



UNIVERSIDAD MICHOACANA
DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO



FACULTAD DE INGENIERÍA EN
TECNOLOGÍA DE LA MADERA

**PROPIEDADES MECÁNICAS DE TABLETA DE 4 ESPECIES DE BAMBÚ,
PROVENIENTES DEL MUNICIPIO DE HUATUSCO, VERACRUZ.**

MARILENE PIÑA REYNOSO

TESIS DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO EN TECNOLOGÍA DE LA MADERA

Director:

MARCO ANTONIO HERRERA FERREYRA

Maestro en Ciencias en Tecnología de la Madera

Morelia, Michoacán, febrero 2014.

Dedicatoria

A los dos seres que me dieron la esencia
y la dicha de vida, a quienes sin pedir
nada a cambio me han otorgado su amor,
consejo y dirección.

Mis padres:

Pino Piña Juárez y Ángela Reynoso
Sánchez

Agradecimiento

Dios:

Por darme a unos padres maravillosos, que me han enseñado a depender de ti en cada momento, o darme la vida y la fuerza para concluir satisfactoriamente este pequeño pasó en mi vida.

Hermanos:

Nuestras vidas han tomado rumbos diferentes, pero hemos contado con el apoyo mutuo unos con otros, ya que nuestros lazos de hermandad son siempre y en todo momento sincero sin que nada ni nadie infiera en ellos, los quiero mucho hermanos y donde quiera que estén siempre contarán con mi respeto y admiración.

Luis Enrique:

Mi gran amigo, mi fuente de alegría, mi novio, que puedo decirte si tu eres mi confidente, has sido para mí un gran apoyo, e agradezco el haber tenido que soportar malos ratos, enojos, sonrisas, lagrimas y muchas otras cosas. Pr estas y otras cosas más gracias.

Profesores:

A las personas que dedicaron su tiempo, un pedacito de su vida, que llevo con cariño en mi mente, por enseñarme las armas para defenderme en el mundo real fundamentado con el conocimiento y resultados de su experiencia propi. Gracias.

Resumen.

El **bambú** no es un recurso forestal maderable, pero cuenta con cualidades similares al hierro por lo que se le considera el acero vegetal. Los estudios realizados acerca de estas gramíneas nos permiten un panorama más amplio sobre sus usos e industrialización. Los diferentes usos que tiene esta extraordinaria planta hacen que en diversos países genere nuevas economías y

sea considerado como el recurso más renovable para detener la deforestación del planeta por sus grandes atributos.

Los bambúes de México habían permanecido prácticamente desconocidos, afortunadamente México ha ido incrementando el interés y cuenta con algunos estudios sobre el bambú, (Cortés, 2000) por lo que para contribuir a este avance la presente investigación está dirigida a obtener **propiedades mecánicas de tableta**, de las especies *Bambusa vulgaris* var. *Vittata*, *Guadua angustifolia* kunth, *Bambusa oldhamii* Munro, *Phyllostachys bambusoide* (Madake), cultivadas en el municipio de Huatusco de Cuellar, Veracruz, con la finalidad de obtener datos relevantes para usos y aprovechamiento tecnológico adecuado.

Esta investigación se desarrolló en el laboratorio de Física y Mecánica de la Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, localizada en Morelia, Michoacán México.

Abstract

Bamboo is not a timber forest resources, but has similar qualities to iron so it is considered the steel plant. Studies performed on these grasses allow us a broader picture of their uses and industrialization. Different uses this extraordinary plant that has done that in several countries

generate new economies and is considered the most renewable resource to stop deforestation in the world for its great attributes.

Bamboos of Mexico had remained virtually unknown, fortunately Mexico has been increasing interest and has some studies on bamboo, (Cortés, 2000) so to contribute to the advancement of this research is aimed at obtaining **mechanical properties** of **tablet**, species *Bambusa vulgaris* var. *Vittata*, *Guadua angustifolia kunth*, *Bambusa oldhamii* Munro, *Phyllostachys bambusoide* (Madake), grown in the town of Huatusco de Cuellar, Veracruz, in order to obtain relevant and appropriate technological applications use data.

This research was conducted in the laboratory of Physics and Mechanics of the Faculty of Engineering in Wood Technology of the Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, located in Morelia, Michoacan, Mexico.

ÍNDICE

Introducción.....	1
--------------------------	----------

1.- Antecedentes	2
1.1.-Generalidades de los bambúes.....	2
1.2.- Morfología.....	4
1.3.- Propiedades físicas y mecánicas del culmo de bambúes.....	9
1.4.- Usos.....	16
1.5.- Descripción de las especies.....	17
 2.- Objetivo	 21
 3.- Materiales y métodos	 21
3.1.- Materiales.....	21
3.2.- Metodología general.....	21
3.3.- Metodología específica.....	22
3.3.1.- Compresión paralela.....	22
3.3.2.- Flexión estática.....	24
3.3.3.- Resistencia de la unión adhesiva.....	26
 4.- Resultados	 28
4.1.- Espesor de las probetas.....	28
4.2.- Compresión paralela.....	29
4.3.- Flexión estática.....	31
4.4.- Resistencia de la unión adhesiva.....	33
4.4.1.- En cuanto a carga aplicada.....	33
4.4.2.- En cuanto a la inspección visual.....	35
 5.- Análisis y discusión de resultados	 37
5.1.- En cuanto al espesor de las probetas.....	37
5.2.- Compresión paralela (σ_{wb}).....	37
5.3.- Flexión estática.....	39
5.4.- Resistencia de la unión adhesiva.....	42
 6.- Conclusiones y recomendaciones	 45
 7. – Bibliografía citada	 49
 Anexos	 55
ÍNDICE DE FIGURAS	
Figura 1.- Rizoma de grupo paquimorfo o simpodial (Ixcolín, 1999).....	4
Figura 2.- Rizoma del grupo leptomorfo o monopodial (Ixcolín, 1999).....	5
Figura 3.- Rizoma del grupo anfipodial o Intermedio (Ixcolín, 1999).....	5

Figura 4. Diagrama de sección longitudinal de brote o renuevo (izquierda) y sección baja de culmo maduro extendido (derecha) (McClure, 1966).....	6
Figura 5.- a) hoja cualinar triangular; b) hoja cualinar ampliamente triangular; c) hoja cualinar copulal; d) hoja cualinar ampliamente copulal; e) hoja cualinar cuneiforme (Ixcolín, 1999).....	7
Figura 6.- a) hoja Oblonga; b) hoja Oval-Lanceolada; c) hoja Oblongo-Lanceolada; d) hoja Lineal-lanceolada (Ixcolín, 1999).....	7
Figura 7.- Partes de una flor de bambú.....	8
Figura 8.- a) Fruto de bambú, b) Semilla de bambú.....	8
Figura 9.- Diagrama de momentos de flexión perpendicular y fuerzas cortantes en tres y cuatro puntos en pruebas de flexión (Janssen, 1981).....	14
Figura 10.- <i>Bambusa vulgaris</i> var. <i>Vittata</i>	17
Figura 11.- <i>Guadua angustifolia</i> kunth.....	18
Figura 12.- <i>Bambusa oldhamii</i> Munro.....	19
Figura 13.- <i>Phyllostachys bambusoides</i> (Madake).....	20
Figura 14.- Sección del culmo para la obtención de probetas de ensayo para cada especie.....	22
Figura 15.- Dimensiones posibles para la obtención de las probetas.....	22
Figura 16.- Probeta para la determinación de compresión paralela a la fibra.....	23
Figura 17.- Probeta para la determinación de flexión estática.....	24
Figura 18.- Dispositivo de carga adaptado para las pruebas de flexión estática.....	25
Figura 19.- Probeta de resistencia de la unión adhesiva.....	27
Figura 20.- Tipos de fallos de una unión adhesiva (Oñoro, 2006).....	27
Figura 21.- Espesor de la probetas por especies en (mm).....	28
Figura 22.- Propiedades relacionadas con el ensayo de compresión paralela.....	30
Figura 23.- Propiedades relacionadas con el ensayo de flexión estática.....	32
Figura 24.- Propiedades relacionadas con el ensayo de la unión adhesiva con PVA amarillo.....	33
Figura 25.- Propiedades relacionadas con el ensayo de de la unión adhesiva con PVA blanco.....	34

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.- Distribución de las especies de los bambúes en México (Rangel, 2005).....	2
Cuadro 1.- (Continuación) Distribución de las especies de los bambúes en México (Rangel, 2005).....	3

Cuadro 2.- Variedad de algunos usos actuales de bambúes (Gielis, J. 2002).....	16
Cuadro 3.- Resultados del espesor de la probeta por especie expresado en (mm).....	28
Cuadro 4.- Resultados de compresión paralela.....	29
Cuadro 5.- Resultados de flexión estática.....	31
Cuadro 6.- Resultados de resistencia de la unión adhesiva con PVA amarillo en cuanto a la carga aplicada.....	33
Cuadro 7.- Resultados de resistencia de la unión adhesiva con PVA blanco en cuanto a la carga aplicada.....	34
Cuadro 8.- Resultados de resistencia de la unión adhesiva en cuanto a la inspección visual del los ensayos realizados con (PVA) amarillo.....	35
Cuadro 9.- Resultados de resistencia de la unión adhesiva en cuanto a la inspección visual del los ensayos realizados con (PVA) blanco.....	36
Cuadro 10.- Compresión paralela de <i>Bambusa vulgaris</i> var. <i>Vittata</i> , <i>Guadua angustifolia kunth</i> , y <i>Bambusa oldhamii</i> Munro, <i>Phyllostachys bambusoides</i> (Madake), y su comparación con algunas maderas.....	38
Cuadro 10.- Compresión paralela de <i>Bambusa vulgaris</i> var. <i>Vittata</i> , <i>Guadua angustifolia kunth</i> , y <i>Bambusa oldhamii</i> Munro, <i>Phyllostachys bambusoides</i> (Madake), y su comparación con algunas maderas, (Continuación).....	39
Cuadro 11.- Flexión estática de <i>Bambusa vulgaris</i> var. <i>Vittata</i> , <i>Guadua angustifolia kunth</i> , y <i>Bambusa oldhamii</i> Munro, <i>Phyllostachys bambusoides</i> (Madake), y su comparación con algunas maderas.....	40
Cuadro 11.- Flexión estática de <i>Bambusa vulgaris</i> var. <i>Vittata</i> , <i>Guadua angustifolia kunth</i> , y <i>Bambusa oldhamii</i> Munro, <i>Phyllostachys bambusoides</i> (Madake), y su comparación con algunas maderas, (continuación).....	41
Cuadro 12.- Resistencia de la unión adhesiva con adhesivo (PVA) amarillo de <i>Bambusa vulgaris</i> var. <i>Vittata</i> , <i>Guadua angustifolia kunth</i> , <i>Bambusa oldhamii</i> Munro, y <i>Phyllostachys bambusoides</i> (Madake), y su comparación con algunas maderas.....	42
Cuadro 13.- Resistencia de la unión adhesiva con adhesivo (PVA) blanco de <i>Bambusa vulgaris</i> var. <i>Vittata</i> , <i>Guadua angustifolia kunth</i> , y <i>Bambusa oldhamii</i> Munro, <i>Phyllostachys bambusoides</i> (Madake), y su comparación con algunas maderas.....	43
Cuadro 14.- Tabla de clasificación de características mecánicas de las especies en estudio.....	44

Introducción

El bambú es considerado como el mayor representante de las gramináceas, y a diferencia de la madera, cuyo tronco crece perpendicular y radialmente a la vez, el bambú al momento de brotar del suelo lo hace con el diámetro que tendrá durante todo su desarrollo, excepto un pequeño segmento de la punta, en el que se reduce su diámetro (Huertas, 1996).

Afortunadamente México cuenta con 8 géneros, 35 especies y 2 subespecies, ocupando el segundo lugar con más diversidad en América Central en términos de bambúes leñosos. (Rangel, 2005), lo que podría ser aprovechado para darle un poco más de interés ya que es un producto que tiene más de 1,300 usos, tomando en cuenta que su importancia recae en la posibilidad de ser utilizado como un recurso alternativo de la madera que permita tener ingresos adicionales, combinado con otros sistemas de producción en el campo (Comisión Veracruzana de Comercialización, 2007).

En México existen estudios sobre los bambúes, que han esclarecido el estatus taxonómico de la mayor parte de las especies (Cortez, 2000), la mayoría de estos se enfocan en el culmo completo. A pesar de todos los estudios y avances, existe un rezago de información y tecnología sobre la utilización eficiente de este recurso, lo que nos lleva a tener oportunidad para la mejora de la producción de los productos tradicionales, desarrollar otros de mayor valor, aumentando el rendimiento en plantaciones, aplicación de bambú en la construcción, procesado y envasado de brotes, producción de carbón, investigación de extraíbles como vinagre, medicinas, fungicidas y otras aplicaciones tecnológicas elementales que aumenta el valor del vegetal, para lo cual se realiza la presente investigación que contiene una metodología basada lo más cerca posible a las normas ISO (Organización Internacional de Normas) y ASTM D 897-78 (Método Estándar para Propiedades de Tracción del Adhesivo) para pequeñas probetas de madera, tratando de aportar un poco mas de conocimientos acerca de este recurso.

1.-Antecedentes.

1.1.-Generalidades de los bambúes.

El bambú no es una madera, pero se le puede considerar como una madera con fibras, que posee cualidades similares al hierro por ser tan resistente como él, pero mucho más flexible y económico, por lo que se le considera el acero vegetal. El bambú es el mayor representante de las gramináceas, que comparándolo con la madera, existe una gran diferencia, ya que en la madera su tronco crece perpendicular y radialmente a la vez, característica básica de las dicotiledóneas, y es hasta que alcanza su desarrollo máximo, entre los 12 y los 100 años variando en este intervalo según sea la especie de la que se trate, cuando está física y mecánicamente preparada para ser utilizada, haciendo a la madera un elemento utilizable a mediano y largo plazo; mientras que el bambú al momento de brotar del suelo lo hace con el diámetro que tendrá durante todo su desarrollo, característica básica de las monocotiledóneas, excepto un pequeño segmento de la punta, en el que se reduce su diámetro. El bambú se compone de dos partes básicas, el rizoma, parte subterránea, y caña o culmo, parte exterior que se subdivide en parte basal, intermedia y superior, (Huertas, 1996).

