la relación de densidad y el porcentaje de absorción de humedad, donde cada columna corresponde al promedio obtenido de la densidad de los paneles (simplemente apoyado y empotrado) con el mismo tratamiento, de igual manera el punto de la gráfica de líneas que pasa por cada columna representa el promedio obtenido del porcentaje de absorción de humedad de los paneles simples que tienen el mismo tratamiento; en la gráfica se observa que los tratamientos con mayor densidad fueron OTI con  $0.93 \text{ g/cm}^3$ , enseguida ACI con  $0.92 \text{ g/cm}^3$  y después OHI con  $0.91 \text{ g/cm}^3$ , mientras que los de menor densidad fueron AGII, AGIII ambos con  $0.80 \text{ g/cm}^3$  y ACIII con  $0.79 \text{ g/cm}^3$ ; por su parte en el porcentaje de absorción de humedad los mayores fueron AGI con 28% y ACI con 15.3%, mientras que los menores corresponden a PL con 7.3% y OHII con 5.7%.



**Figura 67.** Relación de densidad y porcentaje de absorción en paneles simples. Fuente: Propia del autor (2021).

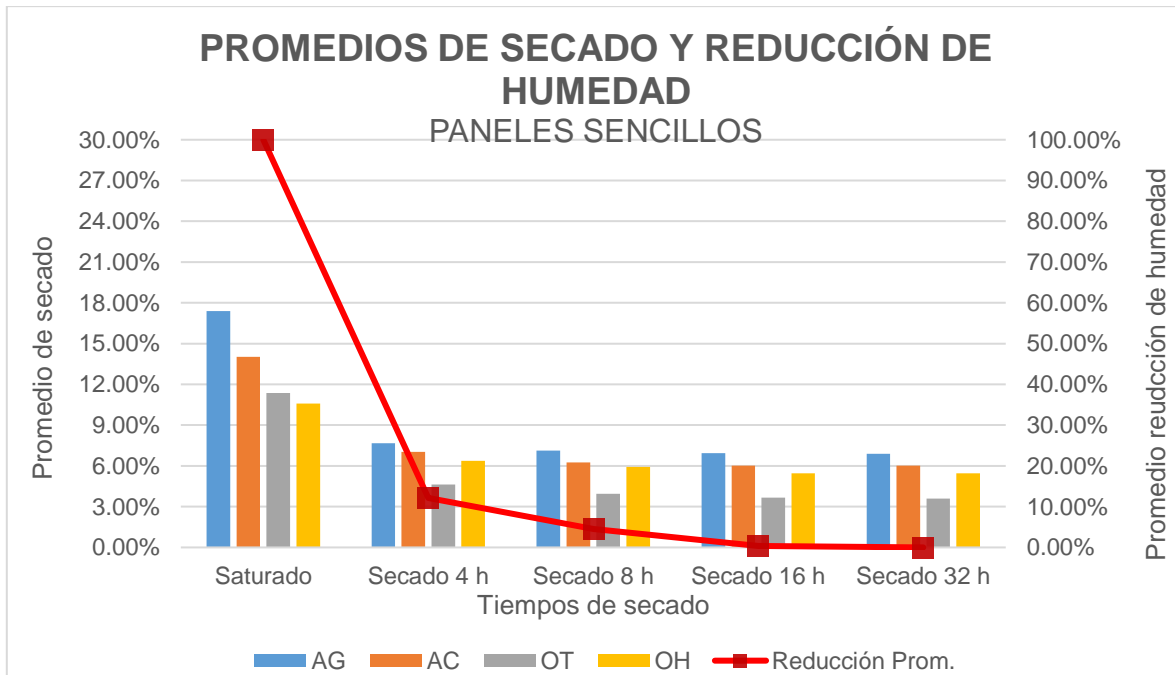
Continuando con los resultados obtenidos en la prueba de absorción de humedad correspondientes a los paneles dobles (tabla 15), se observa (figura 68) la gráfica combinada de columnas y líneas de la relación de densidad y el porcentaje de absorción de humedad, se aprecia que los tratamientos con menor densidad fueron AG2I, AG2II ambos con 0.66 g/cm<sup>3</sup>, seguido de OH2III con 0.71 g/cm<sup>3</sup>, en cambio los de mayor densidad fueron OH2I con 0.81 g/cm<sup>3</sup>, después AC2I con 0.80 g/cm<sup>3</sup> y OH2II con 0.78 g/cm<sup>3</sup>; en el porcentaje de absorción de humedad los menores fueron PL2 con 9% y AG2III con 20.1%, mientras que los mayores pertenecen a AG2I con 35.6% y OH2I con 28.5%.



**Figura 68.** Relación de densidad y porcentaje de absorción en paneles dobles. Fuente: Propia del autor (2021).

## Retención de humedad.

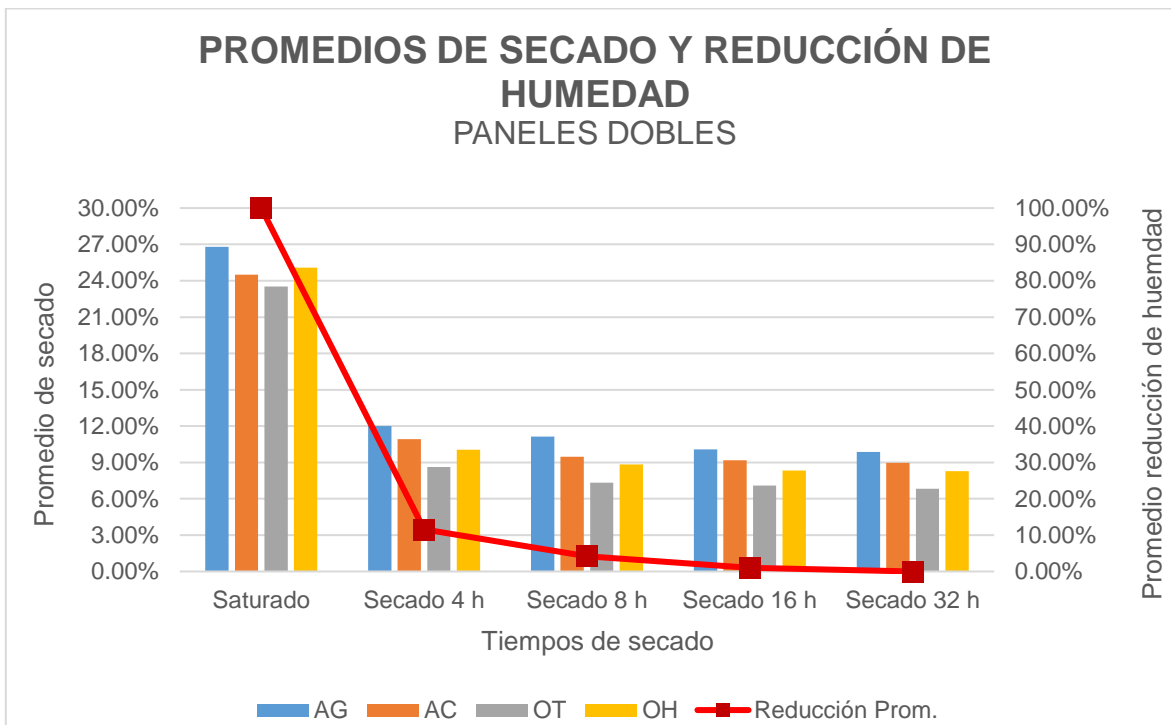
Los resultados obtenidos de la prueba de retención de humedad correspondientes a los paneles simples (tabla 16), se aprecia (figura 69) una gráfica combinada de columnas y líneas de la relación de promedios de secado y reducción de humedad, donde cada columna con el mismo color corresponde al porcentaje de secado de los tratamientos utilizados, en cambio el punto de la gráfica de líneas que pasa por en medio de las columnas representa el promedio obtenido del porcentaje de reducción de humedad de todos los tratamientos; en la gráfica se observa que el tratamiento con mayor diferencia de porcentaje de secado fue AG que paso de tener 17.39% saturado a 6.89% secado, mientras que el de menor diferencia fue OT que paso de tener 11.36% saturado a 3.61% secado; mientras que en el promedio de reducción de humedad vemos que de estar al 100% de saturado paso a 11.90% a las 4 horas, 4.07% a las 8 horas y 0.39% a las 16 horas.



**Figura 69.** Promedios de secado y reducción de humedad en paneles sencillos. Fuente: Propia del autor (2021).

Siguiendo con los resultados obtenidos en la prueba de retención de humedad correspondientes a los paneles dobles (tabla 17), se aprecia (figura 70) una gráfica combinada de columnas y líneas de la relación de promedios de secado

y reducción de humedad, en la gráfica se observa que el tratamiento con menor diferencia de porcentaje de secado fue AC que paso de tener 25.50% saturado a 8.96% secado, mientras que el de mayor diferencia fue AG que paso de tener 26.79% saturado a 9.87% secado; por otro lado en el promedio de reducción de humedad vemos que de estar al 100% de saturado paso a 11.62% a las 4 horas, 4.15% a las 8 horas y 1.04% a las 16 horas.



**Figura 70.** Promedios de secado y reducción de humedad en paneles dobles. Fuente: Propia del autor (2021).



## 5. CONCLUSIONES.

Con base a la información expuesta anteriormente y analizando los objetivos planteados en la investigación se puede comentar lo siguiente: en lo que respecta al objetivo general que menciona “Crear mediante la utilización de esterilla de bambú (material fibroso) y polietileno de alta densidad (desechos plásticos reciclados y triturados), un material que pueda utilizarse en la construcción aprovechando sus características mecánicas e hidrofóbicas que contribuya a la disminución de la contaminación”, se logró ya que mediante un proceso metodológico planteado y la utilización de herramientas, equipo y materiales se crearon paneles con plástico reciclado de alta densidad y esterilla de bambú en los cuales pudimos medir sus características de resistencia y de absorción y retención de humedad, además de estar reutilizando un material contaminante como lo es el PEAD y el uso del bambú como una madera alternativa y de menor impacto ambiental.

En los objetivos particulares se logró “Conocer las características de los materiales empleados para la realización de la muestras” gracias a la investigación documental tanto del bambú como el PEAD, también se cumplió “Definir y diseñar el sistema a implementar para la unión de los componentes” haciendo el diseño de la maquina utilizada para la creación de los paneles uniéndolo mediante termocompresión, se consigue “Realizar el diseño experimental con las diferentes variables que participan en los modelos propuestos” mediante el diseño experimental denominado *diseño de bloques completamente aleatorizados*, se logró “Realizar los prototipos de prueba que se obtuvieron mediante el diseño experimental” gracias a la maquina se lograron hacer los paneles de acuerdo a los tratamientos y factores determinados en el diseño experimental, se cumple “Obtener los resultados de las pruebas mecánicas y de humedad realizadas y generar la base de datos” todo expuesto desde las tablas 12 a la 17 y por último se consigue “Analizar y comparar las muestras que presentan una mejor capacidad mecánica y una mejor resistencia a la humedad” presentadas en las gráficas en el análisis de los resultados.

La hipótesis establecida que menciona “Dadas las características de resistencia mecánica del bambú y la cualidad hidrofóbica de los plásticos, se puede crear con la unión de la esterilla de bambú y el polietileno de alta densidad (PEAD), un material útil en la construcción, que sea de baja densidad y de alta resistencia tanto mecánica como a la humedad” es parcialmente aceptada, ya que considerando los tratamientos con mayor resistencia mecánica presentados en la figura 71, tuvieron un valor mayor que los testigos, es decir, se logró mejorar la resistencia combinando la esterilla de bambú con plástico de alta densidad en comparación con el fabricado simplemente de plástico, también la mayoría de estos tratamientos lograron obtener una resistencia mayor a los 100 kg, las deformaciones

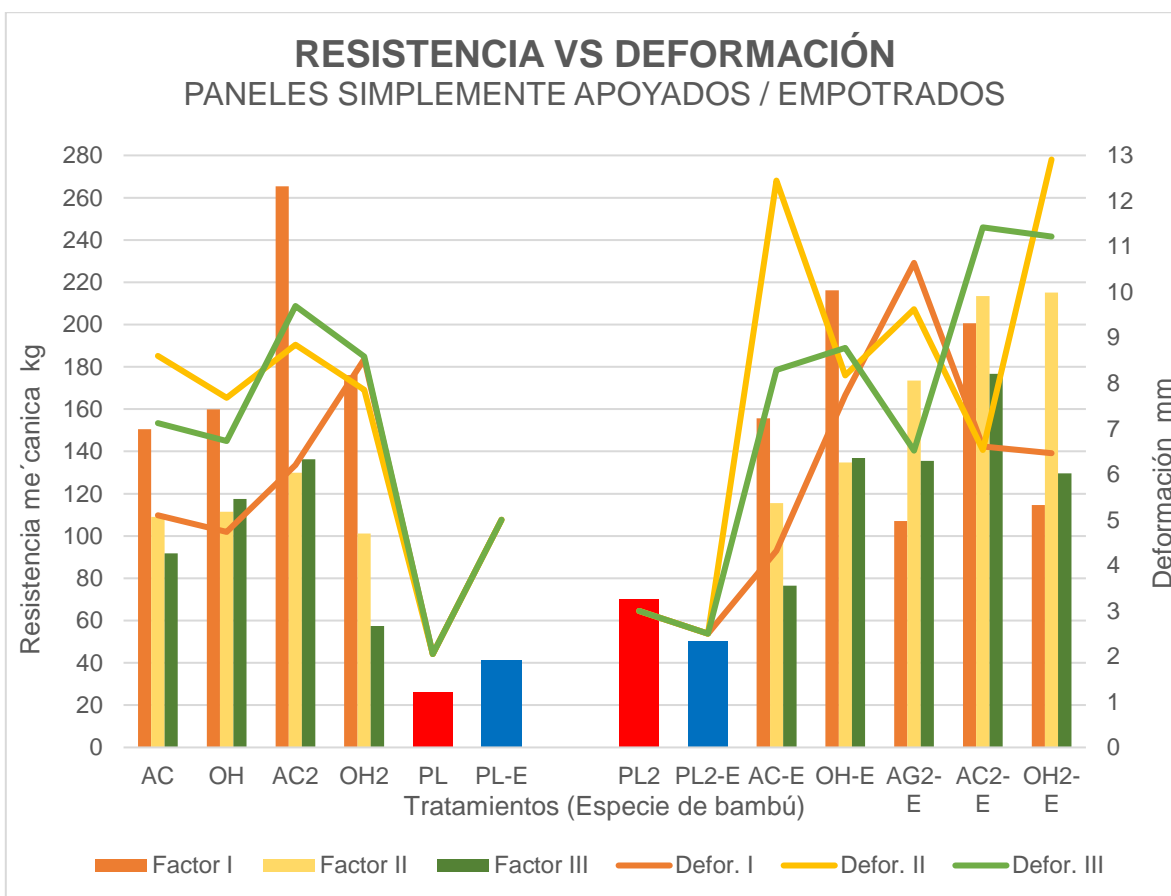
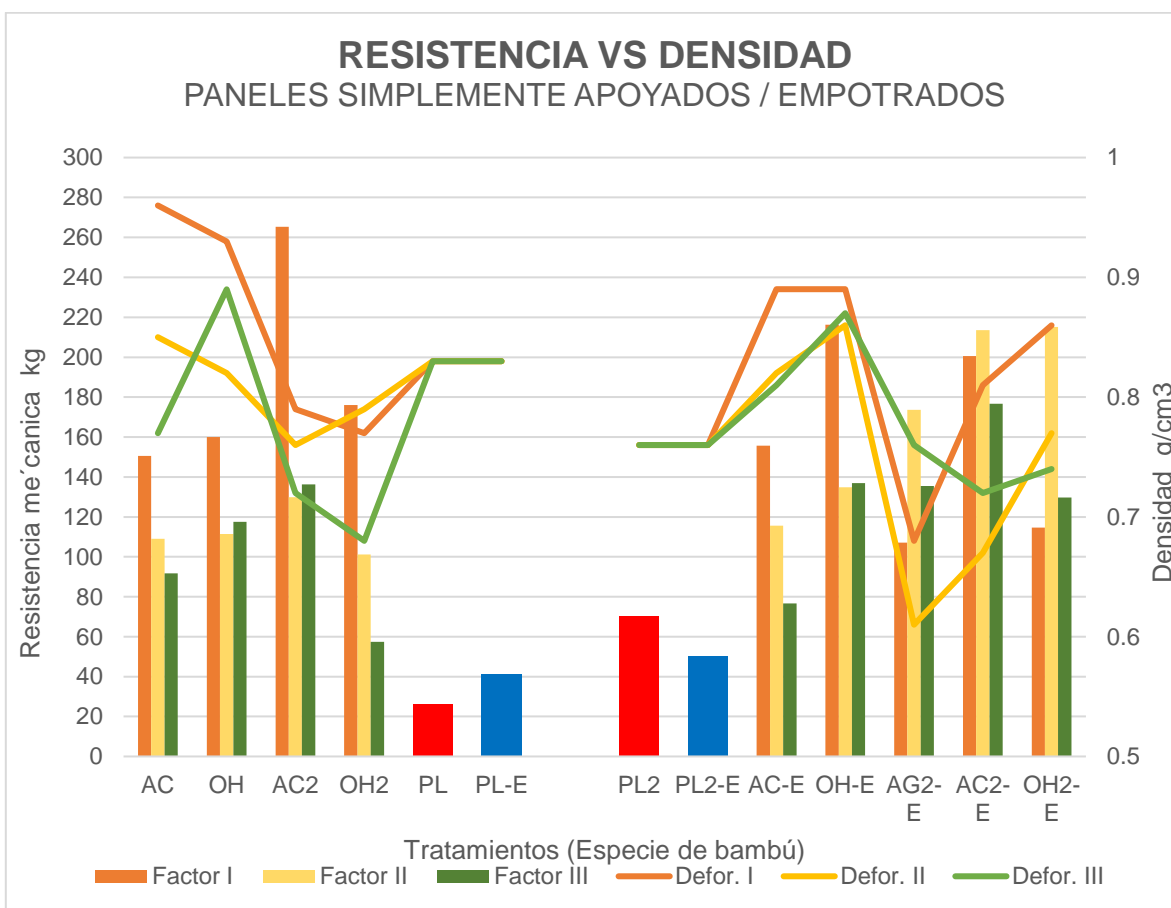


Figura 71. Comparativa de resistencia y deformación en paneles simplemente apoyados y empotrados. Fuente: Propia del autor (2021).

presentadas muestran relaciones entre el factor empleado y la resistencia obtenida, es decir los tratamientos con el factor “III” tuvieron las mayores deformaciones, pero

las menores resistencias en comparación con el factor “I” que fueron las menores deformaciones y mayores resistencias, con esto podemos señalar que tanto los factores “II” y “III” corresponden a materiales dúctiles al haber presentado deformaciones en todos los paneles.

Con relación a la característica de densidad, los tratamientos con las mejores resistencias presentados anteriormente, obtuvieron en la mayoría de los casos densidades menores que los testigos como se muestra en la figura 72, es decir que de igual manera esta característica se logró mejorar gracias a la combinación de plástico y esterilla de bambú en comparación de solamente plástico, también se observa que los tratamientos con factor “I” fueron los que tuvieron mayor densidad, en contraste con los factores “II” y “III”, correspondiendo los más bajos este último.



**Figura 72.** Comparativa de resistencia y densidad en paneles simplemente apoyados y empotrados. Fuente: Propia del autor (2021).

Con relación a la absorción de humedad, dado que se mide a partir de la diferencia de los pesos estando el material seco versus saturado, se esperaba en los paneles un ligero aumento, la realidad fue que en la mayoría si se presentó, ya que fue mayor al 20% porcentaje significativo, esto debido a fallas en la elaboración de las probetas causadas por diferentes factores, uno de ellos ocurrió en el diseño y construcción de la máquina para realizar los paneles, debido a que al utilizar resistencias que no tenían la misma potencia generaban temperaturas diferentes provocando una fundición del plástico irregular, con esto muchos paneles quedaron con pequeños huecos donde se logró filtrar el agua al interior llegando hasta el bambú dotándolo de humedad, provocando que pasadas las 32 horas de secado establecidas en la prueba de retención de humedad, el material no volvió a su peso seco, no obstante analizando los resultados de absorción (figura 65 y 66) del rubro de resultados, se observa que los paneles simples que contienen menor cantidad de bambú y plástico tienen mayor densidad y menor absorción que los dobles, ya que estos presentan menor densidad pero mayor absorción de humedad, por lo tanto podemos decir que a mayor densidad menos absorción de humedad y viceversa.

Los resultados obtenidos de retención de humedad mostrados en la figura 67 del apartado de análisis y discusión de resultados se presenta el promedio obtenido del porcentaje de reducción de humedad siendo AG el de mayor diferencia y el más rápido en secarse, mientras que el de menor diferencia fue OT fue el que tardo más en secarse. Siguiendo con los resultados de retención de humedad correspondientes a los paneles dobles (figura 68) se observa que AG fue el de mayor diferencia y más rápido en secarse, mientras que AC fue le de menor diferencia y tardo más en secarse.