Durante años, los bambúes en México habían permanecido prácticamente desconocidos, los únicos tratados con los que se contaba fueron escritos en el siglo pasado, y sólo dos o tres estudios se referían a algunas de las especies mexicanas. Afortunadamente, en la actualidad ya contamos con más y mejores estudios sobre los bambúes de México y el mundo, que han esclarecido el estatus taxonómico de la mayor parte de las especies (Cortez, 2000).

Ahora ya se conocen algunas especies Mexicanas de bambúes, su distribución (cuadro 1) y los rasgos característicos de cada especie. Sin embargo es necesario destacar que como otras muchas especies vegetales, algunas de las poblaciones de bambú silvestre corren el riesgo de desaparecer debido a la tala inmoderada de nuestros bosques y selvas, sobre todo si se trata de especies de las cuales conocemos una sola localidad. Seguramente el número de especies descritas para México aumentaría si se pudiera contar con más colecciones, principalmente de Chiapas, Oaxaca y Veracruz donde se encuentra el mayor número de las especies descritas. (Cortez, 2000).

Cuadro 1.- Distribución de las especies de los bambúes en México (Rangel, 2005).

DISTRIBUCIÓN DE LOS BAMBÚES EN MÉXICO.	
Especie:	Distribución:
<i>Arthrostylidium excelsum.</i>	Chiapas.
<i>Chusquea aperta.</i>	Oaxaca y Veracruz.
<i>Chusquea Bilimekii.</i>	Distribución: Estado de México y Veracruz.
<i>Chusquea circinata.</i>	Chiapas. Jalisco. Michoacán. Nayarit, Oaxaca y Veracruz.
<i>Chusquea coronalis.</i>	Distribución: Chiapas.
<i>Chusquea foliosa.</i>	Chiapas.
<i>Chusquea galeottiana.</i>	Guerrero y Oaxaca.

Cuadro 1.- Distribución de las especies de los bambúes en México (Rangel, 2005).
(Continuación)

DISTRIBUCIÓN DE LOS BAMBÚES EN MÉXICO.	
Especie:	Distribución:
<i>Chusquea glauca</i> .	Distribución: Hidalgo, Puebla y Veracruz.
<i>Chusquea lanceolata</i> .	Chiapas.
<i>Chusquea liebmannii</i> .	Chiapas, Oaxaca, Sinaloa, Jalisco, Colima, Guerrero y Michoacán.
<i>Chusquea longifolia</i> .	Chiapas.
<i>Chusquea muelleri</i> .	Veracruz.
<i>Chusquea nelsonii</i> .	Guerrero, Michoacán, Nuevo León, Chiapas, Jalisco y Estado de México.
<i>Chusquea perotensis</i>	Veracruz y Oaxaca.
<i>Chusquea pittieri</i> .	Chiapas, Guerrero y Michoacán.
<i>Chusquea repens</i> . Se reconocen 2 subespecies <i>Chusquea repens</i> subsp. <i>repens</i> .	Chiapas.
<i>Chusquea repens</i> subsp.	Oaxaca.
<i>Chusquea simpliciflora</i> .	Chiapas
<i>Chusquea sulcata</i> .	Chiapas.
<i>Guadua amplexifolia</i> .	Chiapas, Campeche, Veracruz, Oaxaca, Puebla y Tabasco.
<i>Guadua longifolia</i> .	Veracruz, Chiapas y Tabasco.
<i>Guadua paniculata</i> .	Jalisco, Chiapas, Oaxaca, Veracruz, Guerrero y Nayarit.
<i>Guadua velutina</i> .	San Luis Potosí, Oaxaca, Tabasco, Tamaulipas y Veracruz.
<i>Rhipidocladum pittieri</i> .	Chiapas.
<i>Chusquea sulcata</i> .	Chiapas.
<i>Guadua amplexifolia</i> .	Chiapas, Campeche, Veracruz, Oaxaca, Puebla y Tabasco.
<i>Guadua longifolia</i> .	Veracruz, Chiapas y Tabasco.
<i>Guadua paniculata</i> .	Jalisco, Chiapas, Oaxaca, Veracruz, Guerrero y Nayarit.
<i>Guadua velutina</i> .	San Luis Potosí, Oaxaca, Tabasco, Tamaulipas y Veracruz.
<i>Rhipidocladum pittieri</i> .	Chiapas.
<i>Otatea acuminata</i> ssp. <i>aztecorum</i> .	Sonora, Chihuahua, Sinaloa, Durango, Nayarit, Jalisco, Michoacán, Querétaro, Puebla, Guerrero y Estado de México.
<i>Otatea fimbriata</i> .	Chiapas, Jalisco, Michoacán, Oaxaca y Puebla.
<i>Olmea recta</i> .	Veracruz y Oaxaca
<i>Olmea reflexa</i> .	Chiapas, Oaxaca y Veracruz.
<i>Aulonemia laxa</i> .	Chiapas, Guerrero y Veracruz.
<i>Aulonemia fulgor</i> .	Oaxaca y Veracruz

México cuenta con 8 géneros, 35 especies, y 2 subespecies, ocupando el segundo lugar con más diversidad en América Central en términos de bambúes leñosos. En la actualidad, 8 géneros y 37 especies se reportan con un género, Olmea, y 14 especies son endémicas. La mayoría (47%) de sus especies pertenecen al género *Chusquea*, y el resto a *Arthrosty lidium*, *Aulonemia*, *Guadua*, *Olmea*, *Otatea* y *Rhipidocladum* (Rangel, 2005).

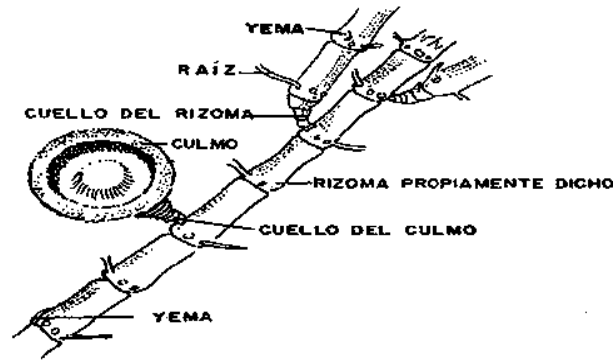


Figura 2.- Rizoma del grupo leptomorfo o monopodial (Ixcolín, 1999).

Grupo Anfipodial o intermedio.

Se identifica por tener rizomas que presentan una ramificación combinada del grupo Paquimorfo y Leptomorfo (figura 3) en una misma planta (Ixcolín, 1999).

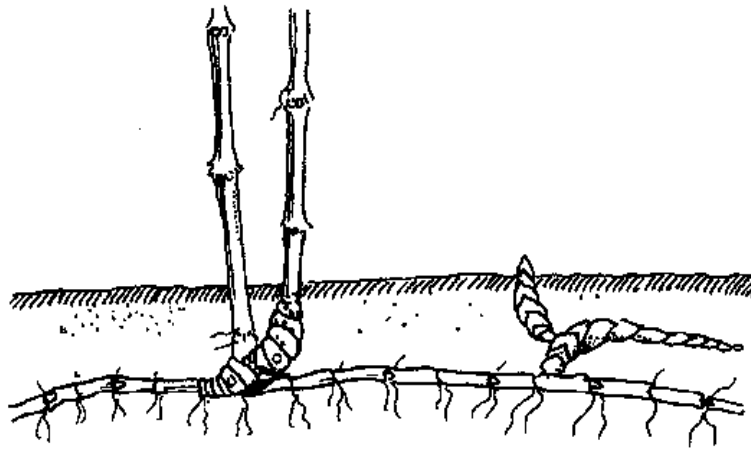


Figura 3.- Rizoma del grupo anfipodial o Intermedio (Ixcolín, 1999).

Culmo o tallo.

El culmo consta de segmentos nodo-internodo-nodo y su forma varía de especie a especie, y en algunos casos de género a género. El culmo es la parte visible de los bambúes que los hace únicos como material y planta, es también donde se diferencia de las demás hierbas y árboles. Su crecimiento inicia desde las yemas del rizoma desarrollándose por varios años antes de emerger a la superficie como un renuevo. En esta fase latente, un culmo (nodos e internodos) se definen totalmente en cantidad y diámetro máximo. Una vez definido se presenta la elongación de sus internodos en forma de telescopio (Figura 4), para posteriormente presentar endurecimiento por lignificación (McClure, 1966; Liese, 1998). Es la parte de la

planta más usada por sus extraordinarias cualidades físicas y mecánicas, su forma y bajo peso. Se caracteriza por tener forma cilíndrica con entre nudos huecos y separados transversalmente por tabiques o nudos a distancias similares, aunque existen especies con formas fuera de lo común como: *Phyllostachys edulis* y *Phyllostachys* cuadrangular, llamados bambú concha de tortuga y bambú cuadrado de la china respectivamente. El tallo no posee corteza, pero a su vez tiene una epidermis dura y cutinizada, cubierta con una capa cerosa que la hace impermeable y evita la evaporación del agua que contiene sus paredes (Ixcolin, 1999).

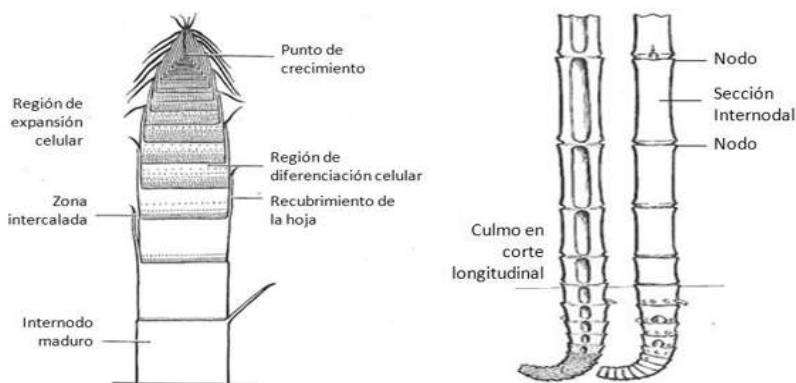


Figura 4. - Diagrama de sección longitudinal de brote o renuevo (izquierda) y sección baja de culmo maduro extendido (derecha) (McClure, 1966).

El crecimiento de los tallos en el bambú es relativamente rápido, no existe planta en la naturaleza que lo iguale. En condiciones normales de desarrollo, el crecimiento promedio es de 0.08 m. a 0.10 m. en 24 horas, algunas especies crecen hasta 0.40 m en 24 horas (Huertas, 1996).

El periodo de crecimiento desde su brote del suelo hasta alcanzar su altura máxima varía, según sea el grupo al que pertenezca la especie, de la siguiente forma: Grupo Paquimorfo de 80 a 110 días. En las especies de este grupo su desarrollo se da en la época de verano u otoño, periodo crítico, que hacen que el tallo crezca lenta pero continuamente. Grupo Leptomorfo de 30 a 80 días. En las especies de este grupo, el crecimiento de los tallos se da en dos etapas: 1.- Periodo inicial, es el periodo de crecimiento acelerado del tallo, en el cual alcanza el 39% de su altura total, más o menos; 2.- En el periodo final, el crecimiento del tallo es sumamente lento, complementando su altura definitiva. Grupo Anfigipodial de 30 a 110 días (Huertas, 1996).

Los tallos varían según la especie en: colores, altura y diámetro. En cuanto al color; la mayoría de las especies son verdes, verde con rayas amarillas, amarillos, blancos, rojos, púrpura y negros. En cuanto a la altura y el diámetro las diferencias son muy marcadas desde *Dendrocalamus giganteus* y *Bambusa guadua* que llega a desarrollar tallos de 30 cm de diámetro y 25 m de longitud hasta *Arundinaria densifolia* con tallos de 0.5cm de diámetro y apenas 1.0 m de altura (Ixcolin, 1999).

Hojas.

Existen dos tipos de hojas en el bambú, el primer tipo es el que se desarrolla en la primera fase de crecimiento y se le denomina hojas caulinares y el segundo tipo se desarrolla en la segunda fase de crecimiento y se les denomina hojas de follaje (Ixcolin, 1999):

Hojas caulinares.

Tienen una función importante en el desarrollo del bambú, es proteger al retoño. Gran parte de la hoja es envainada y el limbo apenas desarrollado, pueden presentar vellosidad en la parte externa y en la interna una superficie lustrosa. La forma de la hoja caular puede ser: triangular, ampliamente triangular, copulal, ampliamente copulal y cuneiforme (figura 5) (Ixcolin, 1999).

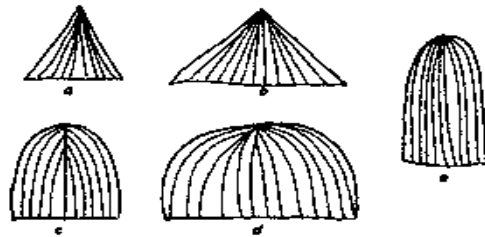


Figura 5.- a) hoja cualinar triangular; b) hoja cualinar ampliamente triangular; c) hoja cualinar copulal; d) hoja cualinar ampliamente copulal; e) hoja cualinar cuneiforme (Ixcolin 1999).

Hojas del follaje.

Se caracterizan por un gran desarrollo en el limbo, en la gran mayoría de los bambúes esta hoja es ancha, con la base comprimida, y unida a la vaina por un pequeño tallo. La vaina llega a ser más o menos proporcional al tamaño o al número de hojas en una rama. Las hojas del follaje presentan un peciolo corto, que en muchos de los casos tiene un pequeño abultamiento que las ayuda a orientarse según el sol, y su forma puede ser: oblonga, ovalo-lanceolada, oblongo-lanceolada y lineal lanceolada (figura 6) (Ixcolin, 1999).



Figura 6.- a) hoja Oblonga; b) hoja Oval-Lanceolada; c) hoja Oblongo-Lanceolada; d) hoja Lineal-lanceolada (Ixcolin, 1999).

Flor.

La floración del bambú se presenta por lo general en periodos que oscilan entre 3, 30, 60, y 120 años. Después de la floración se inicia un nuevo ciclo de vida con la germinación de la semilla (Ixcolin, 1999). Cuando los bambúes florecen, generalmente lo hacen todos los individuos de una sola población, pero puede ser que solo una o dos plantas de bambú produzcan flores, y muchas veces se han registrado florecimientos donde solo algunas de las ramas producen flores. Las flores de los bambúes no son llamativas, y son semejantes a las flores del maíz, trigo u otras gramíneas (figura 7). El florecimiento del bambú puede ser cíclico, y una vez que ha florecido pueden tardar varios años para que el evento se repita (Aguilar, 2005).



Figura 7.- Partes de una flor de bambú.

Frutos.

Los frutos (figura 8) del bambú son semejantes a un grano de arroz. Si bien son poco conocidos, existen bambúes con frutos grandes y carnosos. Siempre tienen una sola semilla (Sánchez. 2009).

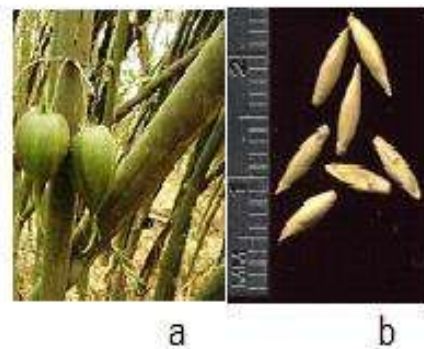


Figura 8.- a) Fruto de bambú, b) Semilla de bambú.

1.3.- Propiedades físicas y mecánicas del culmo de bambúes.

Para evaluar las propiedades físicas y mecánicas, se consideran aspectos biológicos y otros efectos que pueden influenciar en las propiedades, tales como especie, edad, si está en estado verde o acondicionada, contenido de humedad, forma y tamaño del espécimen, si considera internodos y/o nodos, posición de la muestra a lo largo del culmo, origen, y densidad que se toma como parámetro para discutir y referenciar los resultados (Janssen, 1981).

Contenido de humedad.

En materiales higroscópicos, como la madera y el bambú, el contenido de humedad representa la cantidad de agua, conocido comúnmente como savia, que se encuentra en su interior e influye en el comportamiento de sus propiedades físicas (Morales. 2010).

El contenido de humedad en el culmo puede variar por diversas razones, entre ellas:

- Especie.
- Parte del culmo.
- Edad del culmo.
- Época de corte.

La medida del contenido de húmeda en el bambú, se expresa como porcentaje del peso seco al horno (Morales, 2010). El contenido de humedad es una de las propiedades más importantes en todo el ciclo de vida de los bambúes, desde su corte hasta su uso y aplicación final (Liese. 1985). La base de los culmos es más húmeda y hacia su copa más seca. También esta propiedad varía si es nudo o entrenudo, y tangencialmente en su pared de la parte interna a la periferia (Abd. Latif. 1993). Los bambúes tienen un contenido de humedad alto, en estado verde puede tener 100 % de humedad (base peso anhidro), puede alcanzar alrededor de 155 % en sus capas internas y 70 % en sus capas externas. La variación vertical puede alcanzar un 82 % en su parte alta y 110 % en su parte baja. El punto de saturación de la fibra de bambú es alrededor de 20-22 % y su densidad varía entre 0.4 y 0.8 g/cm³ dependiendo de su estructura anatómica (Kishen *et al*, 1956.).

La estación tiene una gran influencia en el contenido de agua de la caña, con un mínimo al final del periodo seco, seguido de un máximo en la estación lluviosa, Durante este periodo, puede duplicar su contenido de agua. La variación debido a la temporada es mayor que la diferencia entre la base y la parte superior, así como entre las especies. Entre las especies el contenido de agua varía incluso en la misma localidad. Esto se debe principalmente a la variación en la cantidad de células de parénquima, lo que corresponde a la capacidad de retención de agua (Liese *et al*, 1961).

Contracción e hinchamiento.

La contracción o hinchamiento del culmo. Depende de la anatomía y estructura blanda de la parte interna de la pared del culmo. Su afectación es al grosor de la pared como al diámetro

del culmo y a lo largo de su estructura disminuye de abajo hacia arriba. Este término guarda relación con el contenido de humedad, y su unidad de medida es el porcentaje (Morales, 2010).

Las variaciones en el contenido de humedad producen cambios dimensionales en el bambú, estos cambios se deben a la pérdida o ganancia de agua higroscópica en la pared. El bambú sufre cambios en la longitud, anchura y espesor de pared los cuales son aproximadamente proporcionales al contenido de agua del material por encima del punto de saturación de las fibras (Morales, 2010). Cuando la humedad del bambú se equilibra con la del ambiente la contracción cesa (Ixcolin, 1999).

Peso específico.

Varia con la humedad, pero para cañas secadas al aire (18% de contenido de humedad), oscila entre 0.70 y 0.80 g/cm³. Si se considera solo la pared, puede llegar a 0.85 g/cm³. El peso específico depende también de la porción de caña analizada: a la base ronda los 0.57 g/cm³ (mayor volumen hueco) y en la cima 0.76 g/cm³ (Barbaro, 2007).

Esta propiedad física resulta útil para tener una idea del peso del bambú por unidad de volumen. El peso específico difiere en cada especie y también varía entre los tallos de una misma especie, en los diversos tramos del tallo, así como en las partes internas y externas del mismo (Ixcolin, 1999).

Debido a la menor cantidad de parénquima en los nudos, el peso específico es generalmente más alto que en los entrenudos. En consecuencia y por la irregularidad en la disposición de la fibra, los nudos conducen a una importante reducción en la capacidad de resistencia a los diferentes esfuerzos (Ixcolin, 1999).

Punto de saturación de la fibra y la contracción.

El punto de saturación de la fibra está influenciado por la composición del tejido y la cantidad de extractivos higroscópicos. Dado que las fibras y parénquima tienen un punto de saturación de las fibras diferente, ya que la cantidad de agua es variable dentro de un tallo, por lo que conduce a valores diferentes (Ota, 1955.).

A diferencia de la madera, el bambú comienza a encogerse desde el principio de la contracción. La contracción afecta tanto el espesor de las paredes y la circunferencia. El bambú en condición verde a aproximadamente 20% de contenido de humedad conduce a una contracción de 4 a 14% en el espesor de la pared y del 3 al 12% de diámetro. El tejido de bambú se contrae principalmente en la dirección radial, y la deformación mínima se produce en la dirección axial. La contracción tangencial es mayor en las partes externas de la pared que en las partes interiores. La contracción de toda la pared parece regirse por la contracción de la parte más exterior, que posee también el mayor peso específico. Tallos maduros encogen menos que los inmaduros (Sekhar *et al.*, 1964).

Se determinaron valores de encogimiento de culmos recién talados al estado de secado en horno de *Phyllostachys pubescens* de la siguiente manera: tangenciales: 8,2% para la parte exterior de la pared y de 4,1% para el interior; radial: 6, 8% para la parte exterior y 7,2 % para el interior; longitudinal: 0,17% para la parte exterior y 0,43% para el interior. La contracción se inicia simultáneamente con la disminución del contenido de humedad, pero no continúa cuando el contenido de agua disminuye de 70-40%, y se detiene la contracción. El tejido de parénquima se contrae menos en bambú que en la madera, mientras que las fibras vasculares se reducen tanto como en maderas que tienen la misma gravedad específica. El porcentaje de hinchamiento disminuye con el aumento de la densidad básica (Sekhar *et al*, 1964).

Dureza.

La dureza en el culmo del bambú está relacionada con la edad, contenido de humedad y región en la pared del culmo. A mayor edad aumenta la dureza en la zona exterior de pared donde hay mayor concentración de fibras dando más estabilidad al culmo. Esta propiedad es una de las más estudiadas para la elaboración de pisos, y en el caso de la especie *Phyllostachys pubescens*, una de las especies con más estudios para este uso en países asiáticos, se reporta una densidad entre 0.67 y 0.68 g/cm³. (Schwab *et al*, 1999).

Compresión paralela a la fibra.

Gran parte del bambú aplicado en la construcción está sometido a esfuerzo de compresión paralela a la fibra, por ejemplo; en columnas, paralelas, soportes y otros, los cuales están sujetos a cargas que tienden a aplastar o a cortar los miembros longitudinales (Ixcolin, 1999).

La resistencia a la compresión del bambú es relativamente alta, pero carece de significado si no se especifica el grado de sazónamiento y la relación entre la longitud y el diámetro del elemento. Es importante definir el grado de sazónamiento puesto que, como en la madera, la humedad disminuye la rigidez de las células fibrosas, trayendo consigo una disminución de las propiedades mecánicas, sobre todo en compresión y flexión. Si la longitud del tallo es suficientemente grande con relación a la sección transversal mínima, la resistencia bajo cargas compresivas disminuye considerablemente por efecto de flexión lateral o pandeo. Por ende, una falla a flexión lateral se produce antes que se desarrolle por completo la resistencia a la compresión (Ixcolin, 1999).

Los estudios de compresión paralela a la fibra de bambúes consideran diferentes factores como especie, sección del culmo, contenido de humedad, diámetro, espesor de pared y altura de probeta de ensayo, para así conocer su comportamiento como material de construcción principalmente, formando parte de estructuras que soporten esfuerzos de carga en sentido vertical. Esta variabilidad de factores deben ser especificados en estudios de compresión paralela a la fibra (Janssen, 1981).

Latif, (1993) establece que la longitud de las fibras de bambúes tiene una correlación positiva con el módulo de elasticidad (MOE) y fuerzas de compresión, pero negativa con respecto al módulo de ruptura (MOR).

Takeuchi y González (2007) obtienen valores de resistencia a la compresión paralela a la fibra en la especie *Guadua angustifolia* a una edad mayor a los 5 años, encontrando que el esfuerzo máximo a la compresión aumenta con la altura del bambú, reportando un rango mínimo de 29 MPa y máximo de 119 MPa, siendo el valor promedio de 56 MPa.

Espinosa (1930) realiza estudios de compresión para la especie *Bambusa spinosa* de Filipinas encontrando un rango de compresión máxima 27-32 N/cm² para especímenes de 1200 mm de altura y 51.8-82.8 N/cm² para especímenes más cortos de 350 mm.

Janssen (1981) realiza una revisión de diversos estudios de compresión paralela a la fibra en distintas especies de bambúes para comparar los resultados y procedimientos de ensayo destacando lo siguiente: el alto de las probetas de ensayo fue de 50, 100, y 200 mm, los diámetros variaron de 70 a 90 mm y los espesores de pared de 5 a 9 mm. Las variables que se debe tomar en cuenta son el contenido de humedad, posición a lo largo del culmo y si es sección nodal o intermodal. Los resultados reportados estuvieron en el rango de 60-110 N/mm² en compresión máxima. Se presentaron fallas por rajadura paralela a la fibra y aplastamiento, no existiendo relación con el contenido de humedad. Menciona que la sección superior del culmo es más resistente que la base, sin embargo no es significativa. Estableció una relación entre la fuerza de compresión y densidad (ρ) en 0.094ρ para 12% de contenido de humedad y 0.0075ρ en condición verde. Menciona que los coeficientes de variación de 15 a 20 % en pruebas mecánicas en madera y bambúes son comunes.

Prawirohatmodjo (1988) ensayó probetas de culmo de 30 x 100 mm x espesor de pared, reportando que la presencia de nodo no tiene un efecto significativo en la resistencia a la compresión, pero el contenido de humedad es un factor significativo.

Ghavami y Marinhno (2001) presentan diversas propiedades de diferentes especies de bambúes *Moso*, *Madake*, *Guadua angustifolia*, *Guadua tagoara* y *Dendrocalamus giganteus*, encontrando que la resistencia a compresión es en general tres veces menor que la resistencia a tracción.

Corte paralelo a la fibra.

El esfuerzo cortante es una medida de la capacidad que tiene el bambú en soportar fuerzas que tienden a producir deslizamientos de una porción del material con relación a otra porción adyacente. El corte es una fuerza que actúa paralelamente a un plano, todo lo contrario a la tensión y compresión paralela a la fibra que es perpendicularmente al área considerada. La fractura por cortante es muy diferente de la tensión y compresión paralela a la fibra, puesto que no hay reducción localizada del área ni alargamiento (Ixcolín, 1999).

El empleo del bambú en la construcción involucra la presencia de esfuerzo cortante en mayor o menor grado y las fuerzas que los producen pueden actuar a lo largo de la fibra, a través de la fibra y en forma inclinada o en la diagonal a la misma. En el tallo con 10 mm de espesor, el esfuerzo cortante es aproximadamente un 11 por ciento más bajo que para el tallo con paredes de 6 mm de espesor, debido a la mayor distribución de fibras fuertes en la sección transversal.

Estudios comparativos de resistencia a esfuerzo de tensión, flexión y cortante en maderas de roble, pino, abeto y bambú, demuestran que este último es tan fuerte como las otras maderas en tensión y flexión pero más débil al corte. El cortante de las maderas mencionadas oscila entre un 20 y 30 % del esfuerzo a compresión a un 8 % del esfuerzo a compresión (Ixcolin, 1999).

El esfuerzo de corte debe ser tomado muy en cuenta especialmente en diseño de uniones o juntas. La mayoría de estos elementos constructivos están sujetos a corte paralelo a la fibra. Para corte perpendicular a la fibra no ocurre falla directa en el plano de sección transversal, en vista de que las otras propiedades hacen que la falla ocurra en alguna otra forma, causado por aplastamiento a través de la fibra. El efecto de corte diagonal se puede observar en los pinos inclinados de falla en columnas cortas ensayadas a compresión. En los ensayos de corte paralelo a la fibra, el tipo de falla que generalmente ocurre es paralela a la fibra, de superficie plana y lisa (Ixcolin, 1999).