En todo proceso de investigación se logra obtener siempre resultados o información que por más insignificante que parezca es de vital importancia para aportar en el campo que se está estudiando, en esta investigación encontramos que hablando de resistencia mecánica, las especies de bambú que obtuvieron mejores valoraciones son la “Guadua Aculeata” y “Bambusa Oldhamii” tanto en los ensayos



de simplemente apoyados como empotrados, mientras que la especie “Otatea Acuminata” fue la que obtuvo los valores más bajos, por otro lado se observa que las probetas empotradas sometidas a prueba de resistencia mecánica lograron mejores resultados que las simplemente apoyadas, en lo que respecta a las deformaciones la especie de bambú “Guadua Aculeata” fue la que tuvo las mayores deformaciones tanto en los paneles dobles como en los simples. Cabe destacar que el tratamiento con mayor resistencia fue el AC2I perteneciente a los simplemente apoyados presentado en el grafico 70.

Además de los resultados presentados, otras de las aportaciones que se lograron con este trabajo de investigación se enumeran a continuación:

- Se crea una nueva alternativa de reciclaje para el polietileno de alta densidad.
- También se genera un nuevo uso para la esterilla de bambú.
- Se crea material de bajo impacto al reutilizar un plástico y utilizar una planta de rápido crecimiento como lo es el bambú.
- Se trata de un material sustentable ya que cumple con las premisas de que al usarse no estaría ocasionando daño al medio ambiente y no está agotando recursos naturales no renovables.
- Por último, se presenta como un material alternativo en la construcción ya que es una solución tecnológica, utiliza un material de reciclaje y retoma un material vegetal como el bambú.

A partir de las observaciones hechas y resultados obtenidos de la investigación se generan recomendaciones que mejoran el proceso y los resultados, además de crear nuevas áreas de estudio que fortalezcan el conocimiento en relación a los métodos de fabricación de los paneles, en lo que respecta a la máquina de termo fusión se recomienda la utilización de equipos patentados para



esta función, pero si es el caso en que se va a construir, utilizar resistencias con la misma potencia, esto para garantizar la uniformidad de la temperatura de fundición y no existan problemas de que una parte recibió menor o mayor temperatura haciendo que el plástico no se adhiriera bien al bambú, otro aspecto que se puede implementar en la maquina es utilizar termómetros digitales conectados a las placas para que muestren a que temperatura están trabajando las resistencias y no calentar de más el plástico pudiendo llegar a quemar el bambú; en lo que respecta al plástico triturado pese a que se seleccionó cierto tamaño entre 3 y 4 milímetros, emplear partículas más pequeñas o más pulverizado será más fácil y rápido derretirlo para la elaboración de los paneles, de igual manera explorar otras especies de bambú así como otros tipos de plástico ya sea polietileno de baja densidad, poliestireno, pet, etc.

Otra recomendación se refiere a la prueba de retención de humedad la cual es ampliar el tiempo en que se desarrolle la prueba quizás dando más horas, días o incluso semanas para observar el comportamiento de los paneles. También como una nueva alternativa para la fabricación de los paneles seria que, en lugar de utilizar esterilla de bambú, sería conveniente emplear esterilla, hojarasca y restos del bambú con cierto grado de trituración con partículas de tamaño similares entre plástico y bambú.

Con todo lo observado, analizado y concluido en la investigación se pueden plantear nuevas preguntas de investigación:

- Dado que se observó un comportamiento y resultados favorables en los paneles tanto en resistencia mecánica como deformación, la nueva pregunta seria ¿Los paneles de mayor tamaño se comportarán de igual manera en resistencia mecánica y deformación?
- Dado que al realizar la prueba de resistencia mecánica en los paneles se obtuvo un buen comportamiento la pregunta sería ¿Qué características se



deben cambiar o mejorar en tamaño, proporciones porcentajes, etc. para poder obtener resultados favorables en prueba de flexo compresión?

- Por los resultados logrados mediante la termo fusión al combinar la esterilla de bambú con el plástico de alta densidad pudiéramos preguntarnos, ¿Qué otros métodos pudiéramos emplear para que la unión de los materiales, igualara o mejorara los resultados obtenidos en esta investigación?



## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Aguilar, L. (2018). Manual para la construcción con bambú. Ciudad de México, México.
- Aguilar, L. (2020). Catálogo de bambú en México. Ciudad de México, México.
- Becerra, J. (2013). Análisis energético y ambiental en la producción de tableros de esterilla de guadua laminada. (*Tesis de licenciatura*). Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia.
- Chaowana, P. &. (2017). Bamboo: Potential material for biocomposites. *Lignocellulosic Fibre and Biomass-Based Composite Materials*, 259-289.
- Di Bernardo, E., Perone, D., & Mateos, L. (2015). *Los polímeros en la arquitectura*. Obtenido de <https://m1db.files.wordpress.com/2012/05/los-polc3admeros-en-la-arquitectura.pdf>
- H., A. D. (1972). *PLASTICOS PARA ARQUITECTOS Y CONSTRUCTORES*. BARCELONA: EDITORIAL REVERTÉ, S.A.
- Hosler, D., Burkett, S. L., & Tarkanian, M. J. (1999). Prehistoric Polymers: Rubber Processing in Ancient Mesoamerica. *Science* , 284.
- Janssen, J. (1980). The mechanical properties of bamboo used in construction. *In: Proceedings: Bamboo Research in Asia*. Eindhoven University of Technology., Netherlands.
- Jing Feng, Q. S. (2014). Mold Resistance and Water Absorption of Wood/HDPE and Bamboo/HDPE Composites. *Journal of Applied Sciences*, 776-783.
- Jurado, X. E. (2012). *Los Plásticos Residuales y Sus Posibilidades de Valoración*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.
- Khalil, H. A. (2012). Bamboo fibre reinforced biocomposites: A review. *Materials & Design*, 353-368.



- Md. Shaharul Islam, M. H. (2019). A Study on Moisture Content of Bamboo Fiber Reinforced HDPE Composite at Different Temperature. *American Journal of Chemical Research*, 3-16.
- MIYASHITA, Y. Y. (2016). Fabrication of composite material between HDPE and bamboo fiber by using friction stirring. . *The Proceedings of the Materials and Processing Conference*,, 132.
- Ordóñez, V., Mejía, T., & Bárcenas, G. (2011). *Manual para la construcción sustentable con bambú*.
- Plastics Europe. (2012). *Los plásticos para una arquitectura moderna y sostenible*.  
Obtenido de  
<https://legacy.plasticseurope.org/es/resources/publications/321-los-plasticos-para-una-arquitectura-moderna-y-sostenible>
- Ren, W. H. (2014). Mechanical and thermal properties of bamboo filler-high density polyethylene composites. *Beijing Linye Daxue Xuebao/Journal of Beijing Forestry University*,, 133–140.
- Roca, E. (2005). Estudio de las propiedades y aplicaciones industriales del polietileno de alta densidad (PEAD). (*Tesis de licenciatura*). Universidad de San Carlos de Guatemala, Ciudad de Guatemala, Guatemala. Obtenido de [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_0639\\_Q.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0639_Q.pdf)
- Rodriguez, R. (2005). Determinación de la distribución potencial de las especies nativas e introducidas de bambú en México. (*Tesis de licenciatura*). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México. Obtenido de [https://ru.dgb.unam.mx/handle/DGB\\_UNAM/TES01000601865](https://ru.dgb.unam.mx/handle/DGB_UNAM/TES01000601865)
- Wang, Y.-H. &. (2013). Production of Bamboo-plastic Products from Bamboo Residus. *China Pulp & Paper*.

## 7. ANEXOS.

### ANEXO 1. - FICHAS DE PANELES.

I.- DATOS GENERALES		
PROBETA	COMPOSICIÓN	
AGI	Esterilla de Bambú Guada Angustifolia de 1 x 1 cm + PEAD	
FECHA	PRUEBA	
22/08/2021	Resistencia Mecánica / Absorción y Retención de Humedad	

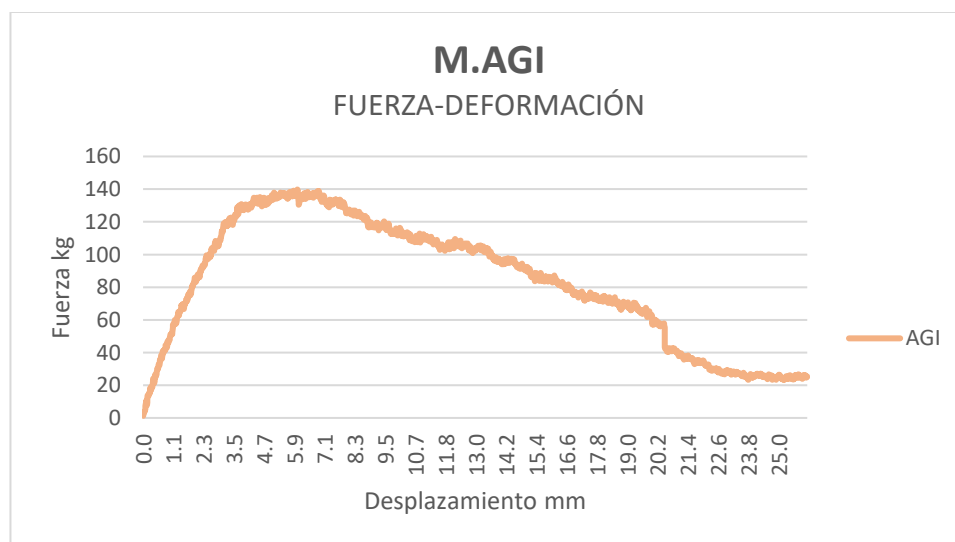


II.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
DIMENSIÓN cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	VOLÚMEN m <sup>3</sup>
16 x 16 x 1.3	256	0.00033

PESO (en seco) kg	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>	FATIGA kg/cm <sup>2</sup>
0.297	892.43	297.41

PESO (saturado) kg	CARGA MÁXIMA kN	FUER-DEF MAX kg
0.39	1.37	139.78

### III.- GRÁFICA



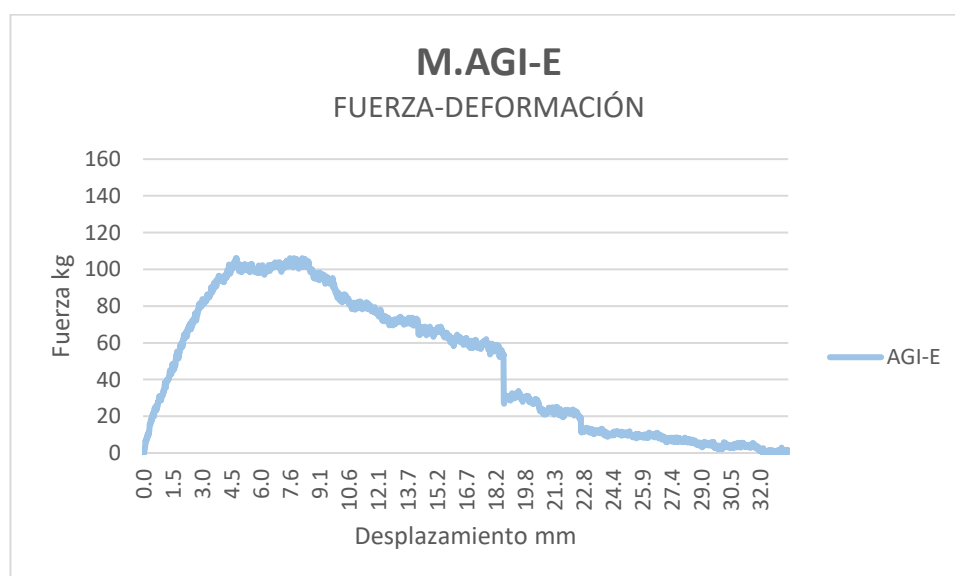
I.- DATOS GENERALES		
PROBETA	COMPOSICIÓN	
AGI-E	Esterilla de Bambú Guada Angustifolia de 1 x 1 cm + PEAD	
FECHA	PRUEBA	
22/08/2021	Resistencia Mecánica / Absorción y Retención de Humedad	

II.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
DIMENSIÓN cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	VOLÚMEN m <sup>3</sup>
16 x 16 x 1.3	256	0.00033

PESO (en seco) kg	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>	FATIGA kg/cm <sup>2</sup>
0.268	805.29	226.00

PESO (saturado) kg	CARGA MÁXIMA kN	FUER-DEF MAX kg
0.334	1.04	106.22

### III.- GRÁFICA



I.- DATOS GENERALES	
PROBETA	COMPOSICIÓN
AGII	Esterilla de Bambú Guada Angustifolia de 1 x 0.5 cm + PEAD
FECHA	PRUEBA
22/08/2021	Resistencia Mecánica / Absorción y Retención de Humedad

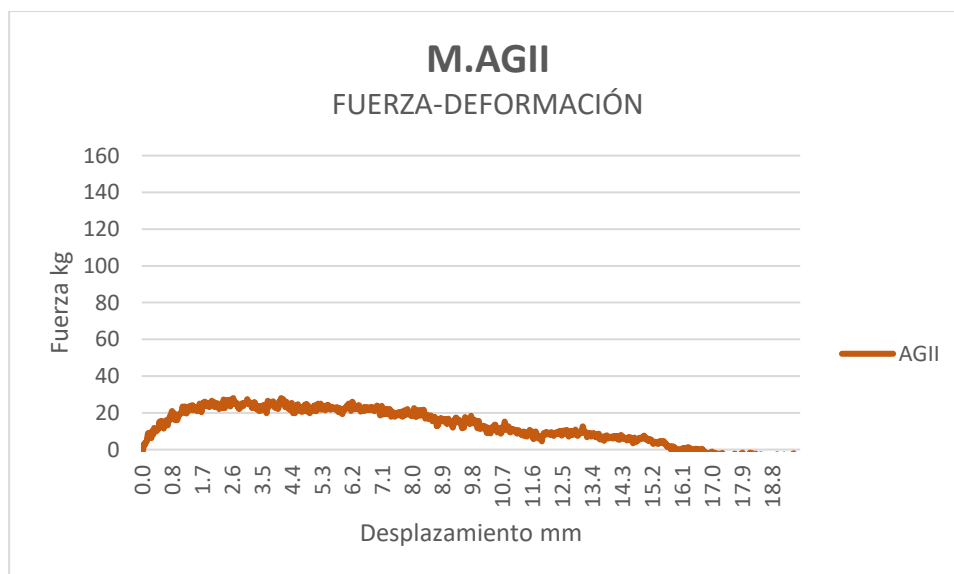


II.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
DIMENSIÓN cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	VOLÚMEN m <sup>3</sup>
16 x 16 x 1.3	256	0.00033

PESO (en seco) kg	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>	FATIGA kg/cm <sup>2</sup>
0.274	823.32	59.66

PESO (saturado) kg	CARGA MÁXIMA kN	FUER-DEF MAX kg
0.325	0.27	28.04

### III.- GRÁFICA



I.- DATOS GENERALES		
PROBETA	COMPOSICIÓN	
AGII-E	Esterilla de Bambú Guada Angustifolia de 1 x 0.5 cm + PEAD	
FECHA	PRUEBA	
22/08/2021	Resistencia Mecánica / Absorción y Retención de Humedad	

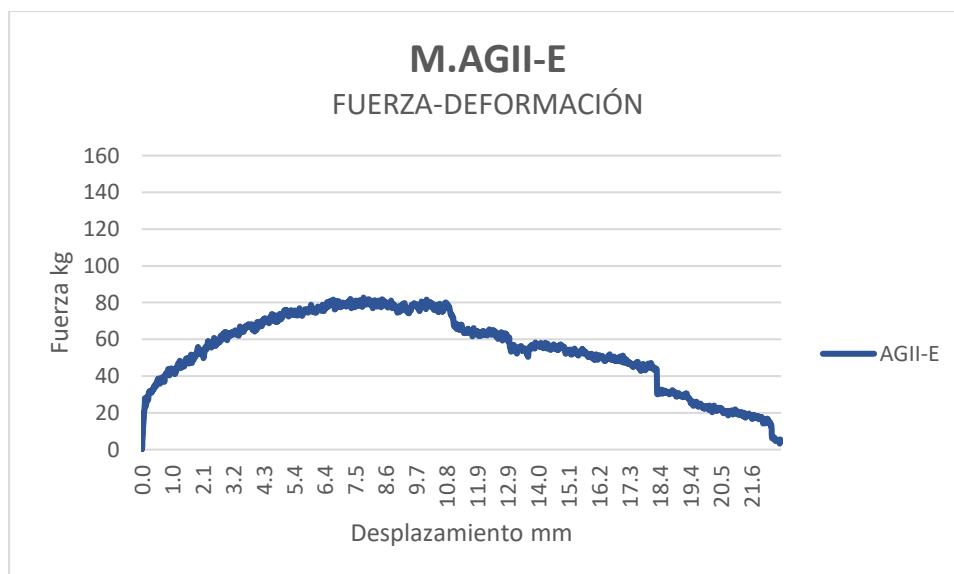


II.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
DIMENSIÓN cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	VOLÚMEN m <sup>3</sup>
16 x 16 x 1.3	256	0.00033

PESO (en seco) kg	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>	FATIGA kg/cm <sup>2</sup>
0.257	772.24	176.05

PESO (saturado) kg	CARGA MÁXIMA kN	FUER-DEF MAX kg
0.272	0.81	82.74

### III.- GRÁFICA



I.- DATOS GENERALES		
PROBETA	COMPOSICIÓN	
AGIII	Esterilla de Bambú Guada Angustifolia de 0.5 x 0.5 cm + PEAD	
FECHA	PRUEBA	
22/08/2021	Resistencia Mecánica / Absorción y Retención de Humedad	

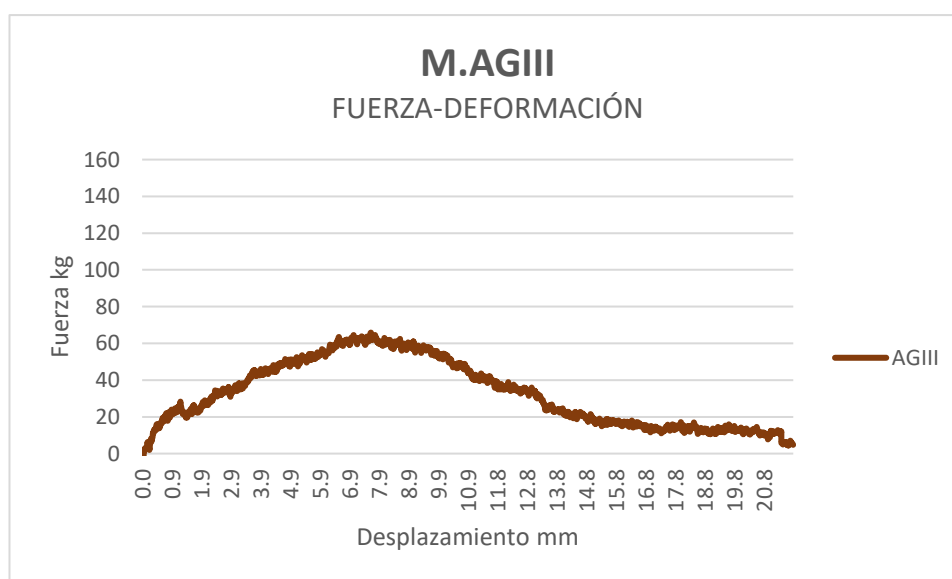



II.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
DIMENSIÓN cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	VOLÚMEN m <sup>3</sup>
16 x 16 x 1.3	256	0.00033

PESO (en seco) kg	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>	FATIGA kg/cm <sup>2</sup>
0.279	838.34	140.12

PESO (saturado) kg	CARGA MÁXIMA kN	FUER-DEF MAX kg
0.33	0.65	65.86

### III.- GRÁFICA



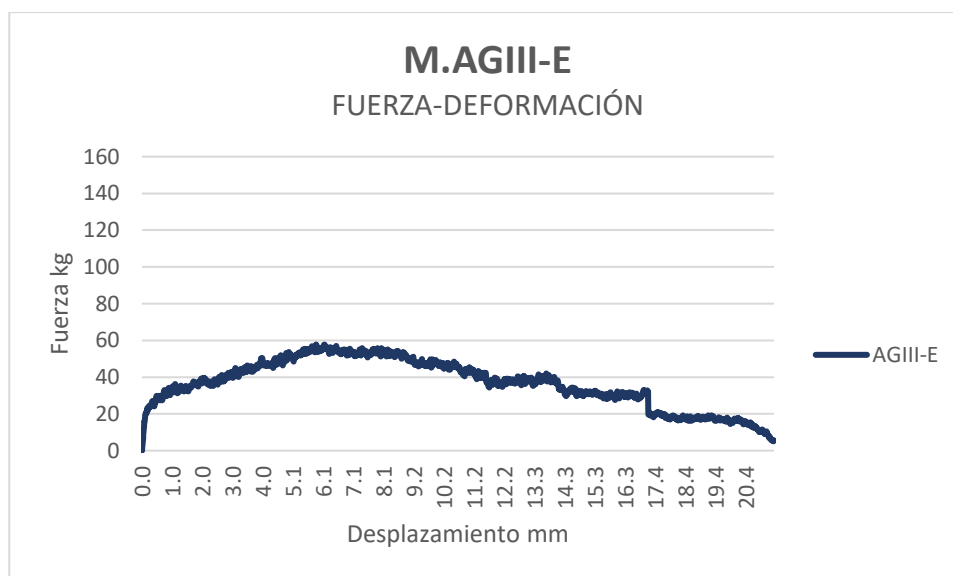
I.- DATOS GENERALES		
PROBETA	COMPOSICIÓN	
AGIII-E	Esterilla de Bambú Guada Angustifolia de 0.5 x 0.5 cm + PEAD	
FECHA	PRUEBA	
22.08.2021	Resistencia Mecánica / Absorción y Retención de Humedad	


II.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
DIMENSIÓN cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	VOLÚMEN m <sup>3</sup>
16 x 16 x 1.3	256	0.00033

PESO (en seco) kg	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>	FATIGA kg/cm <sup>2</sup>
0.256	769.23	122.94

PESO (saturado) kg	CARGA MÁXIMA kN	FUER-DEF MAX kg
0.267	0.57	57.78

### III.- GRÁFICA



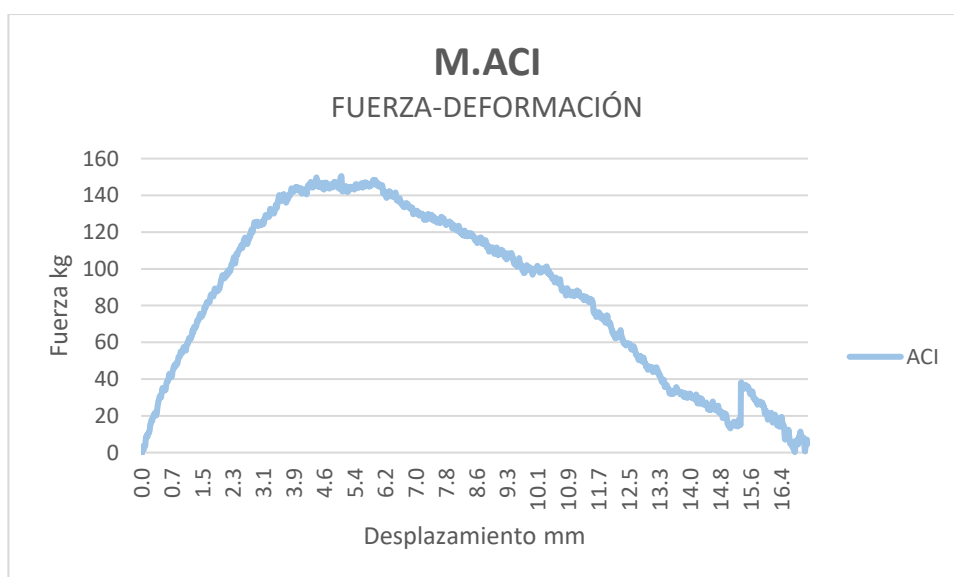
I.- DATOS GENERALES		
PROBETA	COMPOSICIÓN	
ACI	Esterilla de Bambú Guada Aculeata de 1 x 1 cm + PEAD	
FECHA	PRUEBA	
22/08/2021	Resistencia Mecánica / Absorción y Retención de Humedad	

II.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
DIMENSIÓN cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	VOLÚMEN m <sup>3</sup>
16 x 16 x 1.3	256	0.00033

PESO (en seco) kg	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>	FATIGA kg/cm <sup>2</sup>
0.32	961.54	320.24

PESO (saturado) kg	CARGA MÁXIMA kN	FUER-DEF MAX kg
0.392	1.48	150.51

### III.- GRÁFICA





I.- DATOS GENERALES		
PROBETA	COMPOSICIÓN	
ACI-E	Esterilla de Bambú Guada Aculeata de 1 x 1 cm + PEAD	
FECHA	PRUEBA	
22/08/2021	Resistencia Mecánica / Absorción y Retención de Humedad	

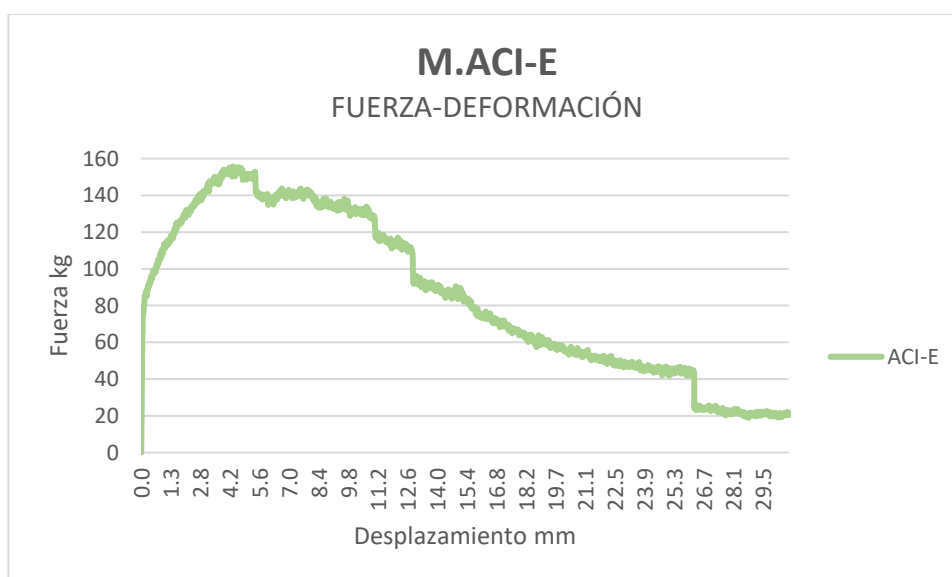


II.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
DIMENSIÓN cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	VOLÚMEN m <sup>3</sup>
16 x 16 x 1.3	256	0.00033

PESO (en seco) kg	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>	FATIGA kg/cm <sup>2</sup>
0.295	886.42	331.31

PESO (saturado) kg	CARGA MÁXIMA kN	FUER-DEF MAX kg
0.319	1.53	155.72

### III.- GRÁFICA



I.- DATOS GENERALES		
PROBETA	COMPOSICIÓN	
ACII	Esterilla de Bambú Guada Aculeata de 1 x 0.5 cm + PEAD	
FECHA	PRUEBA	
22/08/2021	Resistencia Mecánica / Absorción y Retención de Humedad	

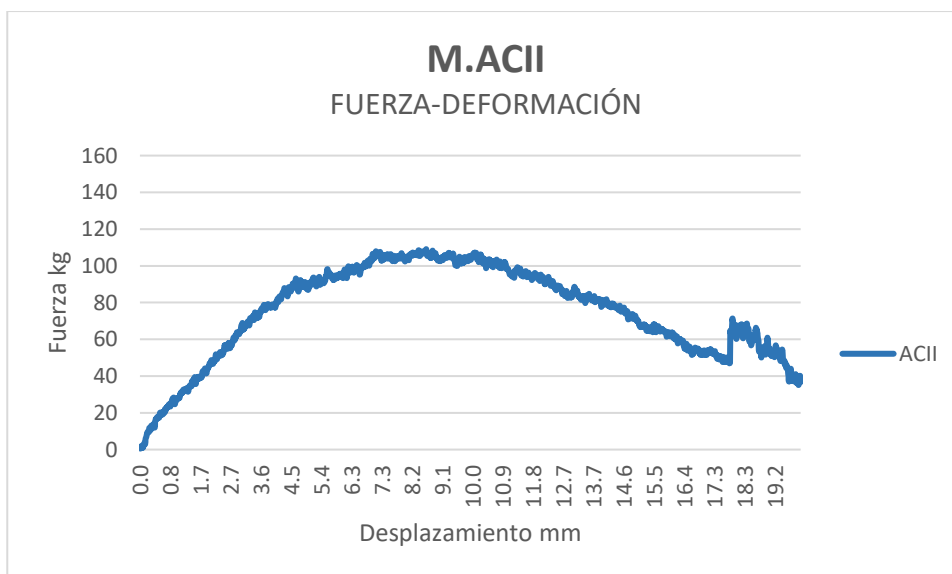


II.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
DIMENSIÓN cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	VOLÚMEN m <sup>3</sup>
16 x 16 x 1.3	256	0.00033

PESO (en seco) kg	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>	FATIGA kg/cm <sup>2</sup>
0.282	847.36	232.10

PESO (saturado) kg	CARGA MÁXIMA kN	FUER-DEF MAX kg
0.338	1.07	109.09

### III.- GRÁFICA



I.- DATOS GENERALES		
PROBETA	COMPOSICIÓN	
ACII-E	Esterilla de Bambú Guada Aculeata de 1 x 0.5 cm + PEAD	
FECHA	PRUEBA	
22/08/2021	Compresión /Adsorción de humedad	

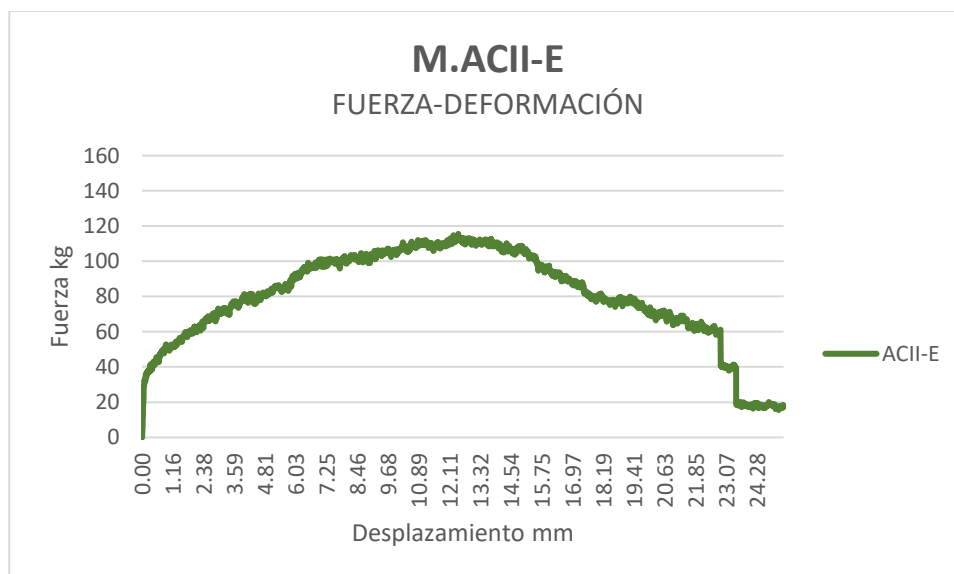


II.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
DIMENSIÓN cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	VOLÚMEN m <sup>3</sup>
16 x 16 x 1.3	256	0.00033

PESO (en seco) kg	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>	FATIGA kg/cm <sup>2</sup>
0.273	820.31	245.89

PESO (saturado) kg	CARGA MÁXIMA kN	FUER-DEF MAX kg
0.29	1.13	115.57

### III.- GRÁFICA



I.- DATOS GENERALES		
PROBETA	COMPOSICIÓN	
ACIII	Esterilla de Bambú Guada Aculeata de 0.5 x 0.5 cm + PEAD	
FECHA	PRUEBA	
22/08/2021	Resistencia Mecánica / Absorción y Retención de Humedad	

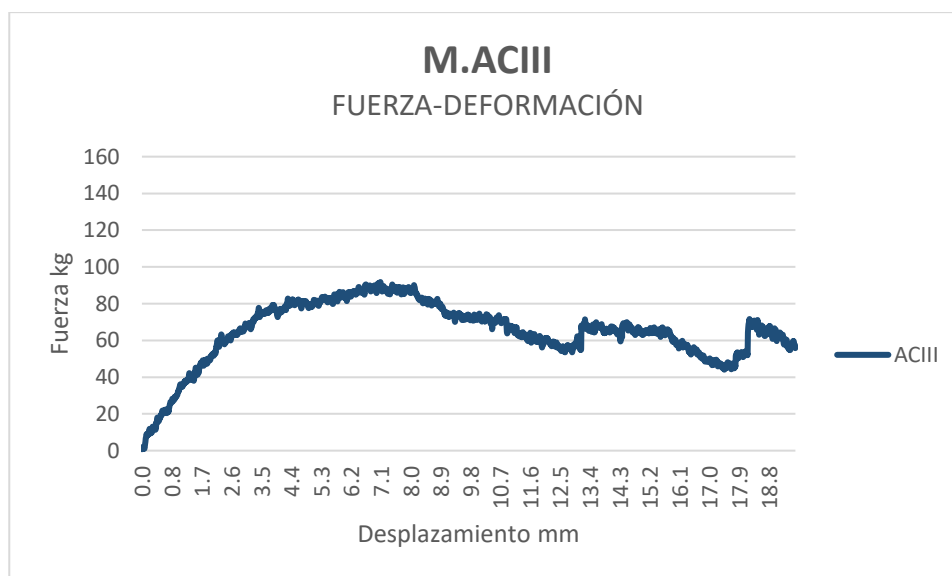


II.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
DIMENSIÓN cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	VOLÚMEN m <sup>3</sup>
16 x 16 x 1.3	256	0.00033

PESO (en seco) kg	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>	FATIGA kg/cm <sup>2</sup>
0.256	769.23	195.26

PESO (saturado) kg	CARGA MÁXIMA kN	FUER-DEF MAX kg
0.318	0.9	91.77

### III.- GRÁFICA



I.- DATOS GENERALES		
PROBETA	COMPOSICIÓN	
ACIII-E	Esterilla de Bambú Guada Aculeata de 0.5 x 0.5 cm + PEAD	
FECHA	PRUEBA	
22/08/2021	Compresión /Adsorción de humedad	

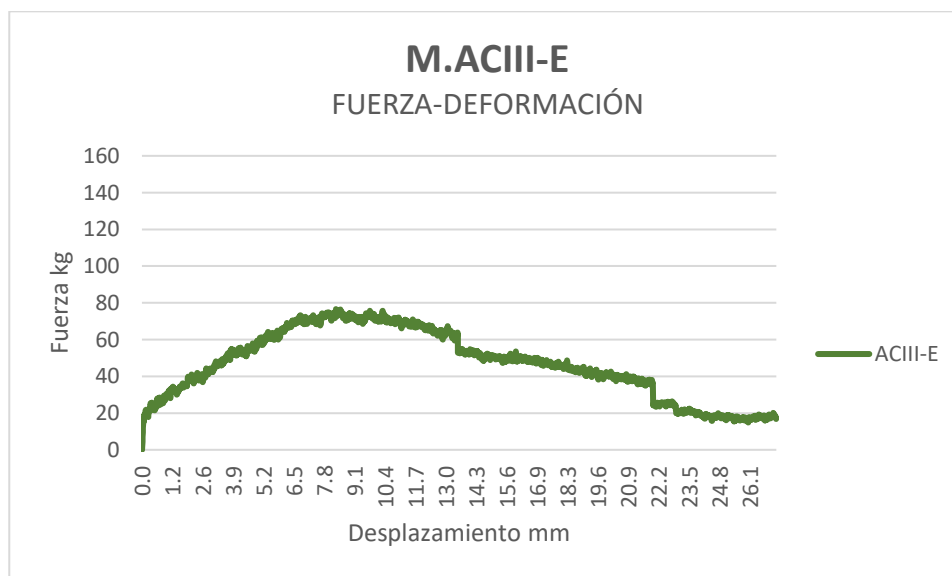


II.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
DIMENSIÓN cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	VOLÚMEN m <sup>3</sup>
16 x 16 x 1.3	256	0.00033

PESO (en seco) kg	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>	FATIGA kg/cm <sup>2</sup>
0.269	808.29	162.94

PESO (saturado) kg	CARGA MÁXIMA kN	FUER-DEF MAX kg
0.277	0.75	76.58

### III.- GRÁFICA



I.- DATOS GENERALES		
PROBETA	COMPOSICIÓN	
OTI	Esterilla de Bambú Otatea de 1 x 1 cm + PEAD	
FECHA	PRUEBA	
22/08/2021	Resistencia Mecánica / Absorción y Retención de Humedad	

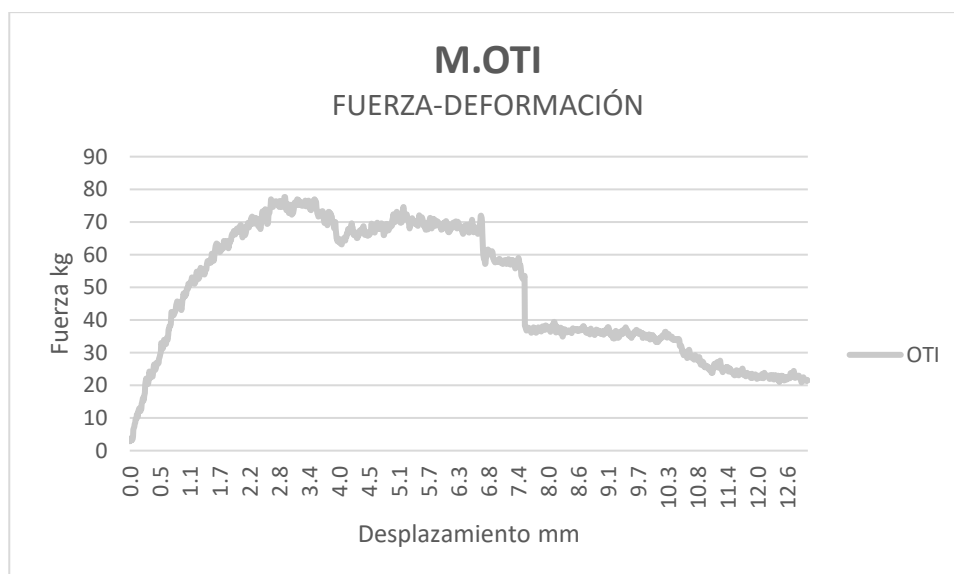


II.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
DIMENSIÓN cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	VOLÚMEN m <sup>3</sup>
16 x 16 x 1.3	256	0.00033


PESO (en seco) kg	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>	FATIGA kg/cm <sup>2</sup>
0.304	913.46	165.20

PESO (saturado) kg	CARGA MÁXIMA kN	FUER-DEF MAX kg
0.359	076	77.65

### III.- GRÁFICA



I.- DATOS GENERALES		
PROBETA	COMPOSICIÓN	
OTI-E	Esterilla de Bambú Otatea de 1 x 1 cm + PEAD	
FECHA	PRUEBA	
22/08/2021	Resistencia Mecánica / Absorción y Retención de Humedad	

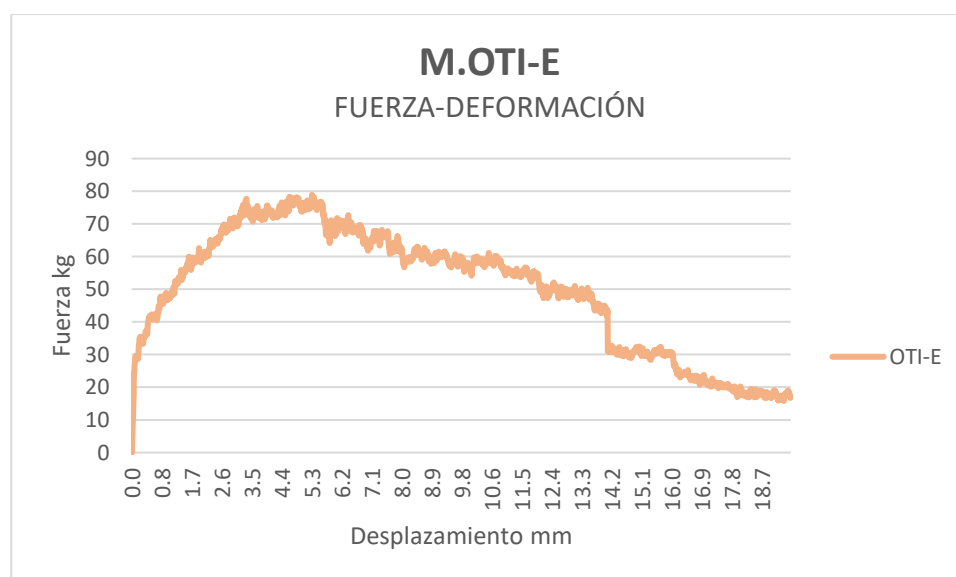


II.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
DIMENSIÓN cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	VOLÚMEN m <sup>3</sup>
16 x 16 x 1.3	256	0.00033


PESO (en seco) kg	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>	FATIGA kg/cm <sup>2</sup>
0.316	949.52	167.92

PESO (saturado) kg	CARGA MÁXIMA kN	FUER-DEF MAX kg
0.331	0.77	78.92

### III.- GRÁFICA



I.- DATOS GENERALES		
PROBETA	COMPOSICIÓN	
OTII	Esterilla de Bambú Otatea de 1 x 0.5 cm + PEAD	
FECHA	PRUEBA	
22/08/2021	Resistencia Mecánica / Absorción y Retención de Humedad	