Cortante.

La propiedad de resistencia cortante o cizallamiento consiste en separar las fibras de bambúes aplicando fuerzas de compresión paralela en secciones de la cara tangencial del culmo, esta fuerza es aplicada semejante al efecto de una cizalla que tiende a separar un cuerpo en 2 o 4 partes calculando únicamente el módulo de ruptura (Ixcolin, 1999).

Meyer y Ekelund, (1922) calcularon el esfuerzo cortante en culmos de bambúes en estado verde y sazonado de secciones nodal e internodal obteniendo resultados en el rango de 8.56-8.64 N/mm² para los sazonzados y 7.42-8.10 N/mm² en estado verde soportando un esfuerzo menor.

Atrops (1969) realiza dos variantes de ensayo al esfuerzo cortante para 1/4 y 2/4 del diámetro de la? sección tangencial del culmo en probetas de 80 mm de altura, encontrando que la resistencia cortante en 1/4 es ligeramente mayor que a 2/4 de la sección, en rangos de 16.9-23.1 N/mm² y 14.7-22.2 N/mm² respectivamente.

Ota (1950) realiza un estudio de esfuerzo cortante en relación con el contenido de humedad para las especies *Phyllostachis reticulata*, *Phyllostachis nigra* y *Phyllostachis edulis* organizando rangos de humedad, densidad y espesor de pared previamente al ensayo, observando una mayor resistencia en probetas con mayor densidad y menor contenido de humedad. Encontrando rangos de resistencia cortante de 11.2 - 28.6 N/mm², 10.8 - 26.3 N/mm² y 8.3 - 28.6 N/mm² para las especies, respectivamente. Estos valores se obtuvieron en ensayos considerando un solo corte longitudinal en probetas.

Flexión perpendicular a la fibra.

La tensión perpendicular a la fibra es la disgregación de la fibra por fuerzas que actúan perpendicularmente a las mismas, se relacionan estrechamente al clivaje por la acción de hender o separar el bambú a lo largo de la fibra. También está vinculado al fenómeno del agrietamiento superficial, del que son más o menos propensas todas las especies de bambú durante el secado (Ixcolin, 1999).

El cálculo de la flexión perpendicular a la fibra es un esfuerzo al que se ven sometidos los bambúes más comúnmente en construcción, formando parte de estructuras donde es importante conocer los límites máximos de carga (Ixcolin, 1999).

Debido a que los bambúes son un material anisotrópico, donde su estructura presenta paredes de diferente espesor, el cálculo de las fuerzas laterales presenta dificultad cuando se ensayan culmos enteros. Igualmente existen diferencias en los ensayos de flexión a 3 puntos que de 4 puntos; en los ensayos a 4 puntos el tercio central del culmo no se ve sometido a fuerzas transversales existiendo solo el momento de inercia puro. Mientras que en los ensayos de flexión a 3 puntos la falla ocurre en el punto central donde la fuerza se concentra. Es por eso que el ensayo de 3 puntos es menos representativo de la realidad (figura 12) (Janssen, 1981).

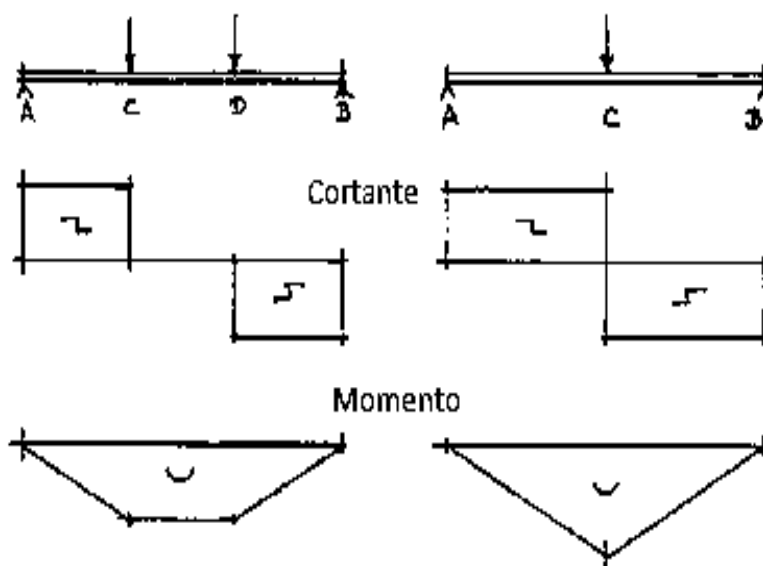


Figura 9.- Diagrama de momentos de flexión perpendicular y fuerzas cortantes en tres y cuatro puntos en pruebas de flexión (Janssen, 1981).

Los aspectos que se deben considerar para ensayos de flexión paralela en bambúes principalmente es definir el tipo de ensayo, la especie, edad, contenido de humedad, forma y longitud del culmo, sección del culmo (cepa, basa, sobrebasa, varillon), cantidad de nodos y espesor de pared, para determinar el momento de inercia, límite elástico de proporcionalidad (E_{LP}), resistencia última (MOR) y módulo de elasticidad (MOE) (Janssen, 1981).

Janssen (1991) realiza un análisis de diversos estudios de flexión a tres y cuatro puntos de apoyo de diversos autores destacando los siguientes;

Limaye (1952) realiza un estudio de flexión considerando edad, posición en culmo y densidad para la especie *Dendrocalamus strictus* en estado verde y seco, con una longitud de 700 mm, en rangos de 0.5, 1, 2, y 2.5 años de edad, en esfuerzo a tres puntos, reportando que la densidad, la resistencia última y el módulo de elasticidad aumentan en la edad de 2.5 años en estado verde, siendo aún mayores estos valores en culmos secos. Los valores promedio para esta edad en estado seco se reportan en 771 kg/m^3 de densidad, con límite elástico (E_{LP}) 83.4

N/mm², resistencia última a la flexión (MOR) de 130.2 N/mm² y módulo de elasticidad (MOE) de 19910 N/mm². Los rangos mínimos y máximos para esta edad en estado verde se encuentran en: 748 a 796 kg/m³, MOR de 124 a 143 N/mm², E_{LP} de 82 a 86.1 N/mm² y MOE 18950 a 21430 N/mm².

Atrops (1969) realiza un comparativo de métodos de flexión en tablillas de bambúes a 300 mm de claro entre apoyos y culmos completos con 3600 mm de claro entre apoyos en ensayo a 4 puntos, obteniendo rangos en módulo de elasticidad (MOE) de 16900-22700 N/mm² y módulo de ruptura (MOR) de 68.9-183 N/mm² en tablillas, y para el caso de culmos completos reporta módulos de ruptura (MOR) entre 79.1-143.3 N/mm². Este estudio comparativo no especifica especie ensayada. Se observan rangos menores de MOR en culmos enteros.

Sekhar y Bhartari (1961) realiza un ensayo de flexión por impacto en la especie *Dendrocalamus strictus* considerando edad de 1 a 6 años y valores de densidad, para culmos de 3.30 m de largo a 12% en contenido de humedad, observando rangos de 608-718 kg/m³ en densidad, límite elástico (ELP) de 147.5-179 N/mm² y módulo de elasticidad (MOE) entre 18160 -29410 N/mm² observando que los bambúes a 3 años reportan valores más elevados en MOE.

Clivaje.

La resistencia al clivaje se utiliza para medir la resistencia que ofrece el bambú al desgarramiento. Se expresa como la fuerza necesaria para provocar la falla por unidad de longitud (kg/cm). Una baja resistencia al clivaje favorece el corte longitudinal de los tallos, mientras que una alta resistencia es requerida para uniones con pernos, clavos y otros (Janssen, 1981).

Unión adhesiva.

Se han realizado muy pocas investigaciones sobre laminados de bambú. La primera investigación (Lee *et al.*, 1998), consistió en determinar experimentalmente la resistencia de vigas elaboradas con láminas de bambú, proveniente de una plantación del estado de Carolina del Sur en los Estados Unidos. En este estudio, se determinó la variación de la resistencia mecánica a flexión de laminados fabricados con diferentes dosificaciones de adhesivo y para diferentes contenidos de humedad. Adicionalmente, se estableció la resistencia al corte del adhesivo ureaformaldehído y resorcinol ureaformaldehído usado en los laminados de bambú.

Además del estudio anterior, se han desarrollado investigaciones de vigas compuestas por capas de esterillas de bambú con diferentes dosificaciones de adhesivo, humedades y densidades (Nugroho *et al* 2000).

En Colombia se han efectuado solo dos investigaciones Barreto (2003) y Duran (2003) en laminados de guadua, en las cuales se estudio la resistencia al corte en la línea de adhesivo y la resistencia a la compresión paralela a la fibra para diferentes tipos de adhesivo. (Laminado de bambú).

1.4.- Usos

Cada especie tiene un uso determinado, siendo la mayoría de ellas aplicadas en la elaboración de tejidos y productos de artesanía: muebles, cestería y facilitadas por la herramienta de corte, trenzado y doblado (Arcilla, 1993).

Al bambú se le conocen cerca de 1,300 usos en las diferentes variedades. Su importancia recae en la posibilidad de ser utilizado como un recurso alternativo que permita tener ingresos adicionales combinado con otros sistemas de producción en el campo. (Comisión Veracruzana de comercialización, 2007). El uso del bambú se determina, conforme a sus edades (cuadro 2):

- Menos de 30 días: como alimento.
- De 6 a 9 meses: para canastos.
- Con 2 ó 3 años: paredes de bambú o láminas.
- De 3 a 6 años: para construcción.

Cuadro 2.- Variedad de algunos usos actuales de bambúes (Gielis, 2002).

Usos del bambú como planta	Usos del bambú como material
Horticultura Ornamental Ecología Estabilización de suelos Uso de suelos marginales Setos y cercados Usos mínimos de terreno Bonos de carbono Disminución de erosión Agro-forestería Soportes Plantaciones Sistemas mixtos agrícola forestales	Industrias locales Artesanías Mobiliario Variedad de utensilios Instrumentos musicales Casas Puentes Industria de la madera y papel Tablero listonado Tableros de Densidad Media (MDF) Madera laminada Papel y rayón Parquet Industria textil Fibras Industria nutricional Brotes jóvenes para consumo humano Forrajes Industrias Química Productos bioquímicos Industria farmacéutica Industria cosmética Energía Carbón vegetal Pirolisis Gasificación

1.5.- Descripción de las especies en estudio:

Especie 1: *Bambusa vulgaris* var. *Vittata*.



Figura 10.- *Bambusa vulgaris* var. *Vittata*.

Nombre científico: *Bambusa vulgaris* var. *Vittata* (figura 10); **Nombres comunes:** Buloh gading, Aur gading, Buloh kuning (Malasia); Bambú kuning (Indonesia); Tamalang silau (Sabah); Kinshi chiku (Japón); Bambú amarillo, Golden common bamboo (América); Yellow bamboo (Filipinas), Bambú imperial (Brasil); Bambú amarillo (Colombia) (Londoño, 2005); **Origen y distribución geográfica:** Originario de China. Es el bambú más cultivado en el mundo como planta ornamental (América, India, Europa, Asia, África y Australia) (Londoño, 2005); **Descripción botánica:** se distingue esta especie y su variedad por sus entrenudos de color amarillo intenso con rayas verdes desiguales. Culmo de 15 m de altura aproximada con diámetros de 5-12 cm, entrenudos de 20-25 cm, de nudos pronunciados. Lámina foliar linear lanceolada de 20 x 1.5-4 cm; **Usos:** Es muy común como planta ornamental, solitaria o formando cercos. Los brotes son apetecidos por los vietnamitas pero son amargos. El agua después de hervir los brotes se usa como medicina; **Introducción:** se cree que fue introducida a América hace más de 200 años y se considera prácticamente naturalizada (Londoño, 2005).

Especie 2: *Guadua angustifolia kunth*.



Figura 11.- *Guadua angustifolia kunth*.

Nombre científico: *Guadua angustifolia kunth* (figura 11); **Nombre común:** Bambú de hoja angosta, Guadua (América); **Origen y distribución geográfica:** Se considera especie latinoamericana. Se extiende desde México hasta el Amazonas donde cubre más de 120 mil km². Se encuentra en diversos hábitats desde tierras bajas tropicales hasta regiones bajas de bosques montañosos; **Descripción botánica:** Rizomas paquimorfos, culmos en macollos bien definidos y alcanzando los 30 m de alto y 25 cm de diámetro en la base, erectos en los $\frac{3}{4}$ inferiores. Entrenudos cortos en la base en un promedio de 26 cm de largo. Hojas caulinares prontamente caedizas y con abundantes pelos oscuros, sin aurículas presentes en la unión con la lámina; láminas relativamente cortas, con la base más bien ancha, no más de 15 cm de largo y unida marginalmente a la vaina. Ramificación por arriba de los nudos inferiores, una rama dominante y varias secundarias, los nudos de las ramas con espinas. Hojas del follaje con algunas cerdas blancas en el ápice de la vaina y en la base del pecíolo, láminas lanceoladas glabras y lustrosas en ambas superficies, en promedio de 15 a 20 cm de largo y 2 a 5 cm de ancho, las nervaduras secundarias evidentes. Pseudoespiguillas presentes en grandes grupos y en ocasiones siendo parte de toda una rama (Herrera *et al*, 1999); **Usos:** gran variedad de usos estructurales en construcción de casas, puentes, artesanía, mobiliario, esteras, decoración; **Taxonomía:** Se conoce a nivel mundial que la *Guadua* pertenece a la familia Poaceae ó gramínea, a la subfamilia Bambusoideae, a la sub tribu Guaduinae y al género *Guadua* (Morales, 2010).

Especie 3: *Bambusa oldhamii* Munro.