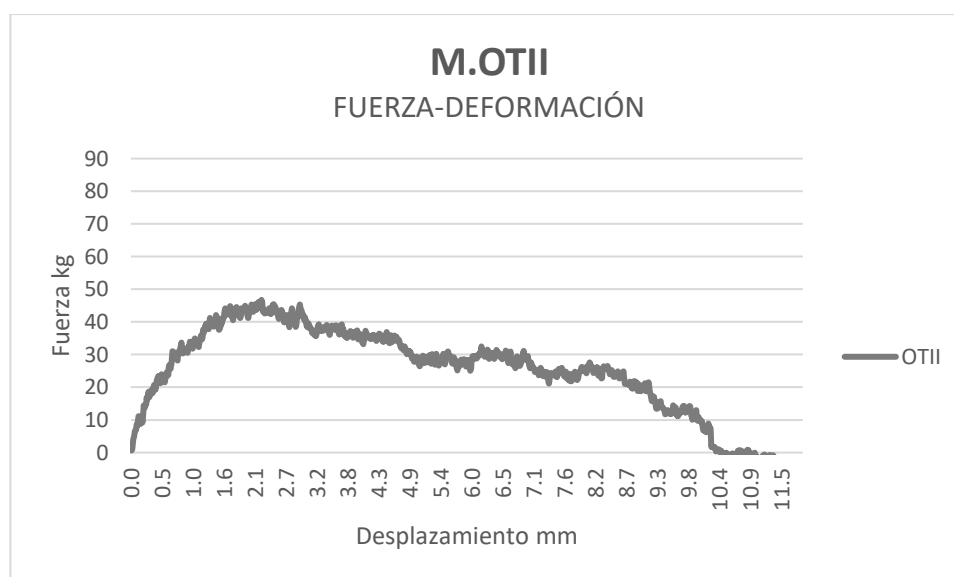


II.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
DIMENSIÓN cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	VOLÚMEN m <sup>3</sup>
16 x 16 x 1.3	256	0.00033

PESO (en seco) kg	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>	FATIGA kg/cm <sup>2</sup>
0.286	859.38	99.44


PESO (saturado) kg	CARGA MÁXIMA kN	FUER-DEF MAX kg
0.34	0.46	46.74

### III.- GRÁFICA





I.- DATOS GENERALES		
PROBETA	COMPOSICIÓN	
OTII-E	Esterilla de Bambú Otatea de 1 x 0.5 cm + PEAD	
FECHA	PRUEBA	
22/08/2021	Resistencia Mecánica / Absorción y Retención de Humedad	

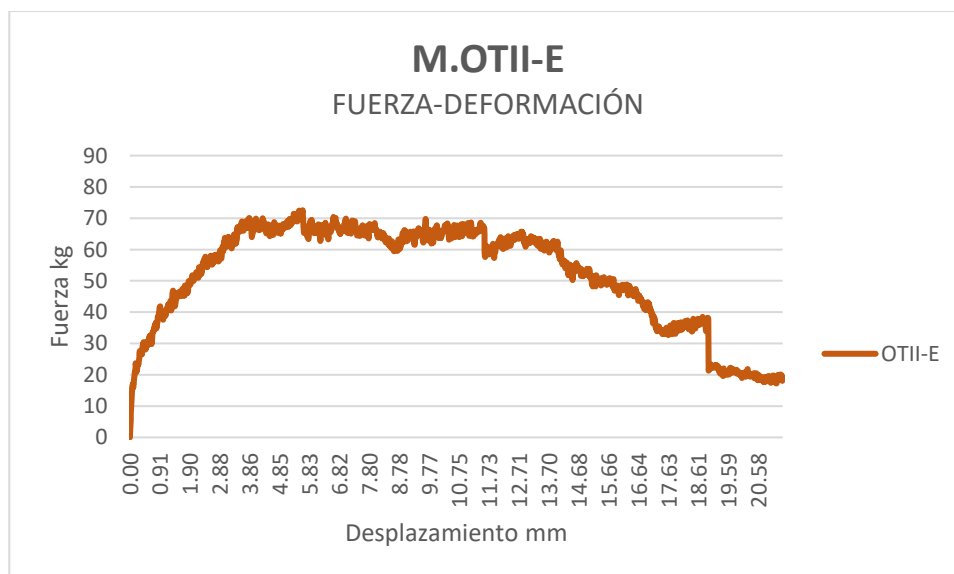


II.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
DIMENSIÓN cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	VOLÚMEN m <sup>3</sup>
16 x 16 x 1.3	256	0.00033


PESO (en seco) kg	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>	FATIGA kg/cm <sup>2</sup>
0.277	832.33	154.36

PESO (saturado) kg	CARGA MÁXIMA kN	FUER-DEF MAX kg
0.29	0.71	72.55

### III.- GRÁFICA



I.- DATOS GENERALES		
PROBETA	COMPOSICIÓN	
OTIII	Esterilla de Bambú Otatea de 0.5 x 0.5 cm + PEAD	
FECHA	PRUEBA	
22/08/2021	Resistencia Mecánica / Absorción y Retención de Humedad	

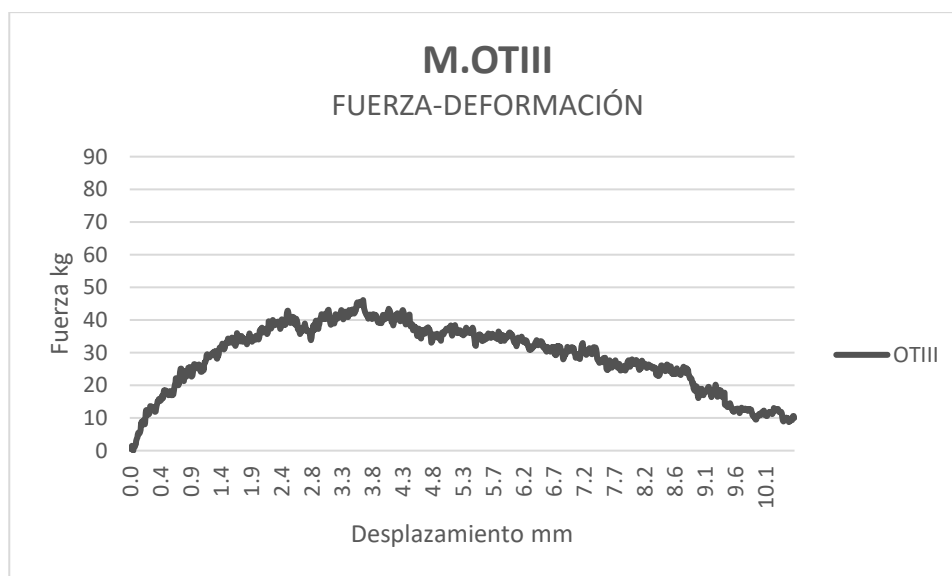


II.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
DIMENSIÓN cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	VOLÚMEN m <sup>3</sup>
16 x 16 x 1.3	256	0.00033

PESO (en seco) kg	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>	FATIGA kg/cm <sup>2</sup>
0.27	811.30	98.08

PESO (saturado) kg	CARGA MÁXIMA kN	FUER-DEF MAX kg
0.318	0.45	46.1

### III.- GRÁFICA



I.- DATOS GENERALES		
PROBETA	COMPOSICIÓN	
OTIII-E	Esterilla de Bambú Otatea de 0.5 x 0.5 cm + PEAD	
FECHA	PRUEBA	
22/08/2021	Resistencia Mecánica / Absorción y Retención de Humedad	

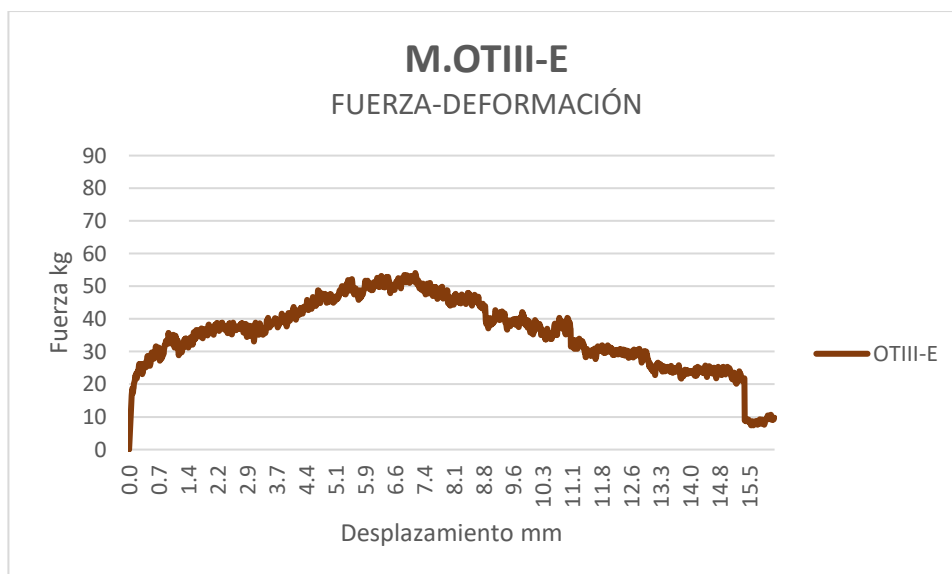


II.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
DIMENSIÓN cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	VOLÚMEN m <sup>3</sup>
16 x 16 x 1.3	256	0.00033


PESO (en seco) kg	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>	FATIGA kg/cm <sup>2</sup>
0.29	871.39	115.03

PESO (saturado) kg	CARGA MÁXIMA kN	FUER-DEF MAX kg
0.303	0.53	54.07

### III.- GRÁFICA



I.- DATOS GENERALES		
PROBETA	COMPOSICIÓN	
OHI	Esterilla de Bambú Oldhamii de 1 x 1 cm + PEAD	
FECHA	PRUEBA	
22/08/2021	Resistencia Mecánica / Absorción y Retención de Humedad	

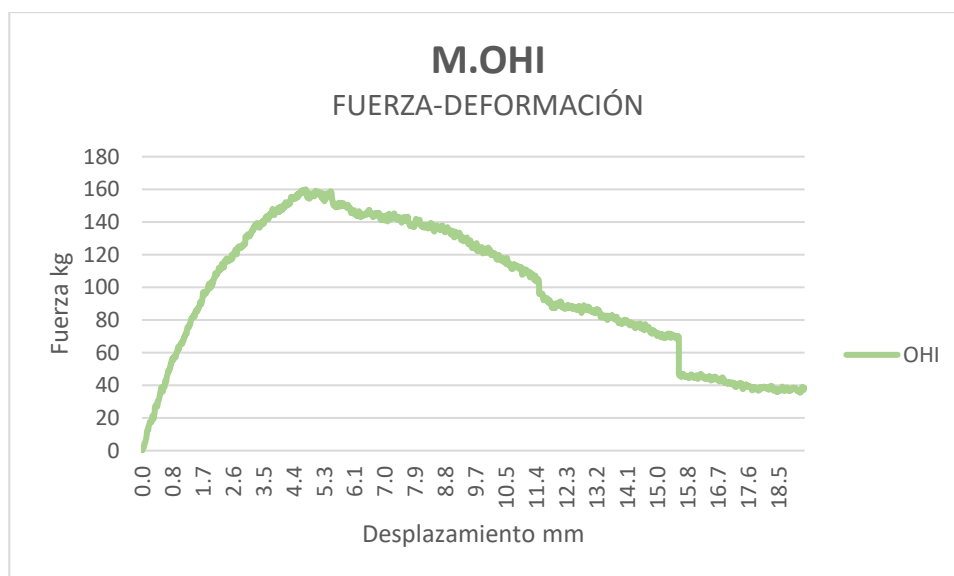


II.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
DIMENSIÓN cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	VOLÚMEN m <sup>3</sup>
16 x 16 x 1.3	256	0.00033

PESO (en seco) kg	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>	FATIGA kg/cm <sup>2</sup>
0.308	925.48	340.35

PESO (saturado) kg	CARGA MÁXIMA kN	FUER-DEF MAX kg
0.363	1.57	159.97

### III.- GRÁFICA



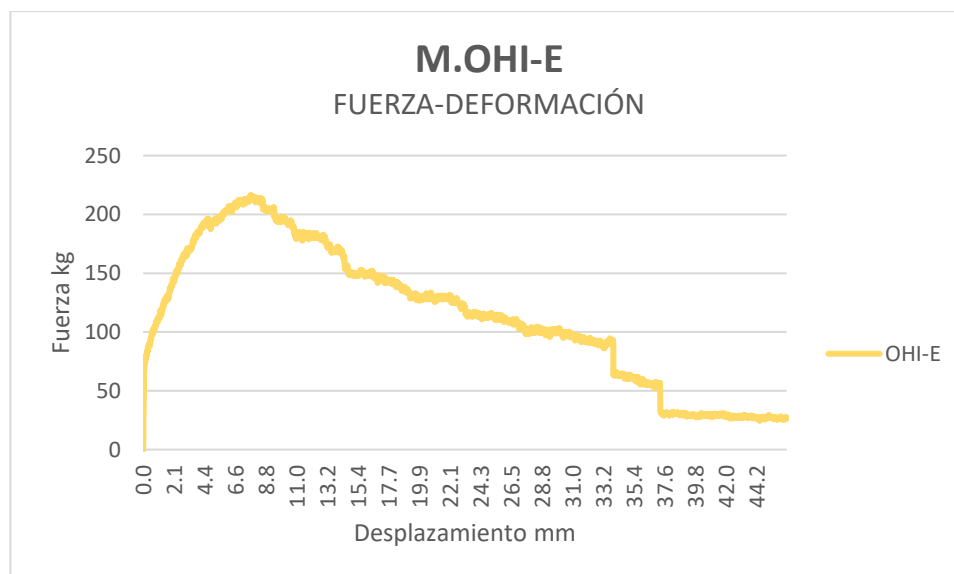
I.- DATOS GENERALES		
<b>PROBETA</b>	<b>COMPOSICIÓN</b>	
OHI-E	Esterilla de Bambú Oldhamii de 1 x 1 cm + PEAD	
<b>FECHA</b>	<b>PRUEBA</b>	
22/08/2021	Resistencia Mecánica / Absorción y Retención de Humedad	

II.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
<b>DIMENSIÓN</b> cm	<b>ÁREA</b> cm <sup>2</sup>	<b>VOLÚMEN</b> m <sup>3</sup>
16 x 16 x 1.3	256	0.00033


<b>PESO (en seco)</b> kg	<b>DENSIDAD</b> kg/m <sup>3</sup>	<b>FATIGA</b> kg/cm <sup>2</sup>
0.296	889.42	460.13

<b>PESO (saturado)</b> kg	<b>CARGA MÁXIMA</b> kN	<b>FUER-DEF MAX</b> kg
0.323	2.12	216.26

### III.- GRÁFICA



I.- DATOS GENERALES		
PROBETA	COMPOSICIÓN	
OHII	Esterilla de Bambú Oldhamii de 1 x 0.5 cm + PEAD	
FECHA	PRUEBA	
22/08/2021	Resistencia Mecánica / Absorción y Retención de Humedad	

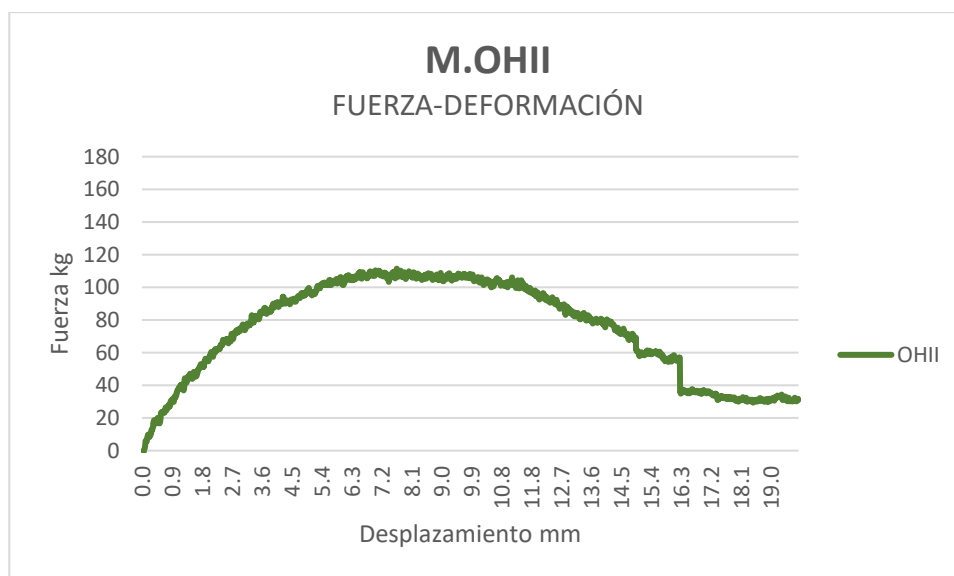


II.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
DIMENSIÓN cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	VOLÚMEN m <sup>3</sup>
16 x 16 x 1.3	256	0.00033


PESO (en seco) kg	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>	FATIGA kg/cm <sup>2</sup>
0.273	820.31	237.07

PESO (saturado) kg	CARGA MÁXIMA kN	FUER-DEF MAX kg
0.29	1.09	111.42

### III.- GRÁFICA



I.- DATOS GENERALES		
PROBETA	COMPOSICIÓN	
OHII-E	Esterilla de Bambú Oldhamii de 1 x 0.5 cm + PEAD	
FECHA	PRUEBA	
22/08/2021	Resistencia Mecánica / Absorción y Retención de Humedad	

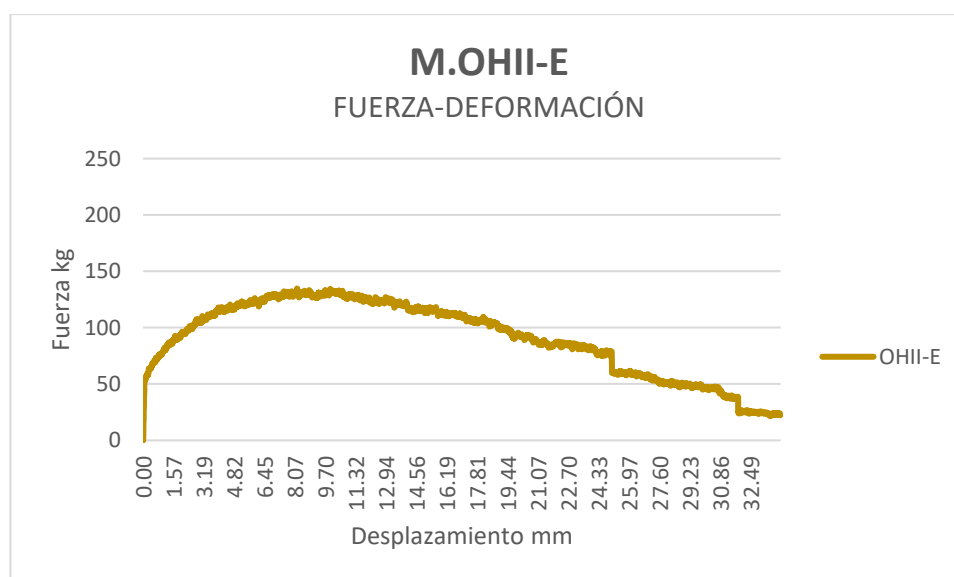


II.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
DIMENSIÓN cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	VOLÚMEN m <sup>3</sup>
16 x 16 x 1.3	256	0.00033

PESO (en seco) kg	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>	FATIGA kg/cm <sup>2</sup>
0.287	862.38	286.79

PESO (saturado) kg	CARGA MÁXIMA kN	FUER-DEF MAX kg
0.302	1.32	134.79

### III.- GRÁFICA



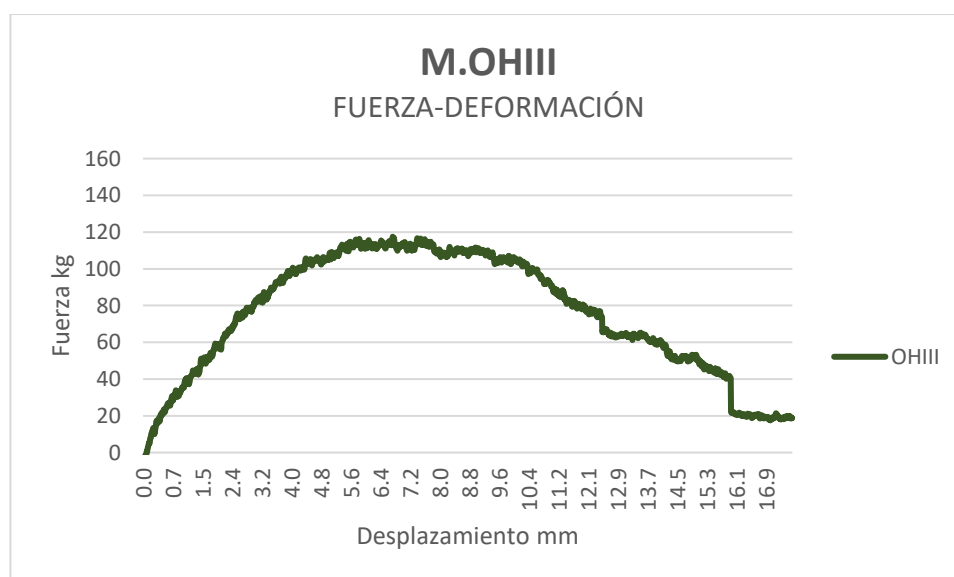
I.- DATOS GENERALES		
PROBETA	COMPOSICIÓN	
OHIII	Esterilla de Bambú Oldhamii de 0.5 x 0.5 cm + PEAD	
FECHA	PRUEBA	
22/08/2021	Resistencia Mecánica / Absorción y Retención de Humedad	