Figura 12.- *Bambusa oldhamii* Munro

Nombre científico: *Bambusa oldhamii* Munro (figura 12); **Nombres comunes:** El nombre común en China es *lu zhu*, en México es conocido más bien como *oldhamii* y en Estados Unidos recibe el nombre de *Giant Timber Bamboo* (Cortés, 2010); **Origen:** Este bambú es originario de China, y es ampliamente cultivado en varios países, fue recolectado por primera vez como ejemplar de herbario en los alrededores de Tamsui, una ciudad ubicada al norte de Taiwán por el colector de plantas de apellido Oldham. El autor del nombre científico fue el militar y botánico inglés William Munro, y publicado en su Monografía sobre Bambúes en 1868 (Cortés, 2010); **Distribución geográfica:** Original del sur de China y Myanmar, introducido en las islas de Taiwán y Hainan, a Indonesia, Filipinas, India, Australia, Nueva Zelanda y América; **Descripción botánica:** Bambú simpodial, difuso, culmos ligeramente separados, erectos, cubiertos por cera blanca, glabros, 10 m de altura aproximada y 5-8 cm en diámetro. Llega a crecer hasta 17-20 m con diámetros mayores a 10 cm. De nudos prominentes y entrenudos hasta 30 cm de longitud. Se ramifica en la parte superior del culmo, la mayoría de las ramas fasciculadas y la rama principal prominente. Hoja caulinar triangular de 38 x 30 cm, coriáceas, cubierta por pelos cafés en la parte dorsal, glabra y brillante en la parte interna, presenta aurículas pequeñas y ciliadas. Inflorescencia en panícula; espiguillas arregladas en cluster. Floración reportada cada 48 años. De los bambúes tropicales que mayor tolera las bajas temperaturas (-9 °C); **Usos:** Se utiliza en la elaboración de artesanías y muebles, herramientas agrícolas, como pulpa para papel, para tejer esteras, en construcción y como barrera rompevientos. Los brotes son comestibles y de muy buena calidad. Cultivado ampliamente en China para producir brotes (Cortés, 2010).

Especie 4. *Phyllostachys bambusoides*.Figura 13.- *Phyllostachys bambusoides*.

Nombre científico: *Phyllostachys bambusoides* (figura 13); **Nombre común:** Madake; **Familia:** Poaceae o Gramineae; **Origen:** Asia, China y Japón; **Descripción botánica:** Es un bambú de hoja perenne que crece a 8 m (26 pies) por 8 m (26 pies). La planta tiene un sistema extenso de raíz y se utiliza para el control de la erosión. Los tallos se utilizan para la fabricación de muebles, planta soportes, etc. las cañas se considera que son los más versátiles de este género y se utilizan en la construcción y otros usos industriales. Las férulas hechas a partir de los tallos son buenas para tejer varios artículos de bambú e Incluso los tallos muertos son durables. Requiere un suelo arcilloso rico y abundante humedad en la estación de crecimiento además de un lugar protegido. Una planta muy resistente tolerar temperaturas de hasta unos -18°C , pero no le gusta la exposición prolongada a las heladas duras. Las plantas pueden alcanzar los 25 metros de altura en su hábitat natural, es mucho más pequeña en Gran Bretaña, pero, aun así, una altura de 12 metros ha sido registrada en Cornwall. Las plantas sólo flórese a intervalos de varios años, la semilla viable se produce generalmente, las flores son hermafroditas (tiene ambos órganos masculinos y femeninos) y son polinizadas por el viento. Cuando ellos entran en flor la mayor parte de las energías de las plantas se dirige a la producción de semilla y por lo tanto la planta se debilita severamente. Por lo general, mueren después de florecer, pero si se dejan solos a veces se recuperan a pesar de que se verá muy mal por unos cuantos años; Apropiado para: la luz (playa de arena), media (franco) y suelos pesados (arcillosos). **Adecuado pH:** ácido, neutro y básico (alcalino) suelos. Puede crecer en semi-sombra (luz de bosque). Prefiere suelos húmedos (Cooper. 2005).

2.- Objetivo.

Determinar las propiedades, mecánicas en tableta de las especies *Bambusa vulgaris* var. *Vittata*, *Guadua angustifolia* kunth, *Bambusa oldhamii* Munro, *Phyllostachys bambusoides* (Madake), provenientes del Municipio de Huatusco de Cuellar, Veracruz.

3.- Materiales y métodos.

3.1.- Materiales de estudio.

Las especies investigadas fueron procedentes de la plantación demostrativa de la Asociación Civil Bambuver localizada en Rancho Xocotla, en Huatusco de Cuellar, Veracruz. Su hábitat se encuentra regado por una red de ríos pequeños tributarios del Río Jamapa, que desemboca en el Golfo de México, formando la Barra de Boca del Río. Su clima es cálido-húmedo con una temperatura promedio de 19.6 °C registrando una mínima de 12.8°C y máxima de 26.3°C. Su precipitación pluvial media anual es de 1997.4 milímetros/año. Cuenta con un número de días con lluvia de 141.7 al año. Los ecosistemas que coexisten en el municipio son de subtropical perennifolio. Se encuentra en coordenadas geográficas; Latitud: 19°09'00" N. Longitud: 096°57'35" W. y altura 1,426.0 M.S.N.M. (Servicio Meteorológico Nacional, 2010).

Los bambúes se identificaron, marcaron y derribaron considerando diez individuos por especie para sus determinaciones, mecánicas observando los siguientes factores:

- 1) Culmo sección cepa-basa de altura 5 m como mínimo.
- 2) Edad de maduración a 3 años.

Se les aplicó un proceso de sazonado (secados al aire libre a la sombra) por 30 días para las determinaciones físicas y mecánicas.

Una vez realizado el procedimiento, los bambúes fueron trasladados al laboratorio de la Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo para su posterior preparación y análisis en cada fase de este estudio.

3.2.- Metodología general.

Preparación del material a experimentar.

Para determinar las propiedades mecánicas de tableta de bambú, se utilizó el material sobrante de los ensayos correspondientes al culmo completo. El material se preparo en base a la norma ISO 3129 (Métodos de muestreo y requisitos generales para pruebas físicas y mecánicas en madera). Utilizando el bambú libre de defectos, y sin daños aparentes causados por los ensayos realizados en el culmo, para lo cual se midió y se seleccionaron los entrenudos (figura 14), de mayor longitud.

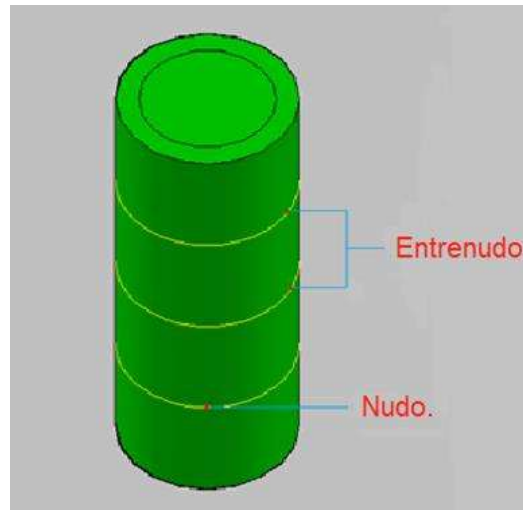


Figura 14.- Sección del culmo para la obtención de probetas de ensayo para cada especie.

Ya obtenidos los entrenudos seleccionados se marcaron los cortes, en dirección radial y tangencial para obtener un prisma rectangular (figura 15).

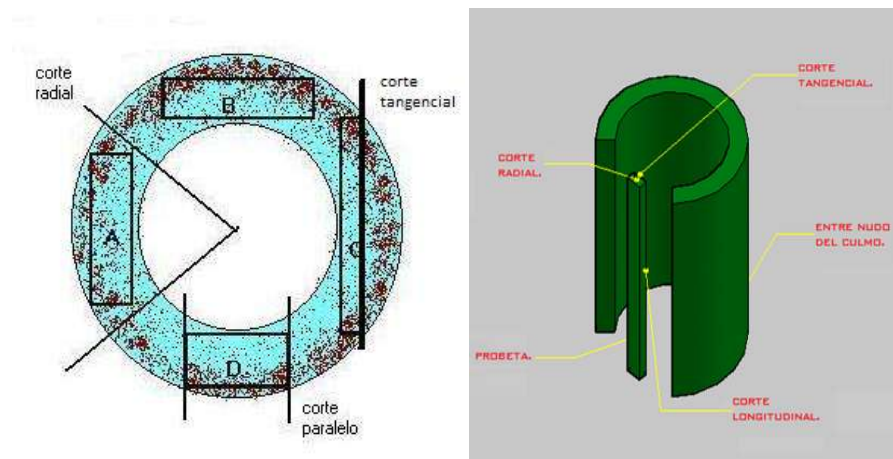


Figura 15.- Dimensiones posibles para la obtención de las probetas.

Cada pieza obtenida se marcó con una letra y enumeró, para la identificación y control adecuado del muestreo.

3.3.- Metodología específica.

3.3.1.- Compresión paralela.

Este ensayo se llevó a cabo en base a la norma ISO 3787 (Determinación de la tensión máxima en compresión paralela a la fibra en madera), determinando la tensión máxima de ruptura para pequeñas probetas en compresión paralela a la fibra hasta que se produce un fallo, a una carga creciente de compresión.

Preparación de las probetas

Para la obtención las probetas, se seleccionó el material ya preparado libre de defectos, habilitando 25 probetas para cada especie, en forma de prismas rectos con una sección transversal rectangular de 20 mm de lado por el espesor de la pared y una longitud a lo largo de la fibra de 60 mm (figura 19), marcándose con una letra y un número para la identificación de especie y control adecuado del muestreo, se almacenaron en condiciones libres de cambios bruscos de temperatura asegurando que el contenido de humedad se mantuviera dentro de las condiciones requeridas por la norma ISO 3130.

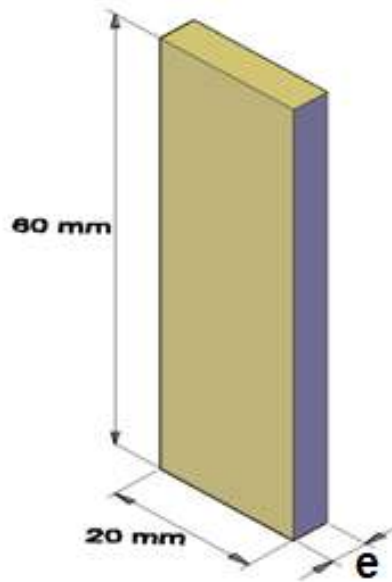


Figura 16.- Probeta para la determinación de compresión paralela a la fibra.

Ensayo.

Se midieron los espesores, anchos y longitud en un punto medio de cada pieza a ensayar, con un vernier digital con una precisión de 0.1 mm.

Las probetas de cada especie se sometieron a compresión paralela en una máquina universal con capacidad de 10,000 kg, aplicando carga uniforme, a una velocidad constante de 6 mm/min del cabezal de carga de la máquina, hasta el fallo de la pieza.

Para cada probeta se obtuvo una grafica carga-deformación, la cual fue empleada para determinar la carga al límite de proporcionalidad (P_{LP}), y las deformaciones involucradas en los cálculos correspondientes, ya que en la grafica la maquina indica la carga máxima en kg.

Se determinó, el contenido de humedad conforme a la norma (ISO 3130) en 5 piezas.

Expresión de resultados.

Para la determinación del esfuerzo de ruptura se empleo la siguiente fórmula:

$$\sigma_w = \frac{P_{max}}{ax b}$$

Donde:

P_{max} : Es la carga máxima, en N.

a y b: Son las dimensiones de la sección transversal de las piezas de prueba, en milímetros.

El módulo de elasticidad se determinó mediante la fórmula:

$$E_w = \frac{P_{LP} * L}{A * dLP}$$

Donde:

P_{LP} : Carga al límite proporcional.

L : Distancia en que se mide la deformación (Longitud de la probeta).

A : Área de la sección transversal de la probeta.

dLP : Deformación hasta el límite de proporcionalidad.

4.3.2.- Flexión estática.

La determinación de la resistencia a la ruptura en flexión estática (**MOR**) y módulo de elasticidad (**MOE**), se llevó a cabo con la misma probeta y por lo tanto el mismo procedimiento.

Preparación de las probetas.

Para obtener las probetas, se seleccionó el material libre de defectos, habilitando 25 probetas para cada especie, en forma de prismas rectos con una sección transversal de 20 mm por el espesor dado y una longitud a lo largo la fibra de 300 mm (figura 20). Se almacenaron en condiciones libres de cambios bruscos de temperatura asegurando que el contenido de humedad se mantuviera dentro de las condiciones requeridas por la norma ISO 3130 para madera.

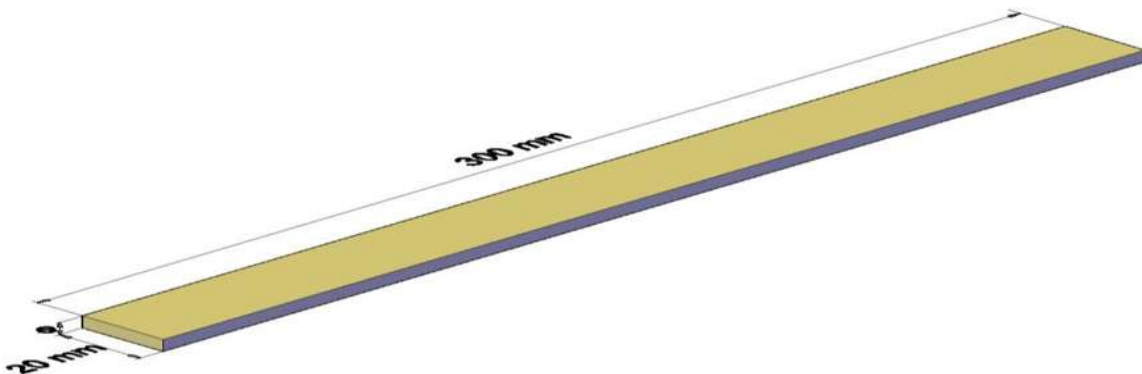


Figura 17.- Probeta para la determinación de flexión estática.