II.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
DIMENSIÓN cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	VOLÚMEN m <sup>3</sup>
16 x 16 x 1.3	256	0.00033

PESO (en seco) kg	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>	FATIGA kg/cm <sup>2</sup>
0.296	889.42	249.95

PESO (saturado) kg	CARGA MÁXIMA kN	FUER-DEF MAX kg
0.356	1.15	117.46

### III.- GRÁFICA





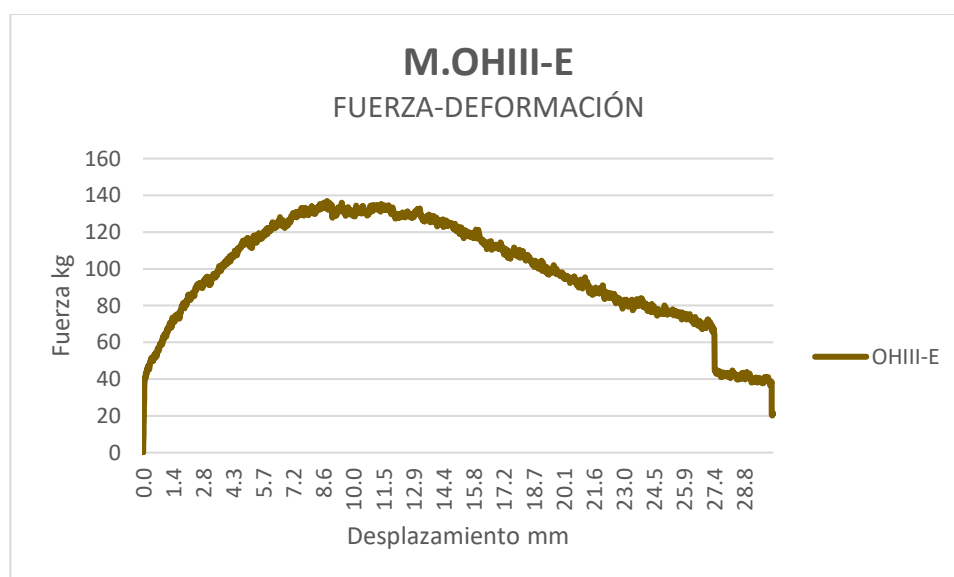
I.- DATOS GENERALES		
<b>PROBETA</b>	<b>COMPOSICIÓN</b>	
OHIII-E	Esterilla de Bambú Oldhamii de 0.5 x 0.5 cm + PEAD	
<b>FECHA</b>	<b>PRUEBA</b>	
22/08/2021	Resistencia Mecánica / Absorción y Retención de Humedad	

II.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
<b>DIMENSIÓN</b> cm	<b>ÁREA</b> cm <sup>2</sup>	<b>VOLÚMEN</b> m <sup>3</sup>
16 x 16 x 1.3	256	0.00033

<b>PESO (en seco)</b> kg	<b>DENSIDAD</b> kg/m <sup>3</sup>	<b>FATIGA</b> kg/cm <sup>2</sup>
0.289	868.39	291.31

<b>PESO (saturado)</b> kg	<b>CARGA MÁXIMA</b> kN	<b>FUER-DEF MAX</b> kg
0.302	1.34	136.92

### III.- GRÁFICA



I.- DATOS GENERALES		
PROBETA	COMPOSICIÓN	
PL	PEAD	
FECHA	PRUEBA	
22/08/2021	Resistencia Mecánica / Absorción y Retención de Humedad	

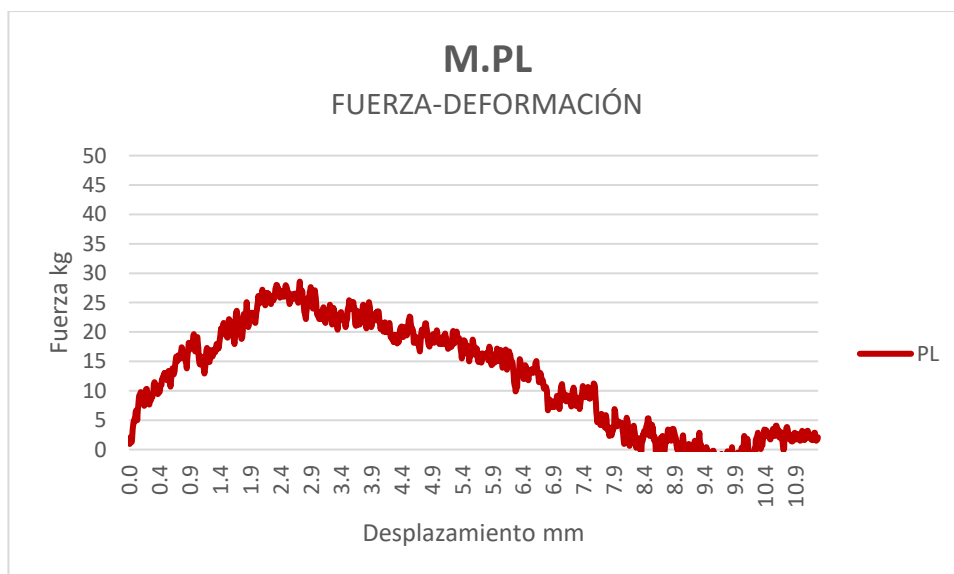


II.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
DIMENSIÓN cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	VOLÚMEN cm <sup>3</sup>
16 x 16 x 1.3	256	0.00033

PESO (en seco) kg	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>	FATIGA kg/cm <sup>2</sup>
0.275	826.32	60.79

PESO (saturado) kg	CARGA MÁXIMA kN	FUER-DEF MAX kg
0.295	0.28	28.57

### III.- GRÁFICA



I.- DATOS GENERALES		
PROBETA	COMPOSICIÓN	
PL-E	PEAD	
FECHA	PRUEBA	
22/08/2021	Resistencia Mecánica / Absorción y Retención de Humedad	

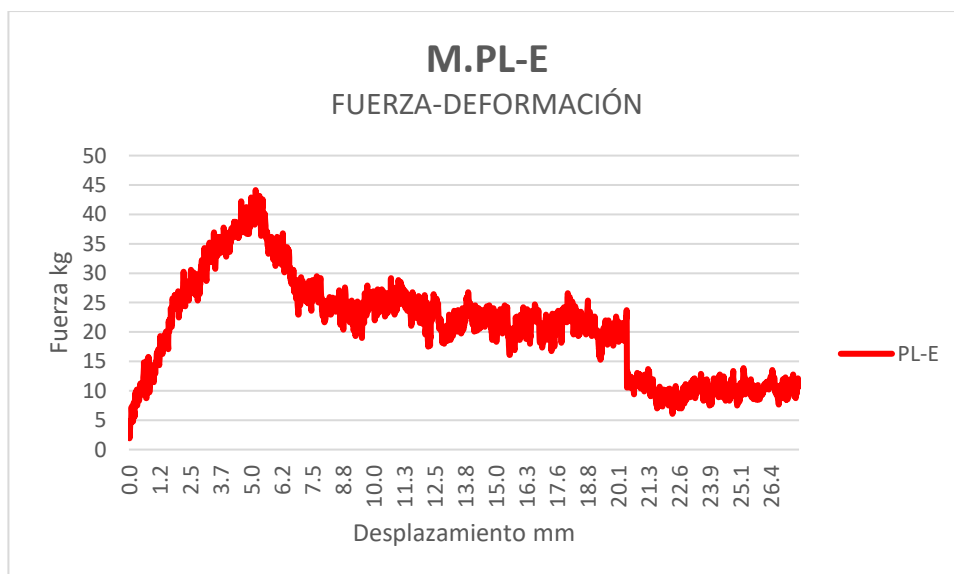



II.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
DIMENSIÓN cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	VOLÚMEN m <sup>3</sup>
16 x 16 x 1.3	256	0.00033

PESO (en seco) kg	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>	FATIGA kg/cm <sup>2</sup>
0.276	829.33	93.90

PESO (saturado) kg	CARGA MÁXIMA kN	FUER-DEF MAX kg
0.296	0.43	44.13

### III.- GRÁFICA



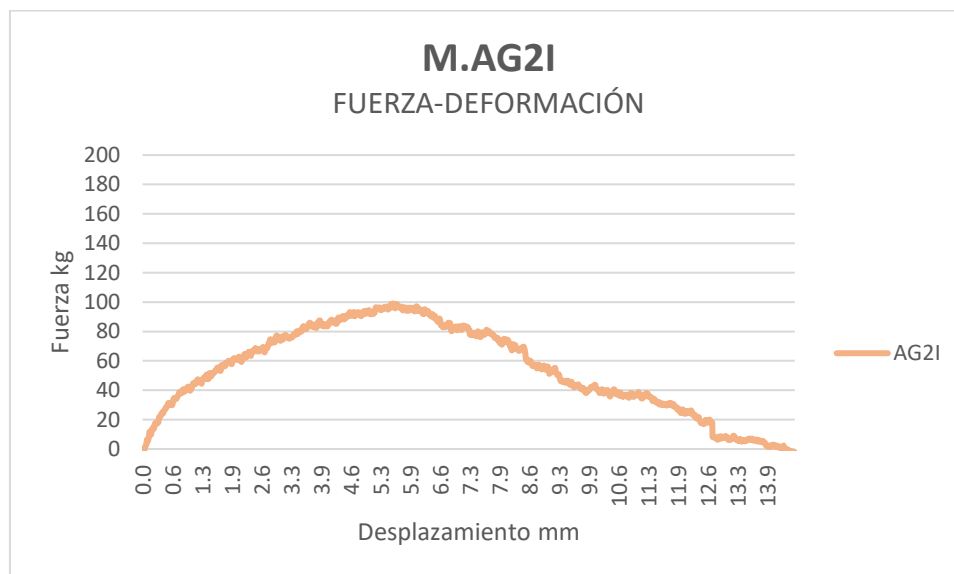
I.- DATOS GENERALES		
PROBETA	COMPOSICIÓN	
AG2I	Doble Esterilla de Bambú Guada Angustifolia de 1 x 1 cm + PEAD	
FECHA	PRUEBA	
22/08/2021	Resistencia Mecánica / Absorción y Retención de Humedad	

II.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
DIMENSIÓN cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	VOLÚMEN m <sup>3</sup>
16 x 16 x 2	256	0.00051

PESO (en seco) kg	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>	FATIGA kg/cm <sup>2</sup>
0.327	638.67	89.19

PESO (saturado) kg	CARGA MÁXIMA kN	FUER-DEF MAX kg
0.462	0.97	99

### III.- GRÁFICA



I.- DATOS GENERALES		
PROBETA	COMPOSICIÓN	
AG2I-E	Doble Esterilla de Bambú Guada Angustifolia de 1 x 1 cm + PEAD	
FECHA	PRUEBA	
22/08/2021	Resistencia Mecánica / Absorción y Retención de Humedad	

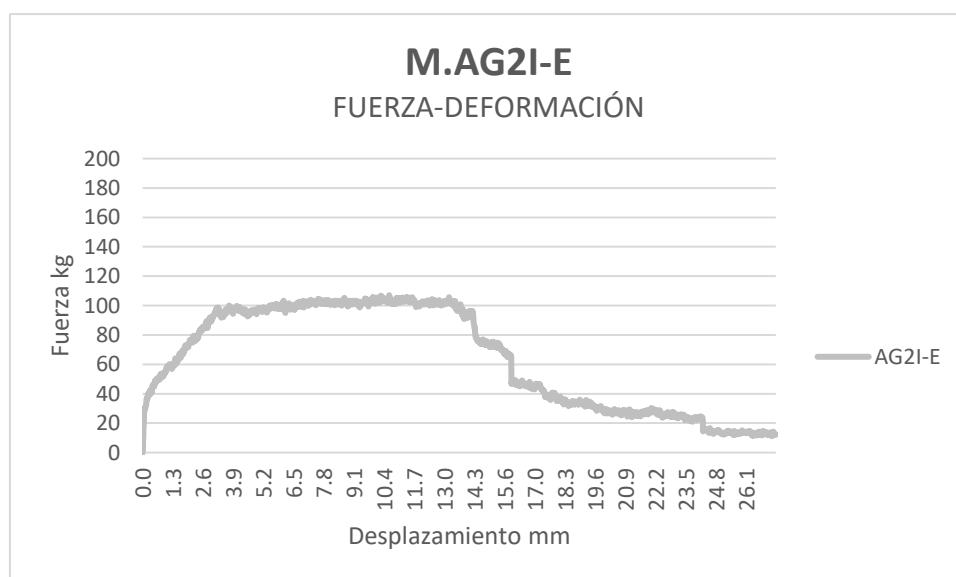


II.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
DIMENSIÓN cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	VOLÚMEN m <sup>3</sup>
16 x 16 x 2	256	0.00051

PESO (en seco) kg	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>	FATIGA kg/cm <sup>2</sup>
0.348	679.69	96.46

PESO (saturado) kg	CARGA MÁXIMA kN	FUER-DEF MAX kg
0.452	1.05	107.07

### III.- GRÁFICA



I.- DATOS GENERALES		
PROBETA	COMPOSICIÓN	
AG2II	Doble Esterilla de Bambú Guada Angustifolia de 1 x 0.5 cm + PEAD	
FECHA	PRUEBA	
22/08/2021	Resistencia Mecánica / Absorción y Retención de Humedad	

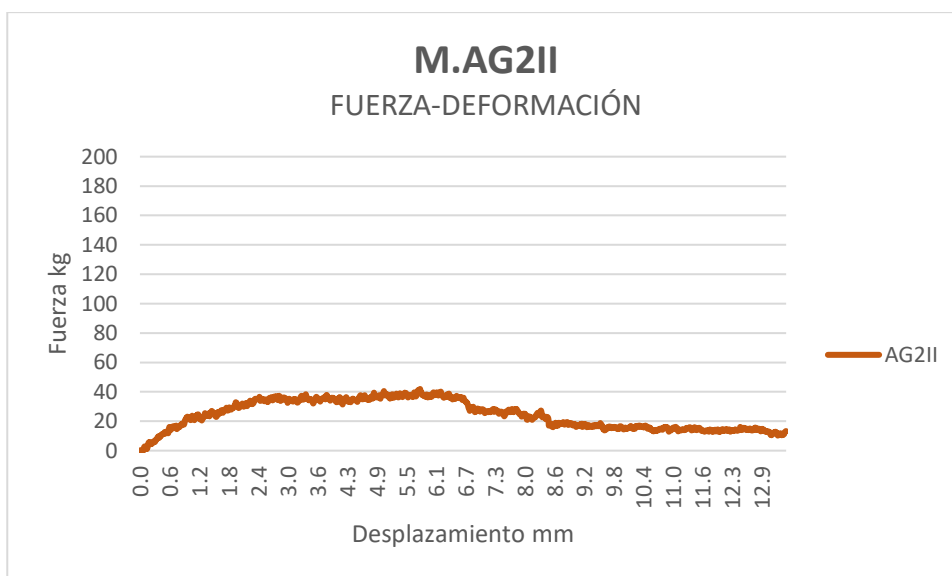


II.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
DIMENSIÓN cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	VOLÚMEN m <sup>3</sup>
16 x 16 x 2	256	0.00051

PESO (en seco) kg	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>	FATIGA kg/cm <sup>2</sup>
0.362	707.03	37.80

PESO (saturado) kg	CARGA MÁXIMA kN	FUER-DEF MAX kg
0.448	0.41	41.96

### III.- GRÁFICA



I.- DATOS GENERALES		
PROBETA	COMPOSICIÓN	
AG2II-E	Doble Esterilla de Bambú Guada Angustifolia de 1 x 0.5 cm + PEAD	
FECHA	PRUEBA	
22/08/2021	Resistencia Mecánica / Absorción y Retención de Humedad	

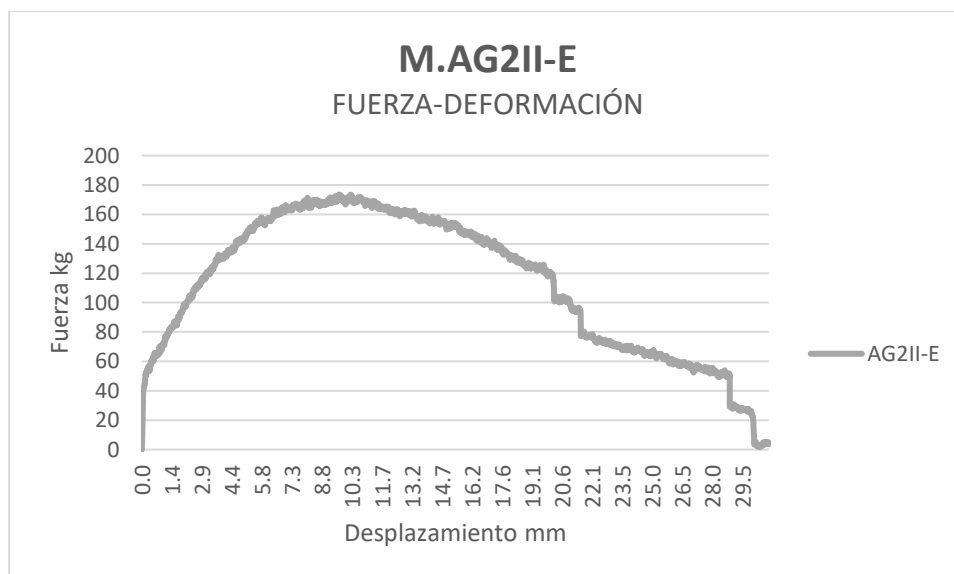


II.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
DIMENSIÓN cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	VOLÚMEN m <sup>3</sup>
16 x 16 x 2	256	0.00051

PESO (en seco) kg	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>	FATIGA kg/cm <sup>2</sup>
0.313	611.33	156.36

PESO (saturado) kg	CARGA MÁXIMA kN	FUER-DEF MAX kg
0.397	1.7	173.56

### III.- GRÁFICA



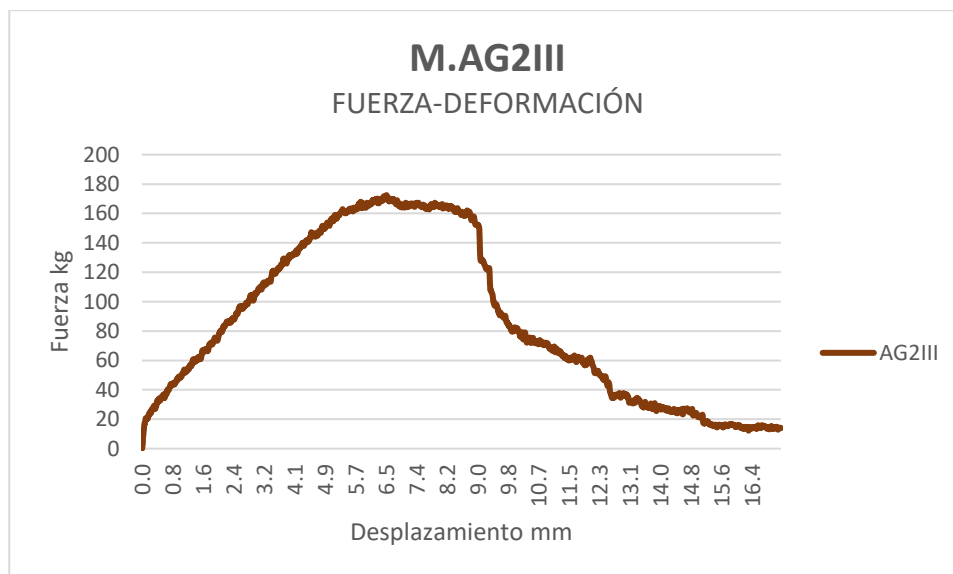
I.- DATOS GENERALES		
PROBETA	COMPOSICIÓN	
AG2III	Doble Esterilla de Bambú Guada Angustifolia de 0.5 x 0.5 cm + PEAD	
FECHA	PRUEBA	
22/08/2021	Resistencia Mecánica / Absorción y Retención de Humedad	

II.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
DIMENSIÓN cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	VOLÚMEN m <sup>3</sup>
16 x 16 x 2	256	0.00051

PESO (en seco) kg	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>	FATIGA kg/cm <sup>2</sup>
0.345	673.83	155.40

PESO (saturado) kg	CARGA MÁXIMA kN	FUER-DEF MAX kg
0.432	1.69	172.5

### III.- GRÁFICA





I.- DATOS GENERALES		
PROBETA	COMPOSICIÓN	
AG2III-E	Doble Esterilla de Bambú Guada Angustifolia de 0.5 x 0.5 cm + PEAD	
FECHA	PRUEBA	
22/08/2021	Resistencia Mecánica / Absorción y Retención de Humedad	

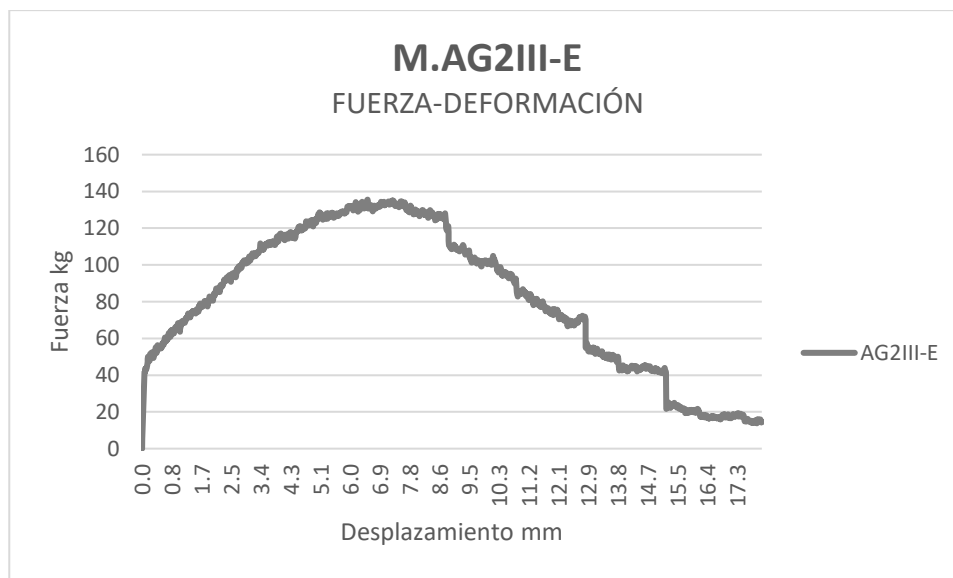


II.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
DIMENSIÓN cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	VOLÚMEN m <sup>3</sup>
16 x 16 x 2	256	0.00051

PESO (en seco) kg	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>	FATIGA kg/cm <sup>2</sup>
0.388	757.81	122.10

PESO (saturado) kg	CARGA MÁXIMA kN	FUER-DEF MAX kg
0.446	1.33	135.54

### III.- GRÁFICA



I.- DATOS GENERALES		
PROBETA	COMPOSICIÓN	
AC2I	Doble Esterilla de Bambú Guada Aculeata de 1 x 1 cm + PEAD	
FECHA	PRUEBA	
22/08/2021	Resistencia Mecánica / Absorción y Retención de Humedad	

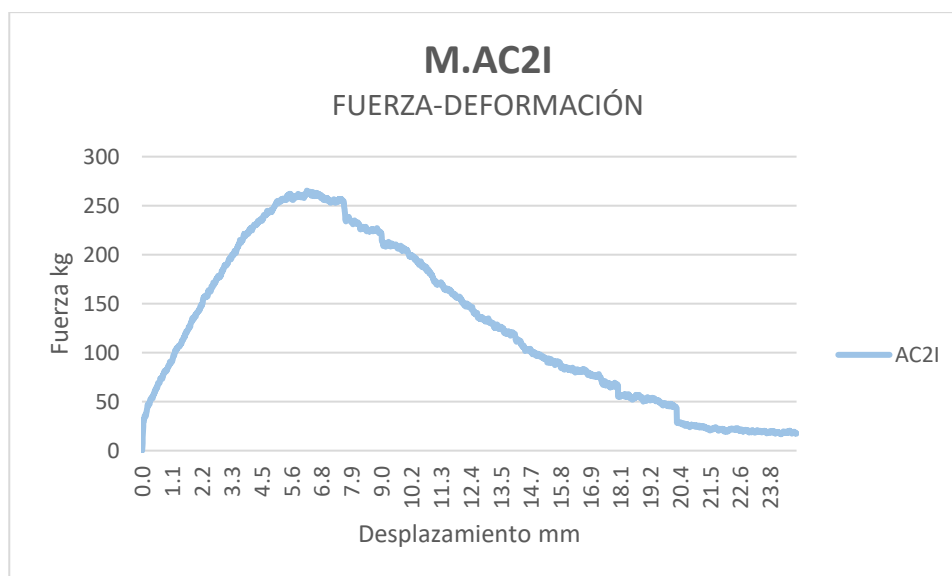


II.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
DIMENSIÓN cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	VOLÚMEN m <sup>3</sup>
16 x 16 x 2	256	0.00051

PESO (en seco) kg	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>	FATIGA kg/cm <sup>2</sup>
0.402	785.16	239.04

PESO (saturado) kg	CARGA MÁXIMA kN	FUER-DEF MAX kg
0.501	2.6	265.33

### III.- GRÁFICA



I.- DATOS GENERALES		
PROBETA	COMPOSICIÓN	
AC2I-E	Doble Esterilla de Bambú Guada Aculeata de 1 x 1 cm + PEAD	
FECHA	PRUEBA	
22/08/2021	Resistencia Mecánica / Absorción y Retención de Humedad	

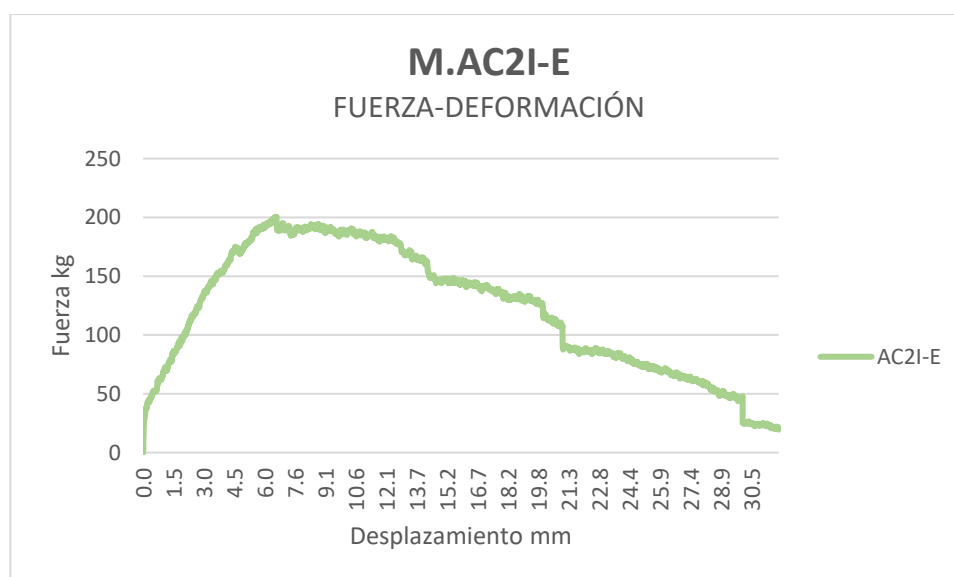


II.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
DIMENSIÓN cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	VOLÚMEN m <sup>3</sup>
16 x 16 x 2	256	0.00051

PESO (en seco) kg	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>	FATIGA kg/cm <sup>2</sup>
0.415	810.55	180.67

PESO (saturado) kg	CARGA MÁXIMA kN	FUER-DEF MAX kg
0.51	1.97	200.54

### III.- GRÁFICA



I.- DATOS GENERALES		
PROBETA	COMPOSICIÓN	
AC2II	Doble Esterilla de Bambú Guada Aculeata de 1 x 0.5 cm + PEAD	
FECHA	PRUEBA	
22/08/2021	Resistencia Mecánica / Absorción y Retención de Humedad	

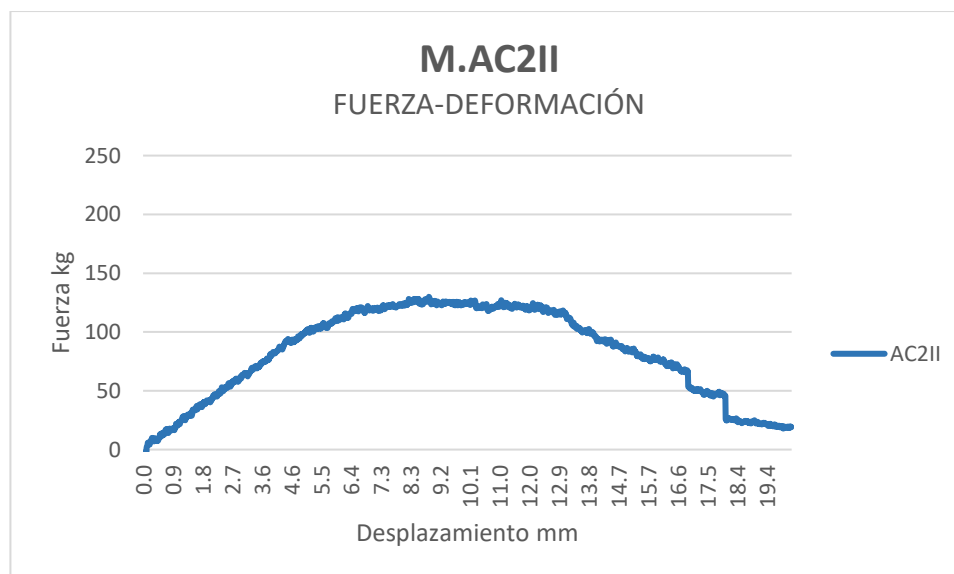


II.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
DIMENSIÓN cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	VOLÚMEN m <sup>3</sup>
16 x 16 x 2	256	0.00051

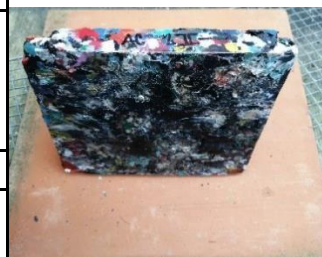
PESO (en seco) kg	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>	FATIGA kg/cm <sup>2</sup>
0.391	763.67	117.03

PESO (saturado) kg	CARGA MÁXIMA kN	FUER-DEF MAX kg
0.49	1.27	129.91

### III.- GRÁFICA



I.- DATOS GENERALES		
PROBETA	COMPOSICIÓN	
AC2II-E	Doble Esterilla de Bambú Guada Aculeata de 1 x 0.5 cm + PEAD	
FECHA	PRUEBA	
22/08/2021	Compresión /Adsorción de humedad	

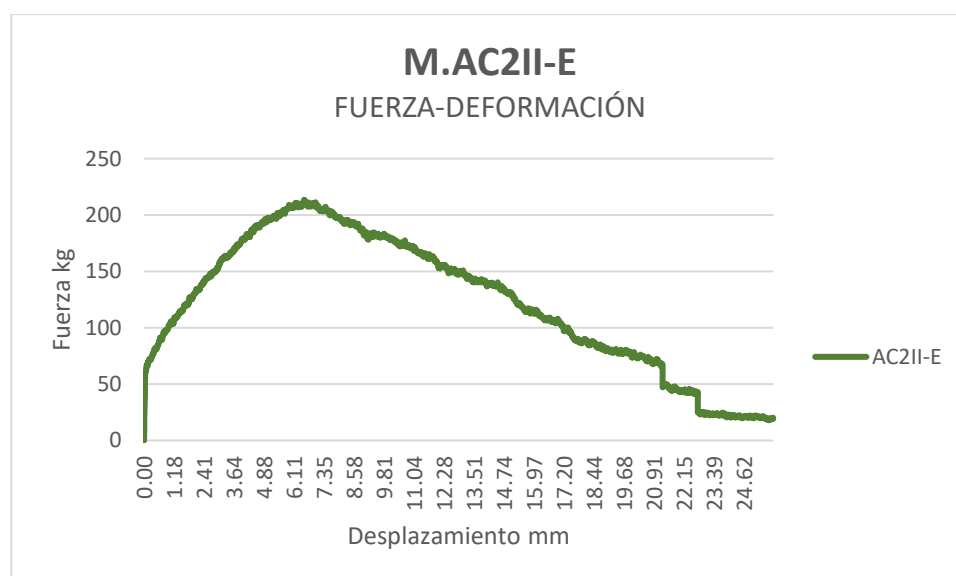



II.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
DIMENSIÓN cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	VOLÚMEN m <sup>3</sup>
16 x 16 x 2	256	0.00051

PESO (en seco) kg	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>	FATIGA kg/cm <sup>2</sup>
0.342	667.97	192.34

PESO (saturado) kg	CARGA MÁXIMA kN	FUER-DEF MAX kg
0.439	2.09	213.5

### III.- GRÁFICA



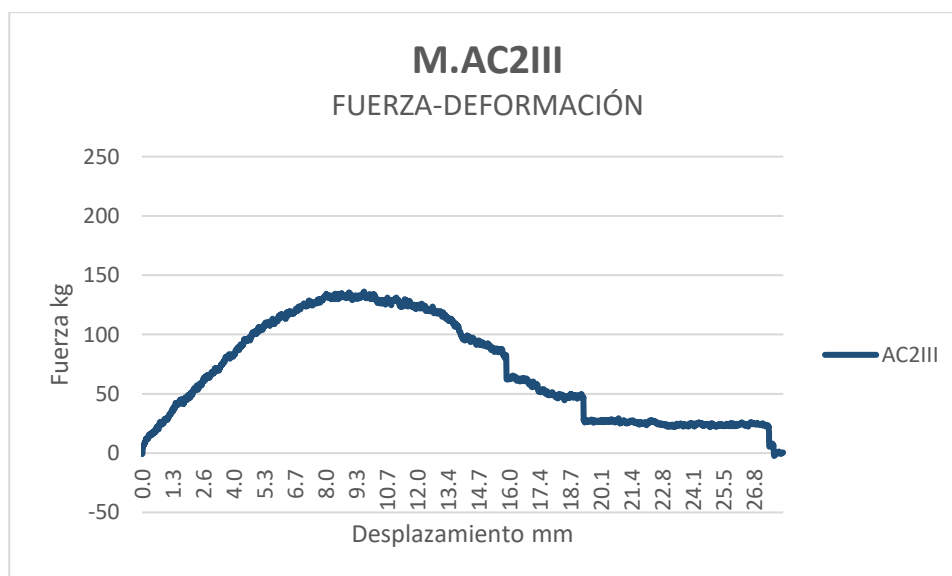
I.- DATOS GENERALES		
PROBETA	COMPOSICIÓN	
AC2III	Doble Esterilla de Bambú Guada Aculeata de 0.5 x 0.5 cm + PEAD	
FECHA	PRUEBA	
22/08/2021	Resistencia Mecánica / Absorción y Retención de Humedad	

II.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
DIMENSIÓN cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	VOLÚMEN m <sup>3</sup>
16 x 16 x 2	256	0.00051

PESO (en seco) kg	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>	FATIGA kg/cm <sup>2</sup>
0.369	720.70	122.77

PESO (saturado) kg	CARGA MÁXIMA kN	FUER-DEF MAX kg
0.464	1.34	136.28

### III.- GRÁFICA



I.- DATOS GENERALES		
<b>PROBETA</b>	<b>COMPOSICIÓN</b>	
AC2III-E	Doble Esterilla de Bambú Guada Aculeata de 0.5 x 0.5 cm + PEAD	
<b>FECHA</b>	<b>PRUEBA</b>	
22/08/2021	Compresión /Adsorción de humedad	

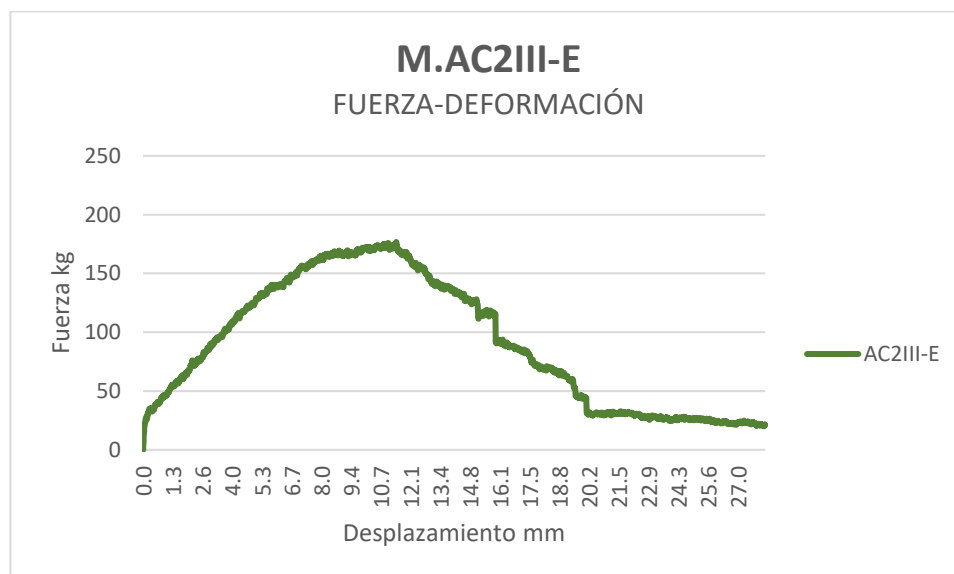


II.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
<b>DIMENSIÓN</b> cm	<b>ÁREA</b> cm <sup>2</sup>	<b>VOLÚMEN</b> m <sup>3</sup>
16 x 16 x 2	256	0.00051

<b>PESO (en seco)</b> kg	<b>DENSIDAD</b> kg/m <sup>3</sup>	<b>FATIGA</b> kg/cm <sup>2</sup>
0.37	722.66	159.23

<b>PESO (saturado)</b> kg	<b>CARGA MÁXIMA</b> kN	<b>FUER-DEF MAX</b> kg
0.445	1.73	176.75

### III.- GRÁFICA



I.- DATOS GENERALES		
PROBETA	COMPOSICIÓN	
OT2I	Doble Esterilla de Bambú Otatea de 1 x 1 cm + PEAD	
FECHA	PRUEBA	
22/08/2021	Resistencia Mecánica / Absorción y Retención de Humedad	

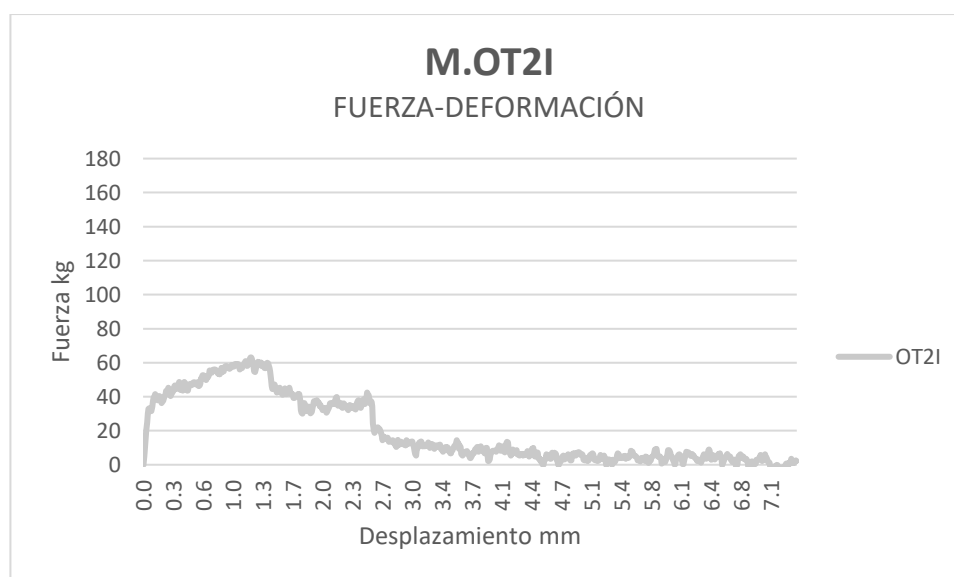


II.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
DIMENSIÓN cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	VOLÚMEN m <sup>3</sup>
16 x 16 x 2	256	0.00051


PESO (en seco) kg	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>	FATIGA kg/cm <sup>2</sup>
0.363	708.98	56.84

PESO (saturado) kg	CARGA MÁXIMA kN	FUER-DEF MAX kg
0.451	0.62	63.09

### III.- GRÁFICA





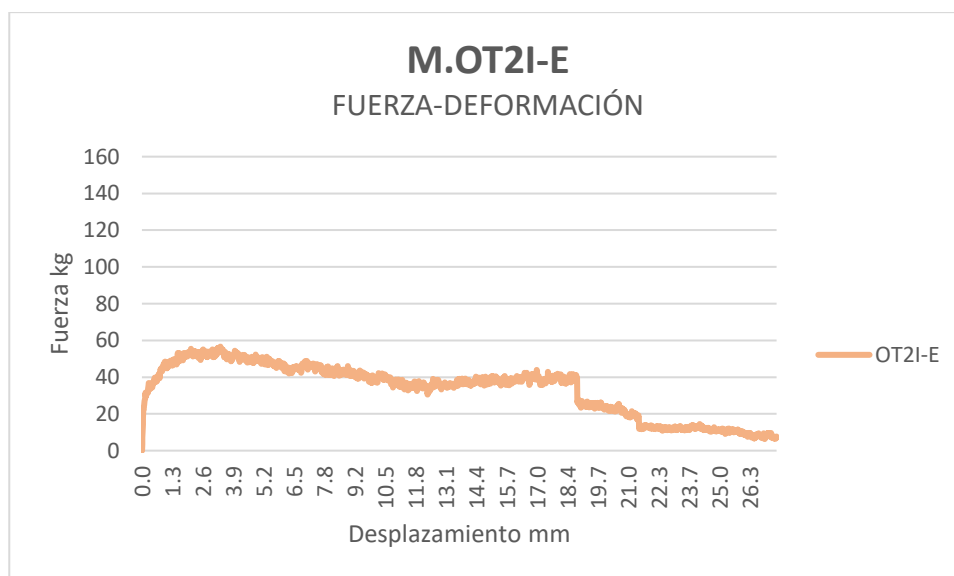
I.- DATOS GENERALES		
PROBETA	COMPOSICIÓN	
OT2I-E	Doble Esterilla de Bambú Otatea de 1 x 1 cm + PEAD	
FECHA	PRUEBA	
22/08/2021	Resistencia Mecánica / Absorción y Retención de Humedad	