Ensayo.

Para realizar este ensayo, se utilizó un accesorio que permitiera aplicar el esfuerzo de flexión a 4 puntos, como se muestra en la figura 21



Figura 18.- Dispositivo de carga adaptado para las pruebas de flexión estática.

Cada pieza de ensayo se midió, con un vernier digital con una precisión de 0.01 mm, obteniendo el espesor y ancho, tomando tres valores dos de los extremos y una del centro de la pieza con la finalidad de obtener mediciones respectivas.

Posteriormente las piezas de cada especie se ensayaron en una máquina universal de 10,000 kg de capacidad, tomando en cuenta la relación de la distancia entre los centros de los dispositivos de soporte, colocando la pieza de ensayo perfectamente centrada entre los soportes, aplicado carga a una velocidad constante de 6 mm/min, hasta el fallo de la pieza. Obteniendo de para cada probeta se obtuvo una grafica carga-deformación, la cual fue empleada para determinar la carga al límite de proporcionalidad (P_{LP}), y las deformaciones involucradas en los cálculos correspondientes, ya que en la grafica la maquina indica la carga máxima en kg.

Después de que el ensayo se llevó a cabo, se determinó el contenido de humedad conforme a la norma (ISO 3130) en 5 piezas de ensayo cortando una sección de 60 mm de longitud lo más cerca posible a la falla.

Esfuerzo de ruptura en flexión estática.

Este ensayo se llevó a cabo en base a la norma ISO 3133 (Determinación de la resistencia a la ruptura en flexión estática para madera), determinando la carga máxima requerida para causar la ruptura de la probeta, aplicando la carga de tal manera que el ensayo dure $1,5 \pm 0,5$ min desde el inicio de la aplicación de la carga.

Expresión de resultados.

Para la determinación del esfuerzo de ruptura (σ_{bw}), se empleó la siguiente formula.

$$\sigma_{bw} = \frac{3P_{max}l}{2bh^2}$$

Donde:

P_{max} : Es la carga de ruptura, en N.

l : Es la distancia entre el centro de los soportes, en milímetros.

b : Es el espesor de las piezas de prueba, en milímetros.

H : Es la altura de las piezas de prueba, en milímetros.

Módulo de elasticidad (E_w).

Este ensayo se llevo a cabo en base a la norma ISO 3349 (Determinación del módulo de elasticidad en flexión estática), que determina el módulo de elasticidad por medición de la deformación en el área de flexión neta durante la aplicación de una carga creciente dentro de la región de proporcionalidad de la carga y la deflexión.

Expresión de resultados.

La determinación del módulo de elasticidad (E_w) se llevó a cabo mediante la siguiente fórmula:

$$E_w = \frac{Pl^3}{36bh^3f}$$

Donde:

P : Es la carga, en N.

l : Es la distancia entre los soportes en centímetros.

b y h : Son las dimensiones de la sección transversal de la pieza de prueba en la dirección radial y tangencial, respectivamente, en milímetros.

f : Es la deformación sufrida por la probeta dentro del límite de proporcionalidad

3.3.3.- Resistencia de la unión adhesiva.

Este ensayo se realizó basándonos en la norma ASTM D 897-01 (método estándar para propiedades de tracción del adhesivo).

Preparación de las probetas.

Para el ensayo de tracción a la unión adhesiva se habilitaron 80 piezas por especie, en forma de prismas rectos con una sección transversal de 20 mm de lado por el espesor dado y una longitud a lo largo del grano de 150 mm. Posteriormente se separaron por especie, se midieron las longitudes de las piezas marcando el centro y partiendo de ahí se marcó el área de contacto (4 cm²); ya marcada esta superficie en todas las piezas se colocó la cantidad de 0.1 ml de adhesivo amarillo de PVA en el área marcada a 40 piezas de cada especie, y 0.2 ml de adhesivo de PVA blanco en el área marcada a las otras 40 piezas sobrantes de cada especie,

uniendo pares, en forma de cruz (figura 19), obteniendo en total 20 piezas por cada especie. Cada probeta se prensó durante 30 minutos.

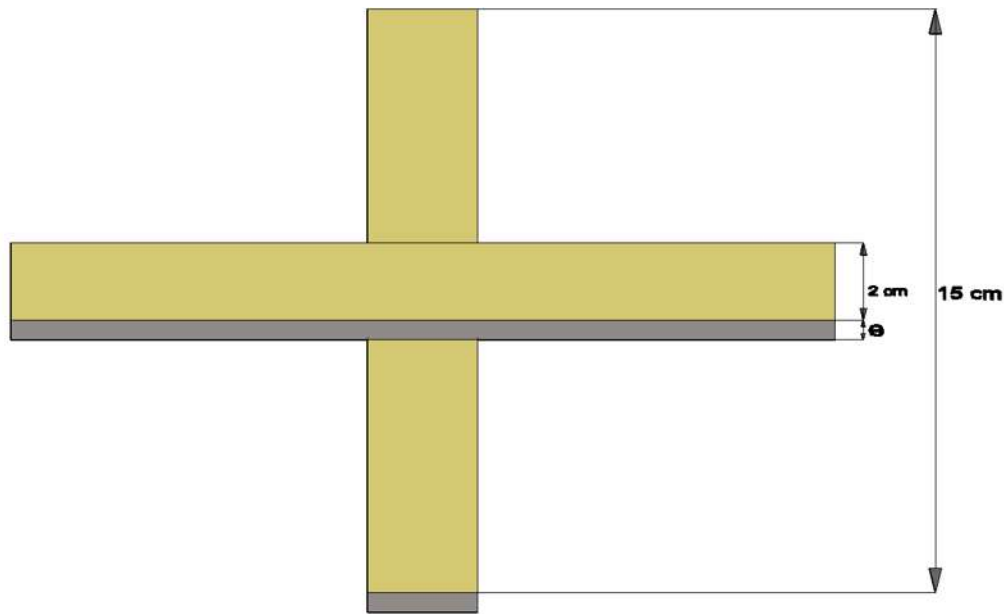


Figura 19.- Probeta de resistencia de la unión adhesiva.

Procedimiento.

Cada probeta se ensayó en una máquina universal utilizando una velocidad de carga de 3mm/seg.

Cálculos.

Se registró la resistencia de la unión adhesiva a la tensión (carga máxima) expresada en kg para cada uno de los ensayos. Calculando la mediana, el valor mínimo y máximo, media aritmética, desviación estándar, error medio, coeficiente de variación y porcentaje de precisión, para cada serie de pruebas. Además se realizó una inspección visual del tipo de fallo (del adhesivo, intermedio, cohesivo y del sustrato (ver figura 20).

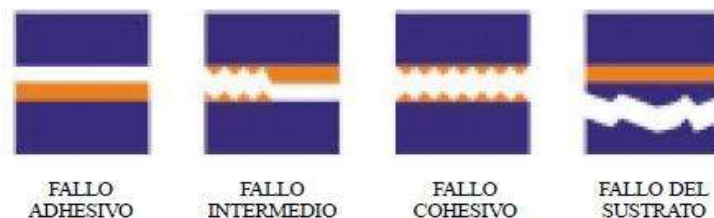


Figura 20.- Tipos de fallos de una unión adhesiva (Oñoro, 2006).

4.- Resultados.

4.1.- Espesor de las probetas.

A continuación (ver cuadro 3 y figura 21) se presentan los resultados de las mediciones realizadas al espesor de cada una de las probetas empleadas en cada uno de los ensayos, presentando también la estadística básica por especie.

Cuadro 3.- Resultados del espesor de la probeta por especie expresado en (mm).

ESTADÍSTICA	ESPECIE				NO. PROJETAS POR ESPECIE
	<i>Bambusa vulgaris</i> var. <i>Vittata</i> .	<i>Guadua angustifolia</i> kunth.	<i>Bambusa oldhamii</i> Munro	<i>Phyllostachys bambusoides</i> (Madake)	
ξ:	7.07	6.84	5.70	5.29	40
S:	0.89	0.52	0.51	0.45	
Sξ:	0.14	0.08	0.08	0.07	
Cv:	12.58	7.56	8.90	8.51	
P:	3.98	2.39	2.82	2.69	
Donde:					
ξ = Media aritmética; S = Desviación estándar; Sξ = Desviación estándar de la media aritmética; Cv = Coeficiente de variación; P = Porcentaje de precisión.					

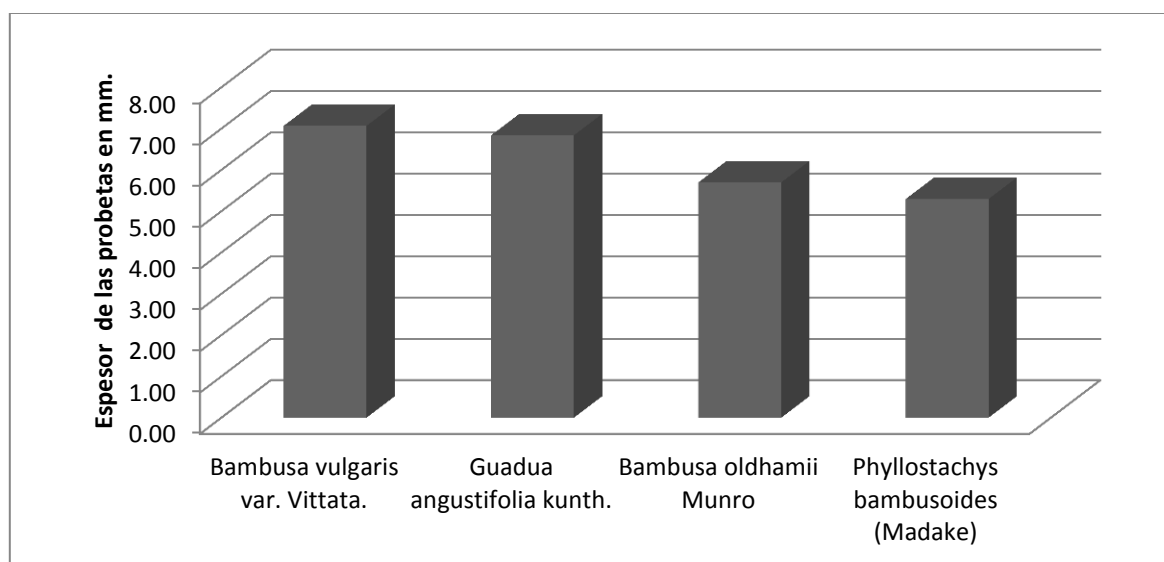


Figura 21.- Espesor de la probetas por especies en (mm).

4.2.- Compresión paralela.

A continuación se presenta la estadística básica de los resultados obtenidos en la determinación del esfuerzo a compresión paralela (cuadro 4 y figura 22).

El contenido de humedad promedio, para las probetas ensayadas fue de 8.79 % en *Bambusa vulgaris* var. *Vittata*, 8.76 % en *Guadua angustifolia* kunth, 7.80 % en *Bambusa oldhamii* Munro y 8.74 % en *Phyllostachys bambusoides* (Madake).

Cuadro 4.- Resultados de compresión paralela.

PROPIEDAD	ESTADÍSTICA	ESPECIE				NO. PROBETAS POR ESPECIE.
		<i>Bambusa vulgaris</i> var. <i>Vittata</i> .	<i>Guadua angustifolia</i> kunth.	<i>Bambusa oldhamii</i> Munro	<i>Phyllostachys bambusoides</i> (Madake)	
Esfuerzo al límite de proporcionalidad (P_{LP}) expresado en (kg/cm²).	ξ :	8242.45	7187.87	6981.18	5273.02	20
	S:	1944.49	1377.31	1360.55	904.30	
	S_{ξ} :	435.01	308.12	304.37	202.30	
	Cv:	23.59	19.16	19.49	17.15	
	P :	10.56	8.57	8.72	7.67	
Esfuerzo de ruptura (σ_w) expresado en (MPa)	ξ :	65.33	59.62	72.55	56.66	
	S:	9.29	9.72	11.30	8.20	
	S_{ξ} :	2.08	2.17	2.53	1.83	
	Cv:	14.22	16.30	15.57	14.47	
	P :	6.36	7.29	6.97	6.48	
Módulo de elasticidad (E_w) expresado en (MPa)	ξ :	4922.39	4861.34	5498.09	3856.28	
	S:	1754.76	3173.02	1601.21	1516.62	
	S_{ξ} :	392.56	709.85	358.21	339.29	
	Cv:	35.65	65.27	29.12	39.33	
	P :	15.95	29.20	13.03	17.60	
Donde:						
ξ = Media aritmética; S = Desviación estándar; S_{ξ} = Desviación estándar de la media aritmética; Cv = Coeficiente de variación; P = Porcentaje de precisión.						

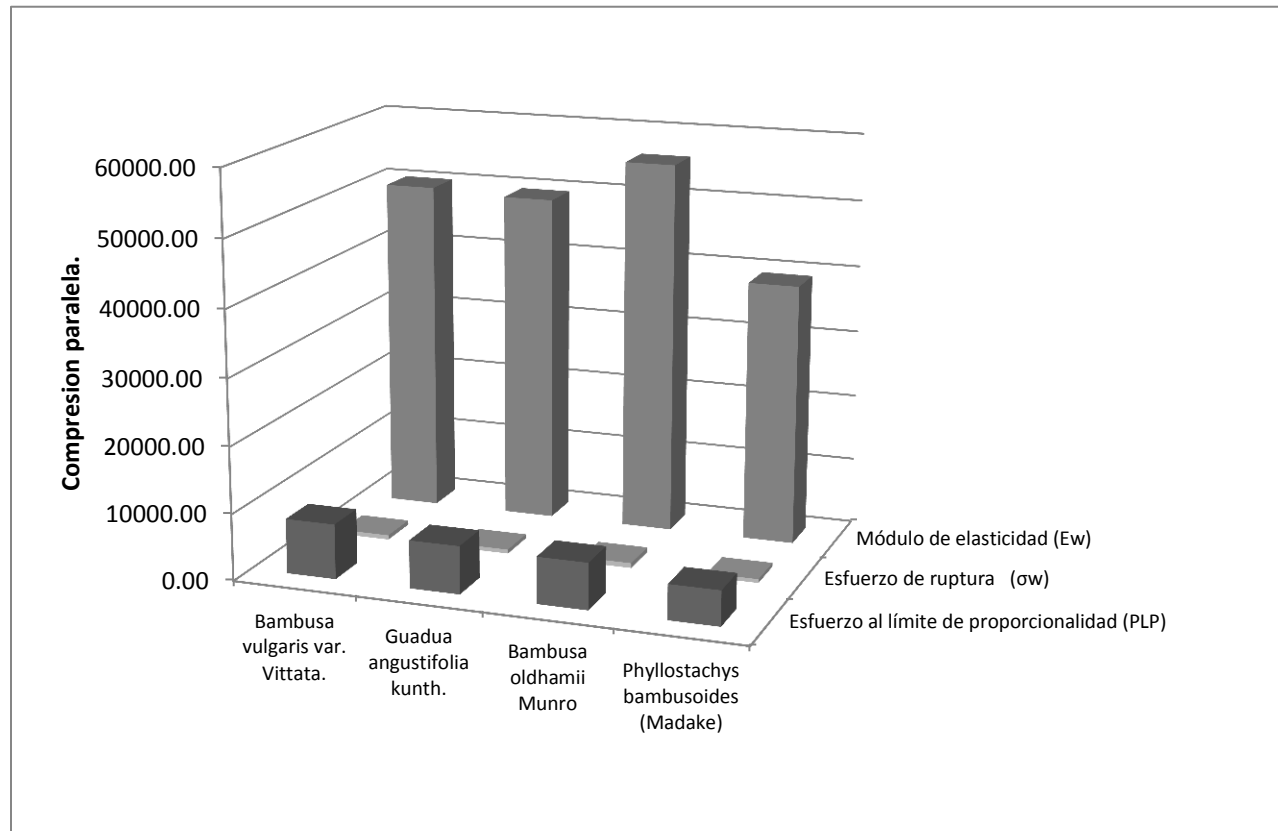


Figura 22.- Propiedades relacionadas con el ensayo de compresión paralela.

4.3.- Flexión estática.

A continuación se presenta la estadística básica para los resultados obtenidos durante los ensayos para determinar el esfuerzo en flexión estática (ver cuadro 5 y figura 23).

El contenido de humedad promedio, para las probetas ensayadas fue de 9.20 % en *Bambusa vulgaris* var. *Vittata*, 8.51 % en *Guadua angustifolia* kunth, 8.38 % en *Bambusa oldhamii* Munro y 8.58 % en *Phyllostachys bambusoides* (Madake).

Cuadro 5.- Resultados de flexión estática.

PROPIEDAD	ESTADÍSTICA	ESPECIE				NO. PROBETAS POR ESPECIE.
		<i>Bambusa vulgaris</i> var. <i>Vittata.</i>	<i>Guadua angustifolia</i> kunth.	<i>Bambusa oldhamii</i> Munro	<i>Phyllostachys bambusoides</i> (Madake)	
Esfuerzo al límite de proporcionalidad (P _{LP}) (kg/cm²)	ξ:	706.53	673.83	520.67	311.85	20
	S:	156.82	99.19	106.00	84.26	
	S _ξ :	35.08	22.19	23.71	18.85	
	Cv:	22.20	14.72	20.36	27.02	
	P:	9.93	6.59	9.11	12.09	
Esfuerzo de ruptura (σ _{bw}) (MPa)	ξ:	328.22	326.98	353.61	268.67	
	S:	55.94	40.07	54.22	38.46	
	S _ξ :	12.51	8.96	12.13	8.61	
	Cv:	17.04	12.25	15.33	14.32	
	P:	7.62	5.48	6.86	6.41	
Módulo de elasticidad (E _w) (Gpa)	ξ:	2.98	3.19	3.37	2.43	
	S:	0.48	0.58	0.86	0.63	
	S _ξ :	0.11	0.13	0.19	0.14	
	Cv:	16.23	18.14	25.45	25.73	
	P:	7.26	8.12	11.39	11.51	
Donde:						
ξ = Media aritmética; S = Desviación estándar; S _ξ = Desviación estándar de la media aritmética; Cv = Coeficiente de variación; P = Porcentaje de precisión.						

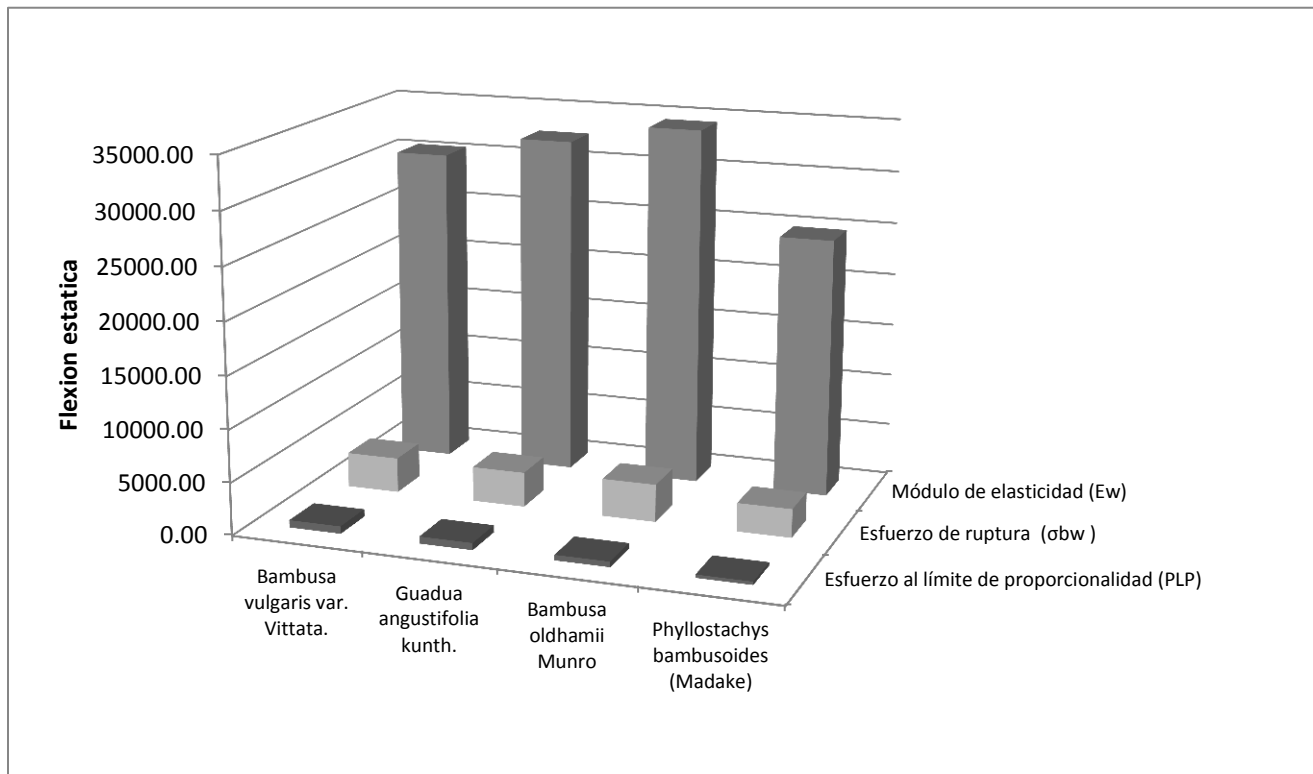


Figura 23.- Propiedades relacionadas con el ensayo de flexión estática.

4.4.- Resistencia de la unión adhesiva.

4.4.1.- En cuanto a carga aplicada:

A continuación se presenta la estadística básica de los resultados en cuanto a la carga aplicada de la resistencia a la unión adhesiva con PVA amarillo (ver cuadro 6 y figura 24) y PVA blanco (ver cuadro 7 y figura 25).

El contenido de humedad promedio, para las probetas ensayadas fue de 8.77 % en *Bambusa vulgaris* var. *Vittata*, 8.60 % en *Guadua angustifolia* kunth, 8.64 % en *Bambusa oldhamii* Munro y 8.49 % en *Phyllostachys bambusoides* (Madake).

Cuadro 6.- Resultados de resistencia de la unión adhesiva con PVA amarillo en cuanto a la carga aplicada.

PROPIEDAD	ESTADÍSTICA	ESPECIE				NO. PROBETAS POR ESPECIE.
		<i>Bambusa vulgaris</i> var. <i>Vittata.</i>	<i>Guadua angustifolia</i> kunth.	<i>Bambusa oldhamii</i> Munro	<i>Phyllostachys bambusoides</i> (Madake)	
Carga aplicada en (N)	ξ:	58.88	65.48	50.48	48.78	20
	S:	19.21	17.24	11.63	11.93	
	Sξ:	4.30	3.86	2.60	2.67	
	Cv:	32.62	26.32	23.04	24.46	
	P:	14.60	11.78	10.31	10.95	
Donde:						
ξ = Media aritmética; S = Desviación estándar; Sξ = Desviación estándar de la media aritmética; Cv = Coeficiente de variación; P = Porcentaje de precisión.						

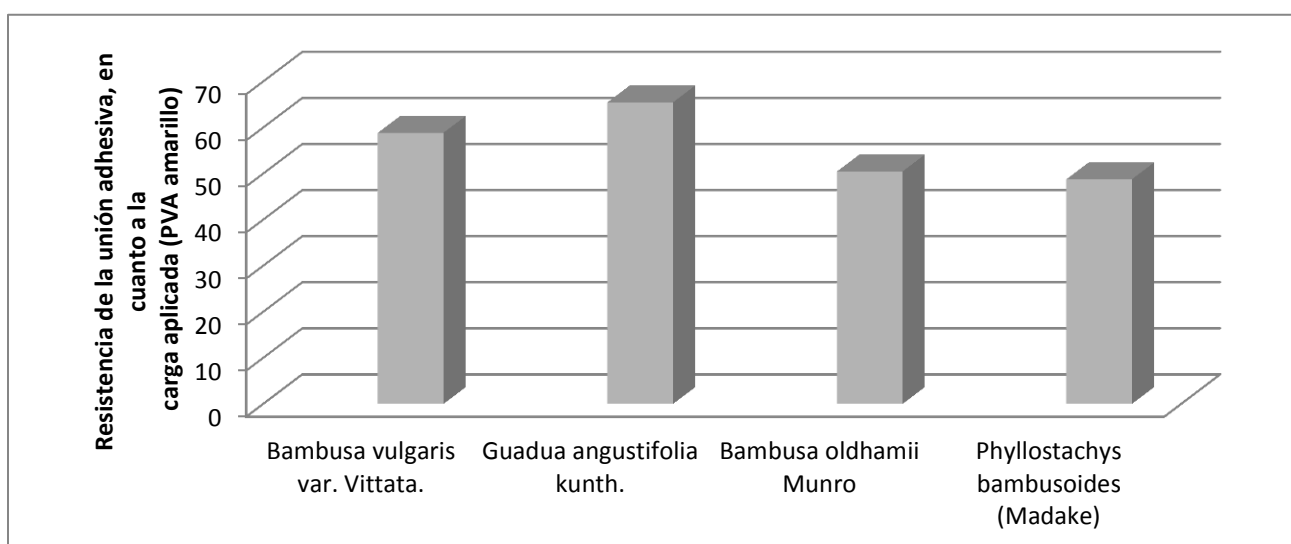


Figura 24.- Propiedades relacionadas con el ensayo de la unión adhesiva con PVA amarillo.

Cuadro 7.- Resultados de resistencia de la unión adhesiva con PVA blanco en cuanto a la carga aplicada.

PROPIEDAD	ESTADÍSTICA	ESPECIE				No. Probetas por especie.
		<i>Bambusa vulgaris</i> var. <i>Vittata.</i>	<i>Guadua angustifolia</i> <i>kunth.</i>	<i>Bambusa oldhamii</i> <i>Munro</i>	<i>Phyllostachys bambusoides</i> (<i>Madake</i>)	
Carga aplicada en N	ξ:	67.98	85.35	55.90	52.00	20
	S:	14.15	13.10	11.82	7.47	
	S _ξ :	3.17	2.93	2.64	1.67	
	Cv:	20.81	15.35	21.14	14.36	
	P:	9.31	6.87	9.46	6.43	
Donde:						
ξ = Media aritmética; S = Desviación estándar; S _ξ = Desviación estándar de la media aritmética; Cv = Coeficiente de variación; P = Porcentaje de precisión.						