II.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
DIMENSIÓN cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	VOLÚMEN m <sup>3</sup>
16 x 16 x 2	256	0.00051

PESO (en seco) kg	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>	FATIGA kg/cm <sup>2</sup>
0.37	722.66	51.00

PESO (saturado) kg	CARGA MÁXIMA kN	FUER-DEF MAX kg
0.451	0.56	56.61

### III.- GRÁFICA



I.- DATOS GENERALES		
PROBETA	COMPOSICIÓN	
OT2II	Doble Esterilla de Bambú Otatea de 1 x 0.5 cm + PEAD	
FECHA	PRUEBA	
22/08/2021	Resistencia Mecánica / Absorción y Retención de Humedad	

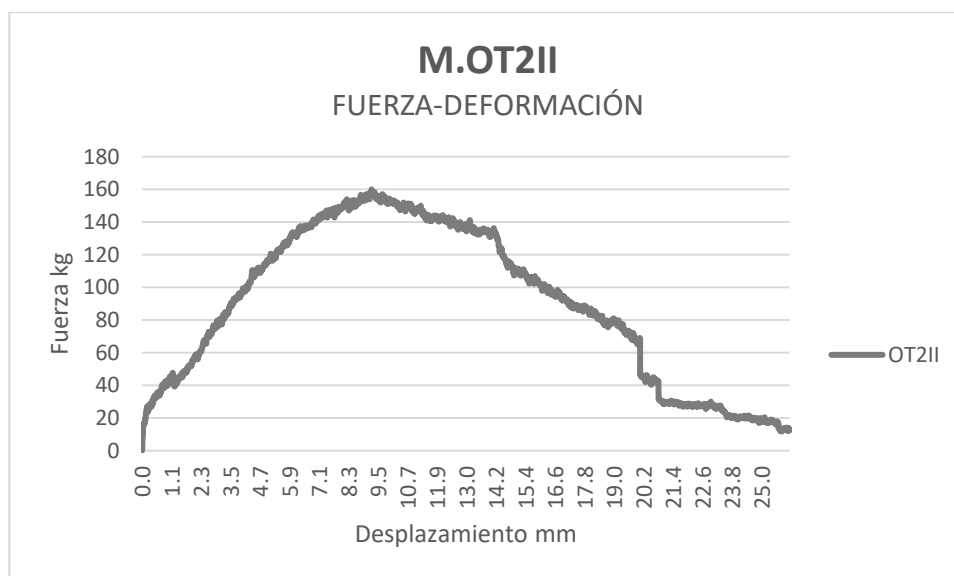


II.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
DIMENSIÓN cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	VOLÚMEN m <sup>3</sup>
16 x 16 x 2	256	0.00051


PESO (en seco) kg	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>	FATIGA kg/cm <sup>2</sup>
0.366	714.84	144.11

PESO (saturado) kg	CARGA MÁXIMA kN	FUER-DEF MAX kg
0.446	1.57	159.97

### III.- GRÁFICA



I.- DATOS GENERALES		
PROBETA	COMPOSICIÓN	
OT2II-E	Doble Esterilla de Bambú Otatea de 1 x 0.5 cm + PEAD	
FECHA	PRUEBA	
22/08/2021	Resistencia Mecánica / Absorción y Retención de Humedad	

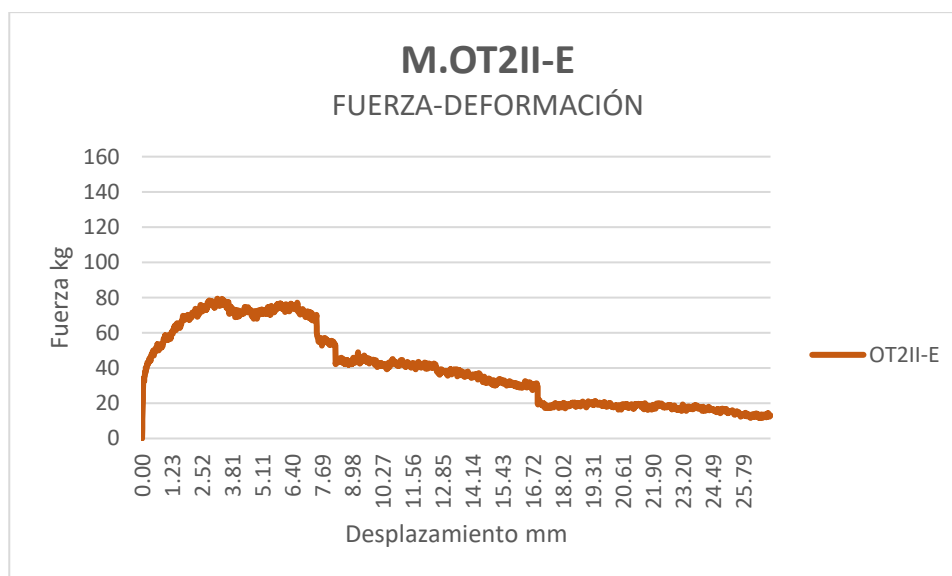


II.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
DIMENSIÓN cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	VOLÚMEN m <sup>3</sup>
16 x 16 x 2	256	0.00051

PESO (en seco) kg	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>	FATIGA kg/cm <sup>2</sup>
0.37	722.66	71.48

PESO (saturado) kg	CARGA MÁXIMA kN	FUER-DEF MAX kg
0.455	0.78	79.35

### III.- GRÁFICA



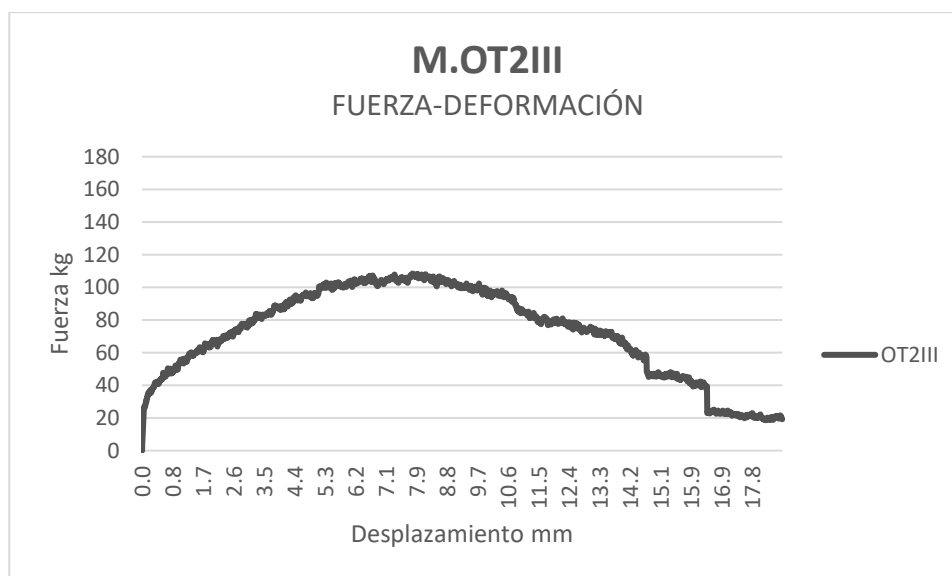
I.- DATOS GENERALES		
PROBETA	COMPOSICIÓN	
OT2III	Doble Esterilla de Bambú Otatea de 0.5 x 0.5 cm + PEAD	
FECHA	PRUEBA	
22/08/2021	Resistencia Mecánica / Absorción y Retención de Humedad	

II.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
DIMENSIÓN cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	VOLÚMEN m <sup>3</sup>
16 x 16 x 2	256	0.00051

PESO (en seco) kg	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>	FATIGA kg/cm <sup>2</sup>
0.395	771.48	97.70

PESO (saturado) kg	CARGA MÁXIMA kN	FUER-DEF MAX kg
0.484	1.06	108.45

### III.- GRÁFICA



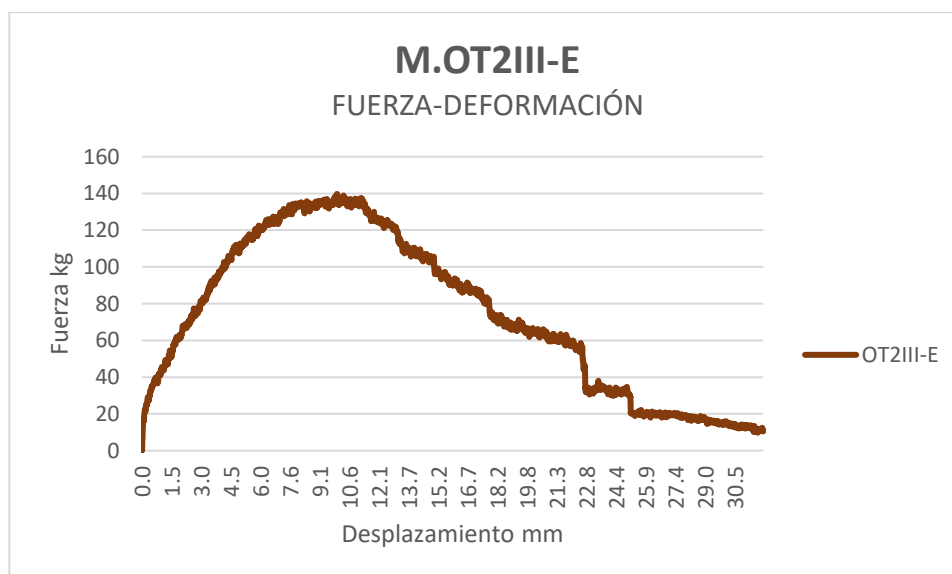
I.- DATOS GENERALES		
PROBETA	COMPOSICIÓN	
OT2III-E	Doble Esterilla de Bambú Otatea de 0.5 x 0.5 cm + PEAD	
FECHA	PRUEBA	
22/08/2021	Resistencia Mecánica / Absorción y Retención de Humedad	

II.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
DIMENSIÓN cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	VOLÚMEN m <sup>3</sup>
16 x 16 x 2	256	0.00051

PESO (en seco) kg	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>	FATIGA kg/cm <sup>2</sup>
0.365	712.89	125.84

PESO (saturado) kg	CARGA MÁXIMA kN	FUER-DEF MAX kg
0.467	1.37	139.68

### III.- GRÁFICA



I.- DATOS GENERALES		
PROBETA	COMPOSICIÓN	
OH2I	Doble Esterilla de Bambú Oldhamii de 1 x 1 cm + PEAD	
FECHA	PRUEBA	
22/08/2021	Resistencia Mecánica / Absorción y Retención de Humedad	

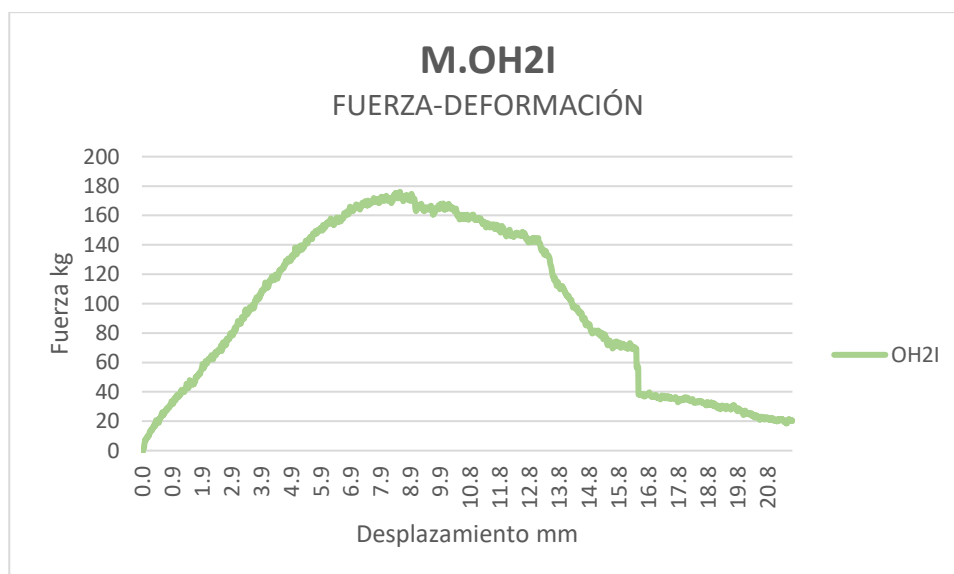


II.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
DIMENSIÓN cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	VOLÚMEN m <sup>3</sup>
16 x 16 x 2	256	0.00051

PESO (en seco) kg	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>	FATIGA kg/cm <sup>2</sup>
0.392	765.63	158.66

PESO (saturado) kg	CARGA MÁXIMA kN	FUER-DEF MAX kg
0.509	1.73	176.11

### III.- GRÁFICA



I.- DATOS GENERALES		
PROBETA	COMPOSICIÓN	
OH2I-E	Doble Esterilla de Bambú Oldhamii de 1 x 1 cm + PEAD	
FECHA	PRUEBA	
22/08/2021	Resistencia Mecánica / Absorción y Retención de Humedad	

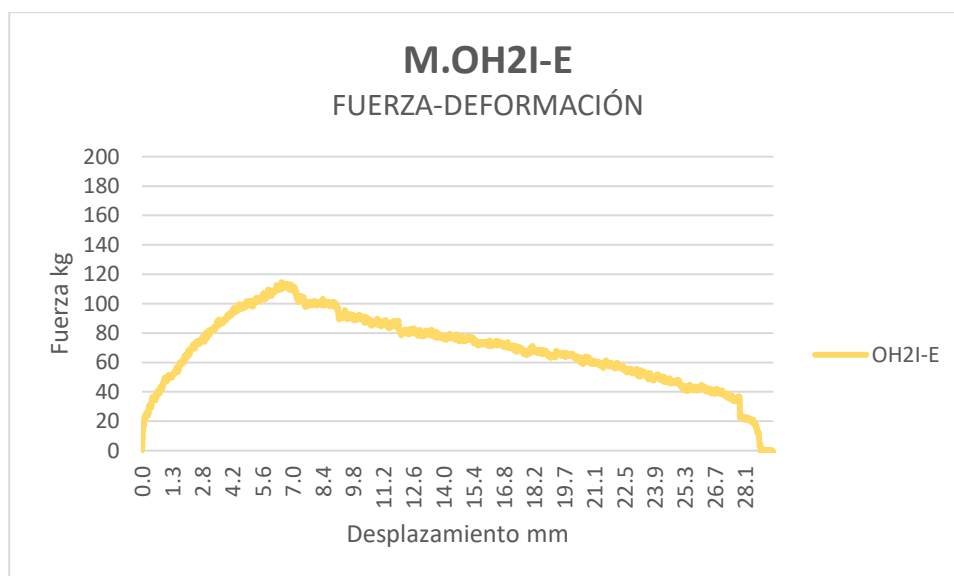


II.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
DIMENSIÓN cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	VOLÚMEN m <sup>3</sup>
16 x 16 x 2	256	0.00051

PESO (en seco) kg	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>	FATIGA kg/cm <sup>2</sup>
0.438	855.47	103.25

PESO (saturado) kg	CARGA MÁXIMA kN	FUER-DEF MAX kg
0.557	1.12	114.61

### III.- GRÁFICA



I.- DATOS GENERALES		
PROBETA	COMPOSICIÓN	
OH2II	Doble Esterilla de Bambú Oldhamii de 1 x 0.5 cm + PEAD	
FECHA	PRUEBA	
22/08/2021	Resistencia Mecánica / Absorción y Retención de Humedad	

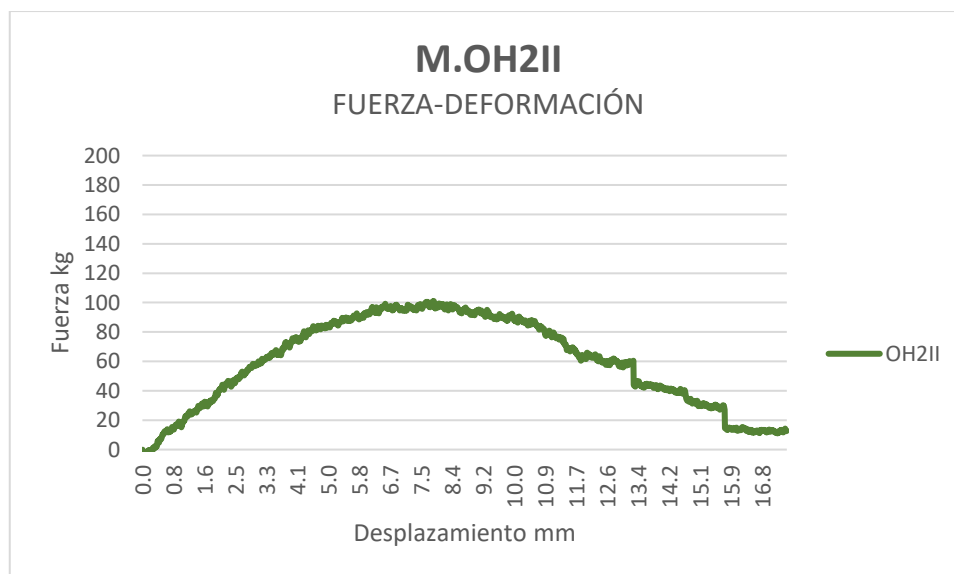


II.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
DIMENSIÓN cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	VOLÚMEN m <sup>3</sup>
16 x 16 x 2	256	0.00051

PESO (en seco) kg	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>	FATIGA kg/cm <sup>2</sup>
0.404	789.06	91.10

PESO (saturado) kg	CARGA MÁXIMA kN	FUER-DEF MAX kg
0.489	0.99	101.12

### III.- GRÁFICA





I.- DATOS GENERALES		
PROBETA	COMPOSICIÓN	
OH2II-E	Doble Esterilla de Bambú Oldhamii de 1 x 0.5 cm + PEAD	
FECHA	PRUEBA	
22/08/2021	Resistencia Mecánica / Absorción y Retención de Humedad	

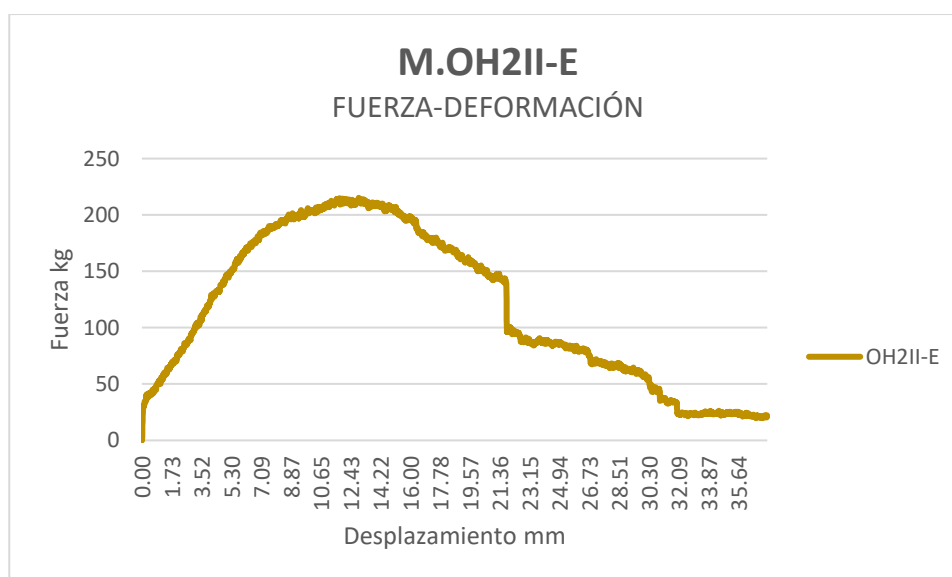


II.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
DIMENSIÓN cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	VOLÚMEN m <sup>3</sup>
16 x 16 x 2	256	0.00051

PESO (en seco) kg	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>	FATIGA kg/cm <sup>2</sup>
0.394	769.53	193.87

PESO (saturado) kg	CARGA MÁXIMA kN	FUER-DEF MAX kg
0.499	2.11	215.2

### III.- GRÁFICA



I.- DATOS GENERALES		
PROBETA	COMPOSICIÓN	
OH2III	Doble Esterilla de Bambú Oldhamii de 0.5 x 0.5 cm + PEAD	
FECHA	PRUEBA	
22/08/2021	Resistencia Mecánica / Absorción y Retención de Humedad	

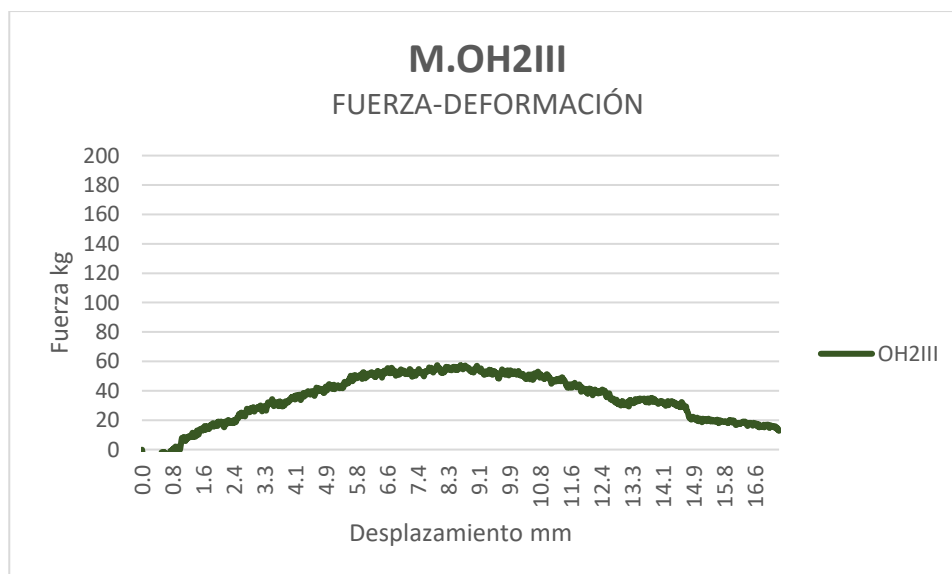


II.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
DIMENSIÓN cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	VOLÚMEN m <sup>3</sup>
16 x 16 x 2	256	0.00051

PESO (en seco) kg	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>	FATIGA kg/cm <sup>2</sup>
0.349	681.64	51.77

PESO (saturado) kg	CARGA MÁXIMA kN	FUER-DEF MAX kg
0.429	0.56	57.46

### III.- GRÁFICA



I.- DATOS GENERALES		
PROBETA	COMPOSICIÓN	
OH2III-E	Doble Esterilla de Bambú Oldhamii de 0.5 x 0.5 cm + PEAD	
FECHA	PRUEBA	
22/08/2021	Resistencia Mecánica / Absorción y Retención de Humedad	

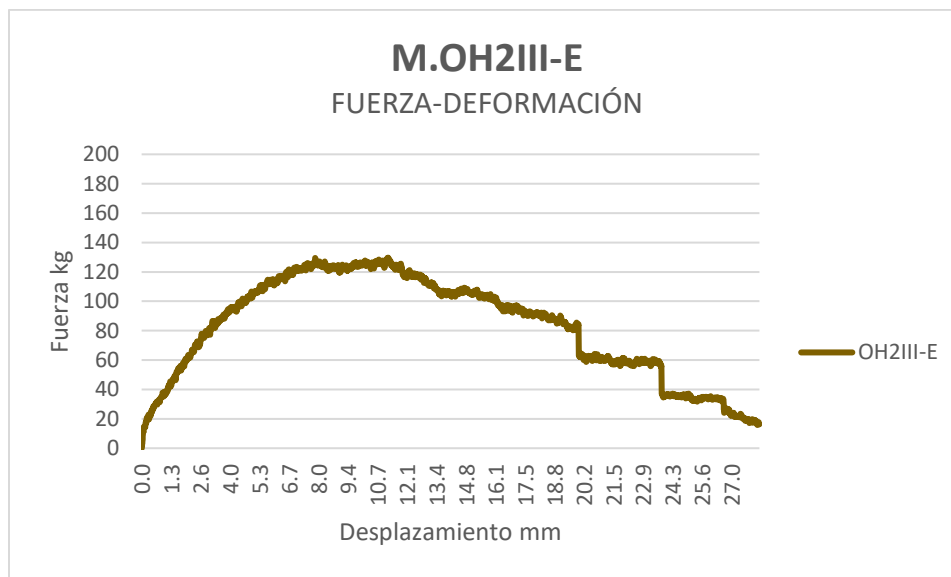


II.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
DIMENSIÓN cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	VOLÚMEN m <sup>3</sup>
16 x 16 x 2	256	0.00051


PESO (en seco) kg	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>	FATIGA kg/cm <sup>2</sup>
0.381	744.14	116.84

PESO (saturado) kg	CARGA MÁXIMA kN	FUER-DEF MAX kg
0.469	1.27	129.69

### III.- GRÁFICA



I.- DATOS GENERALES		
PROBETA	COMPOSICIÓN	
PL2	PEAD	
FECHA	PRUEBA	
22/08/2021	Resistencia Mecánica / Absorción y Retención de Humedad	

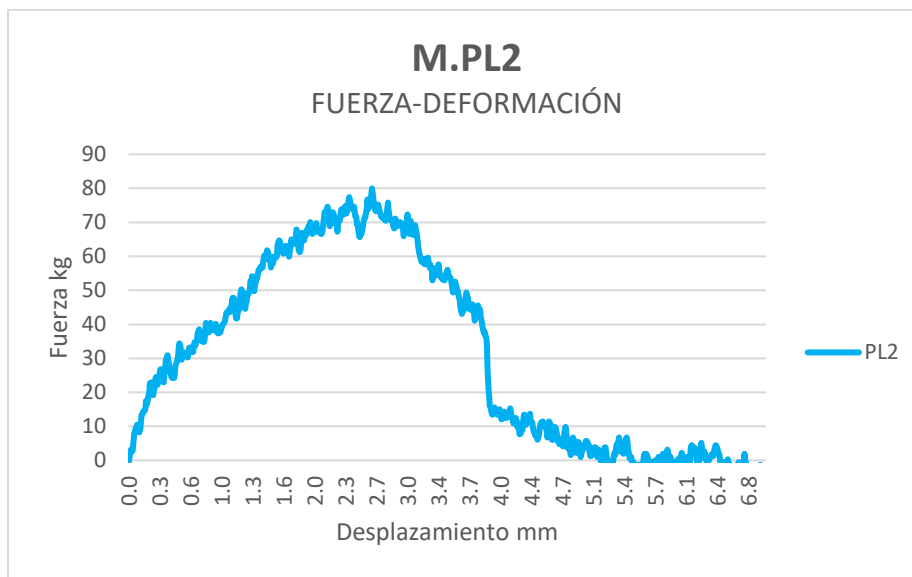


II.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
DIMENSIÓN cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	VOLÚMEN m <sup>3</sup>
16 x 16 x 2	256	0.00051


PESO (en seco) kg	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>	FATIGA kg/cm <sup>2</sup>
0.388	757.81	72.06

PESO (saturado) kg	CARGA MÁXIMA kN	FUER-DEF MAX kg
0.423	0.77	78.98

### III.- GRÁFICA



I.- DATOS GENERALES		
PROBETA	COMPOSICIÓN	
PL2-E	PEAD	
FECHA	PRUEBA	
22/08/2021	Resistencia Mecánica / Absorción y Retención de Humedad	

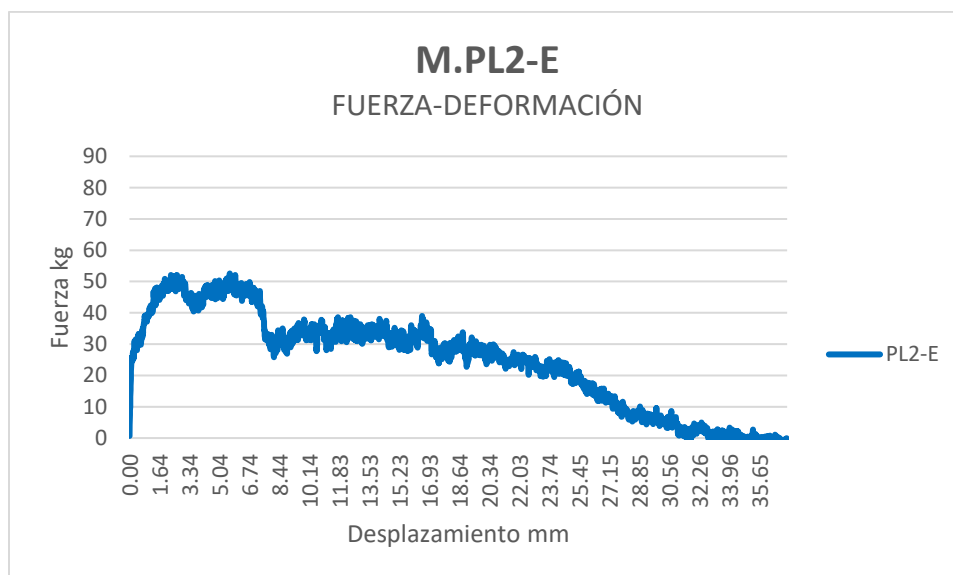


II.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
DIMENSIÓN cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	VOLÚMEN m <sup>3</sup>
16 x 16 x 2	256	0.00051

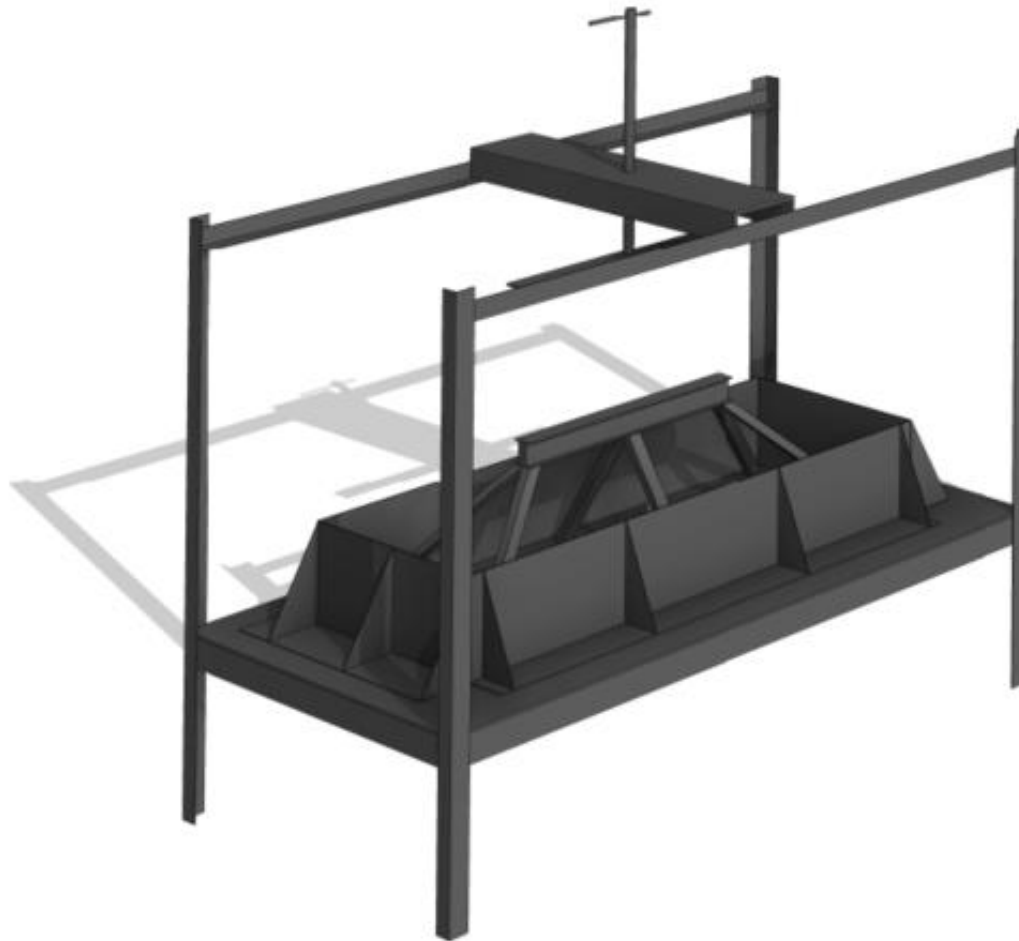
PESO (en seco) kg	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>	FATIGA kg/cm <sup>2</sup>
0.388	757.81	47.37

PESO (saturado) kg	CARGA MÁXIMA kN	FUER-DEF MAX kg
0.423	0.52	52.58

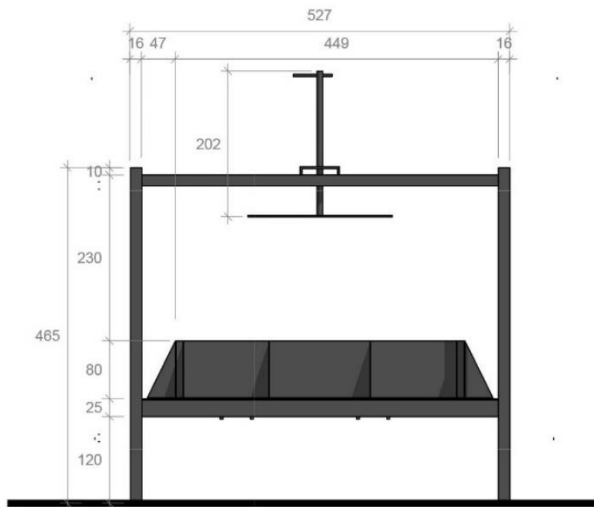
### III.- GRÁFICA



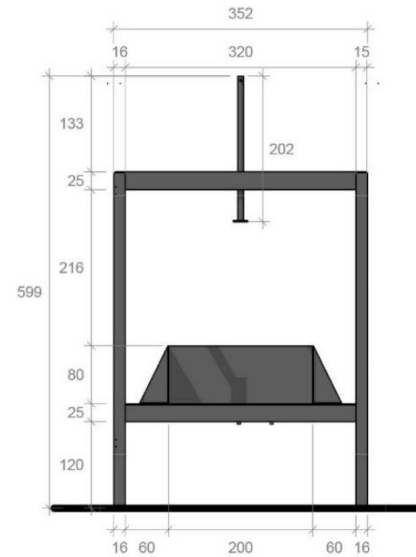
## ANEXO 2.- PLANOS MÁQUINA DE TERMO FUSIÓN.



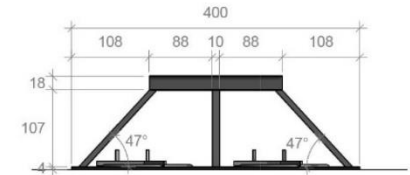
“DISEÑO DE PANELES DE PLÁSTICOS RECICLADOS DE ALTA DENSIDAD CON ESTERILLA DE BAMBÚ, PARA EVALUAR RESISTENCIA MECÁNICA Y CAPACIDAD ABSORCIÓN Y RETENCIÓN DE HUMEDAD”



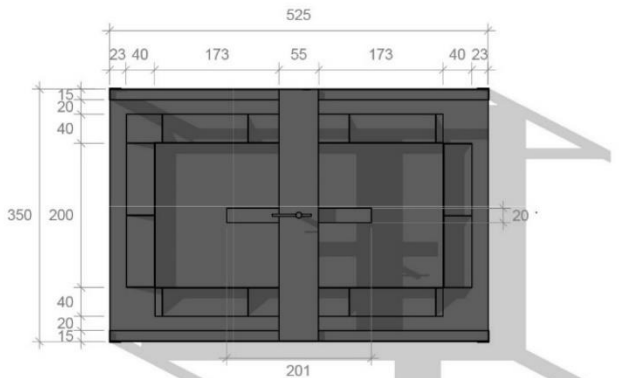
1 MT - Base Vista Frontal  
1 : 10



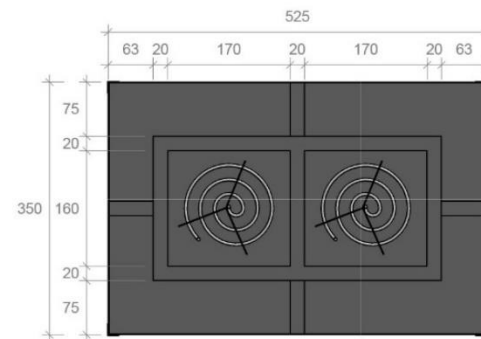
3 MT - Base Sección  
1 : 10



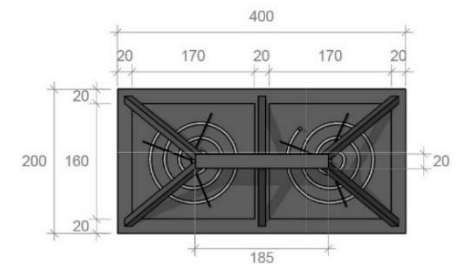
5 MT - Tapa Vista Frontal  
1 : 10



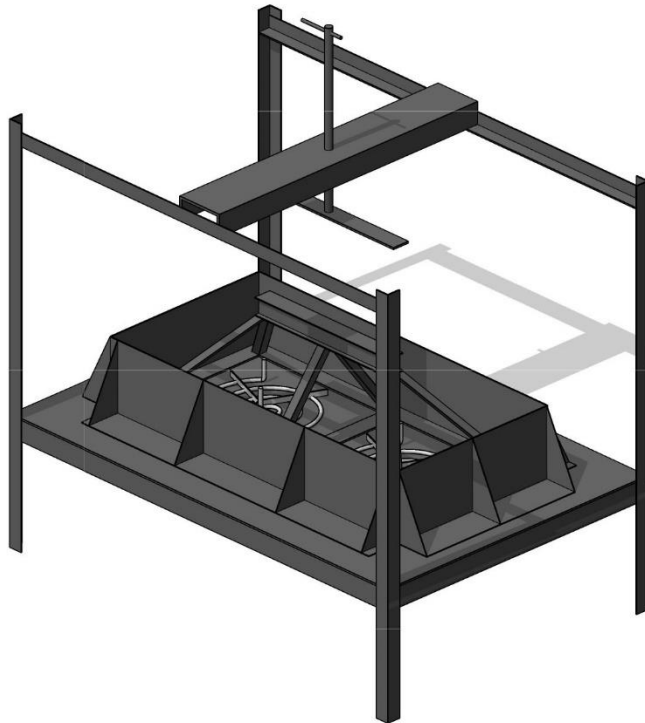
2 MT - Base Planta  
1 : 10



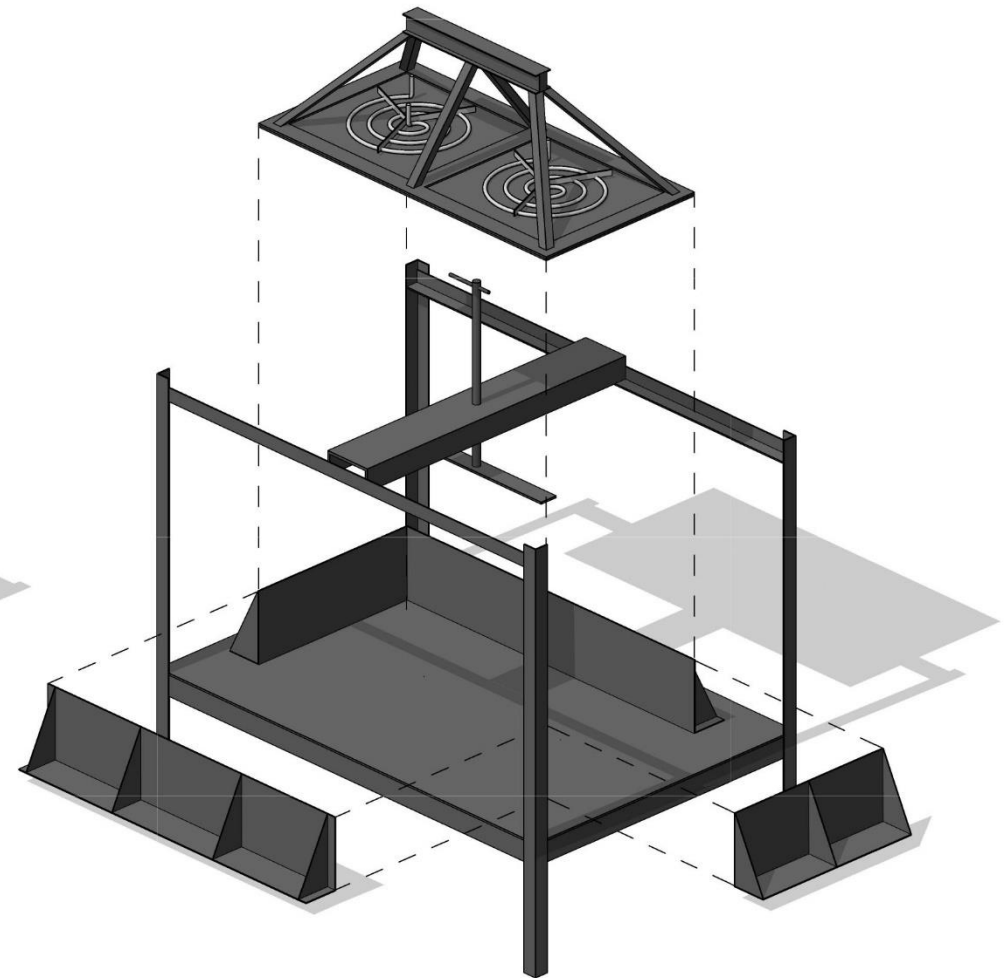
4 MT - Base Vista Baja  
1 : 10



6 MT - Tapa Planta  
1 : 10



1 MT - Isométrico



2 MT - Ensamble

“DISEÑO DE PANELES DE PLÁSTICOS RECICLADOS DE ALTA DENSIDAD CON ESTERILLA DE BAMBÚ, PARA EVALUAR RESISTENCIA MECÁNICA Y CAPACIDAD ABSORCIÓN Y RETENCIÓN DE HUMEDAD”