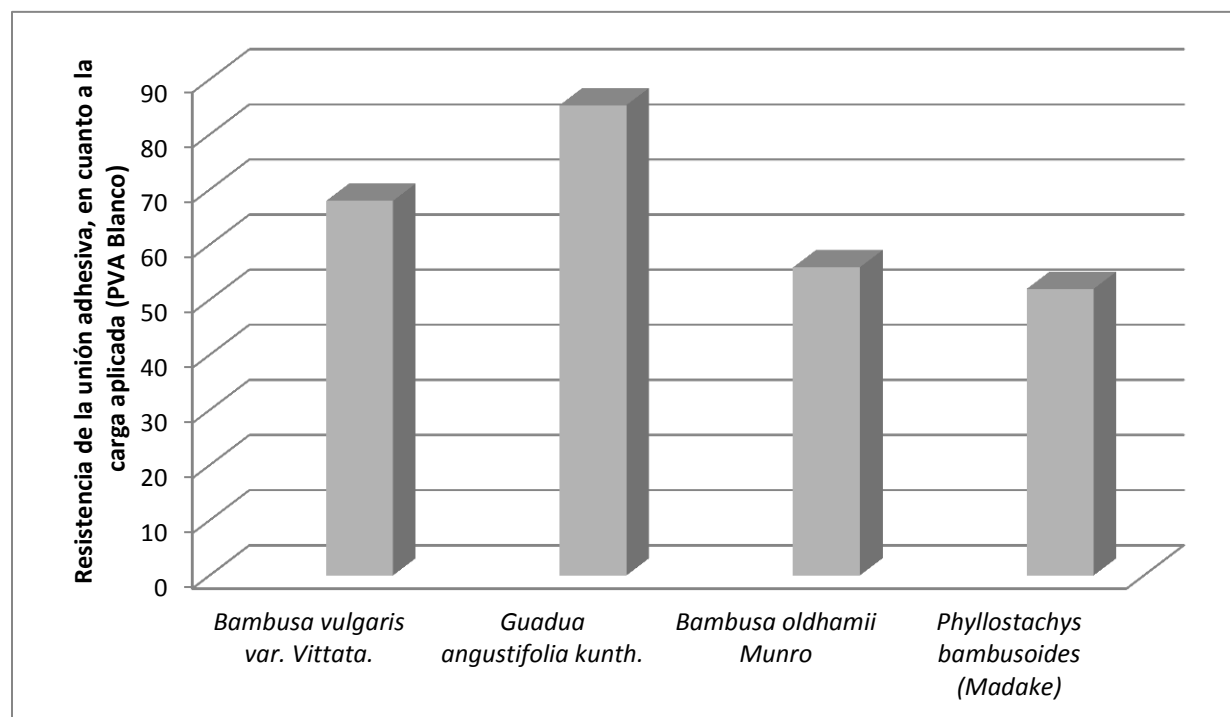


Figura 25.- Propiedades relacionadas con el ensayo de la unión adhesiva con PVA blanco.

4.4.2.-En cuanto a inspección visual.

A continuación se presenta los el tipo de falla que se presentó durante los ensayos de resistencia de la unión adhesiva con PVA amarillo (ver cuadro 8) y PVA blanco (ver cuadro 9), por especie.

Cuadro 8.- Resultados de resistencia de la unión adhesiva en cuanto a la inspección visual del los ensayos realizados con (PVA) amarillo.

RESISTENCIA DE LA UNIÓN ADHESIVA. (PVA AMARILLO)		ESPECIE				NO. PROJETAS POR ESPECIE.
		<i>Bambusa vulgaris</i> var. <i>Vittata.</i>	<i>Guadua angustifolia</i> kunth.	<i>Bambusa oldhamii</i> Munro	<i>Phyllostachys bambusoides</i> (Madake)	
 FALLO ADHESIVO	No. de probetas afectadas	1	0	0	0	20
	%	5				
 FALLO INTERMEDIO	No. de probetas afectadas	7	5	6	4	
	%	35	25	30	20	
 FALLO COHESIVO	No. de probetas afectadas	4	6	5	8	
	%	20	30	25	40	
 FALLO DEL SUSTRATO	No. de probetas afectadas	8	9	9	8	
	%	40	45	45	40	

Cuadro 9.- Resultados de resistencia de la unión adhesiva en cuanto a la inspección visual del los ensayos realizados con (PVA) blanco.

RESISTENCIA DE LA UNIÓN ADHESIVA. (PVA BLANCO)		ESPECIE				NO. PROBETAS POR ESPECIE.
		<i>Bambusa vulgaris</i> var. <i>Vittata.</i>	<i>Guadua angustifolia</i> <i>kunth.</i>	<i>Bambusa oldhamii</i> <i>Munro</i>	<i>Phyllostachys bambusoides</i> (<i>Madake</i>)	
 FALLO ADHESIVO	No. De probetas afectadas	0	2	1	0	20
	%		10	5		
 FALLO INTERMEDIO	No. De probetas afectadas	4	6	5	3	
	%	20	30	25	15	
 FALLO COHESIVO	No. De probetas afectadas	3	1	5	1	
	%	15	5	25	5	
 FALLO DEL SUSTRATO	No. De probetas afectadas	13	11	9	16	
	%	65	55	45	80	

5.- Análisis y discusión de resultados.

5.1.- En cuanto al espesor de las probetas.

Los espesores promedios de las probetas presentan ligera variabilidad entre especies: arrojando para *Bambusa vulgaris* var. *Vittata*, 7.07 mm; *Guadua angustifolia kunth* 6.84 mm; *Bambusa oldhamii* Munro 5.70 mm; y para *Phyllostachys bambusoides* (Madake) 5.29 mm. De acuerdo a los valores mencionados *Bambusa vulgaris* var. *Vittata* cuenta con los espesores de mayor tamaño, seguida de *Guadua angustifolia kunth*, *Bambusa oldhamii* Munro y *Phyllostachys bambusoides* (Madake), ocupando esta el último lugar debido a que los espesores más pequeños se presentaron en esta especie. Lo cual presenta clara influencia en los resultados obtenidos en las pruebas realizadas.

5.2.- Compresión paralela.

Esfuerzo al límite de proporcionalidad (P_{LP}).

El comportamiento a la compresión paralela a la fibra promedio en la resistencia al límite de proporcionalidad de las especies de estudio presentó para *Bambusa vulgaris* var. *Vittata*. 8242.45 (kg/cm²) presentando esta el valor más alto, seguido de *Guadua angustifolia kunth* con 7187.87 (kg/cm²), *Bambusa oldhamii* Munro 6981.18 (kg/cm²), y para *Phyllostachys bambusoides* (Madake) 5273.02 (kg/cm²) presentando esta los valores más bajos. Por lo cual las cuatro especies se clasifican como altas (ver anexo A II), de acuerdo, con los criterios de calificación para maderas de Sotomayor (2008), encontrándose dentro de los parámetros de las maderas más duras presentes en la tabla FITECMA de Sotomayor (2008).

Esfuerzo de ruptura (σ_{bw}).

El comportamiento a la compresión paralela a la fibra en el módulo de ruptura (MOR) promedio de las especies de estudio presentó para *Bambusa oldhamii* Munro 72.55 Mpa (739.24 kg/cm²), presentando esta los valores más altos, seguido de *Bambusa vulgaris* var. *Vittata*. 65.33 MPa (665.68 kg/cm²), *Guadua angustifolia kunth* con 59.62 Mpa (607.57 kg/cm²), y para *Phyllostachys bambusoides* (Madake) 56.66 MPa (577.41 kg/cm²), presentando esta los valores más bajos. Por lo que las cuatro especies se clasifican de alta a muy altas (ver anexo A III), de acuerdo, con los criterios de calificación para maderas de Sotomayor (2008), encontrándose en los rangos de las maderas más duras presentes en la tabla FITECMA.

Módulo de elasticidad (MOE (E_w)).

El comportamiento a la compresión paralela a la fibra promedio de las especies de estudio presentó para *Bambusa oldhamii* Munro 5498.09 MPa (56025.58 kg/cm²), seguida de *Bambusa vulgaris* var. *Vittata* 4922.39 MPa (50159.11 kg/cm²), *Guadua angustifolia kunth* con 4861.34 MPa (49537.05 kg/cm²), y para *Phyllostachys bambusoides* (Madake) 3856.28 MPa (39295.51 kg/cm²), calificando las cuatro especies de baja a muy baja (ver anexo A I) de

acuerdo, con los criterios de calificación para maderas de Sotomayor (2008), entrando dentro de los rangos de las maderas blandas presentes en la tabla FITECMA.

A continuación se presenta (cuadro 10) la comparación del comportamiento en compresión paralela de las especies en estudio con algunas maderas.

Cuadro 10.- Compresión paralela de *Bambusa vulgaris* var. *Vittata*, *Guadua angustifolia* kunth, y *Bambusa oldhamii* Munro, *Phyllostachys bambusoides* (Madake), y su comparación con algunas maderas.

Nombre científico y/o común.	Investigador o institución.	Compresión paralela		
		Esfuerzo al límite de proporcionalidad (P_{LP}) (kg/cm ²)	Esfuerzo de ruptura (σ_{bw}) (kg/cm ²)	Módulo de elasticidad (E_w) (kg/cm ²)
<i>Bambusa vulgaris</i> var. <i>Vittata</i> .	Especies de estudio. (2014)	8242.45	665.68	50159.11
<i>Guadua angustifolia</i> kunth.	Especies de estudio. (2014)	7187.87	607.57	49537.05
<i>Bambusa oldhamii</i> Munro	Especies de estudio. (2014)	6981.18	739.24	56025.58
<i>Phyllostachys bambusoides</i> (Madake)	Especies de estudio. (2014)	5273.02	577.41	39295.51
<i>Schizolobium parahybum</i> (palo de picho)	Sotomayor (2008)	100.00	155.00	53000.00
<i>Ulmus mexicana</i> (Cuero de vieja)	Sotomayor (2008)	70	90	37200.00
<i>Ochroma pyramidale</i> . (Madera de balsa)	Sotomayor (2008)	380	535.00	121300
<i>Quercus coccolobaefolia</i> (Encino rojo)	Sotomayor (2008)	370.00	515.00	116800
<i>Manilkara zapota</i> (Chicozapote)	Sotomayor (2008)	400.00	660.00	185500.00
<i>Ceiba pentandra</i> (Ceiba)	Sotomayor (2008)	55.00	75.00	32000.00

Cuadro 10.- Compresión paralela de *Bambusa vulgaris* var. *Vittata*, *Guadua angustifolia kunth*, y *Bambusa oldhamii* Munro, *Phyllostachys bambusoides* (Madake), y su comparación con algunas maderas, (Continuación).

Nombre científico y/o común.	Investigador o institución.	Compresión paralela		
		Esfuerzo al límite de proporcionalidad (P_{LP}) (kg/cm ²)	Esfuerzo de ruptura (σ_{bw}) (kg/cm ²)	Módulo de elasticidad (E_w) (kg/cm ²)
<i>Ash white</i>	FPS (2010)		521.10	
<i>Aspen Beech American</i>	FPS (2010)		512.91	
<i>Hivkory, pecan Bitternut</i>	FPS (2010)		635.28	
<i>Hickory, pecan Water</i>	FPS (2010)		604.69	
<i>Hickory true Mockernut</i>	FPS (2010)		628.14	
<i>Hickory true Pignut</i>	FPS (2010)		646.50	
<i>Hickory true Shagbark</i>	FPS (2010)		647.51	
<i>Locust Black</i>	FPS (2010)		715.84	

Analizando los datos obtenidos de las especies de estudio en comparación con los estudios de los autores presentados (cuadro 10) podemos decir que el bambú tiene cualidades similares a algunas maderas ya está dentro del rango de estos valores de compre. En base a estos datos el bambú podría ser utilizado como un posible sustituto en cuanto a algunos usos (elementos estructurales para techos, muros, pisos, según Echenique y Plumptre 1996). Sin embargo debemos tener en cuenta que el tamaño de tableta que puede ser obtenido de estas especies es muy pequeño y podría considerarse entonces, la elaboración de un tablero enlistonado a partir de esta materia prima.

5.3.- Flexión estática.

Esfuerzo al límite de proporcional (LP).

El promedio de las especies de estudio en flexión estática al límite proporcional presentan para, *Bambusa vulgaris* var. *Vittata*. 706.53 kg/cm², seguida de *Guadua angustifolia kunth* con 673.83 kg/cm², *Bambusa oldhamii* Munro con 520.67 kg/cm² y para *Phyllostachys*

bambusoides (Madake) 311.85 kg/cm², clasificando las cuatro especies de altas a bajas (ver anexo A V) de acuerdo con los criterios de calificación para maderas de Sotomayor (2008).

Esfuerzo de ruptura (σ_{bw})

El promedio de las especies de estudio para el módulo de ruptura en flexión estática presentan para *Bambusa oldhamii* Munro 353.61 Mpa (3603.28 kg/cm²), seguida de de *Bambusa vulgaris* var. *Vittata* 328.22 Mpa (3344.61 kg/cm²), *Guadua angustifolia kunth* 326.98 Mpa (3331.89 kg/cm²), y para *Phyllostachys bambusoides* (Madake) 268.67 Mpa (2737.79 kg/cm²), presentando esta los valores más bajos. Debido a estos valores las cuatro especies se clasifican como muy bajas (ver anexo A VI), de acuerdo, con los criterios de calificación para maderas presentes en la tabla FITECMA de Sotomayor (2008), de hecho no se encuentran dentro de los rangos de las maderas presentes en la tabla FITECMA.

Módulo de elasticidad (MOE (E_w)).

El promedio de las especies de estudio para el módulo de elasticidad en flexión estática presentan para *Bambusa oldhamii* Munro. 3.37 Gpa (34393.91 kg/cm²), seguida de *Guadua angustifolia kunth* 3.19 Gpa (32517.54 kg/cm²), *Bambusa vulgaris* var. *Vittata* 2.98 Gpa (30420.04 kg/cm²), y para *Phyllostachys bambusoides* (Madake) 2.43 Gpa (24819.83 kg/cm²), presentando esta los valores más bajos. Por lo cual las cuatro especies se clasifican como muy bajas (ver anexo A IV), de acuerdo, con los criterios de calificación para maderas de Sotomayor (2008).

A continuación se presenta (cuadro 11) la comparación del comportamiento en flexión estática de las especies en estudio con algunas maderas.

Cuadro 11.- Flexión estática de *Bambusa vulgaris* var. *Vittata*, *Guadua angustifolia kunth*, y *Bambusa oldhamii* Munro, *Phyllostachys bambusoides* (Madake), y su comparación con algunas maderas.

Nombre científico y/o común.	Investigador o institución.	Flexión estática		
		Esfuerzo al límite de proporcionalidad (P_{LP}) (kg/cm ²)	Esfuerzo de ruptura (σ_{bw}) (kg/cm ²)	Módulo de elasticidad (kg/cm ²)
<i>Bambusa vulgaris</i> var. <i>Vittata</i> .	Especies de estudio. (2014)	706.53	3344.61	30420.04
<i>Guadua angustifolia kunth</i> .	Especies de estudio. (2014)	673.83	3331.89	32517.54
<i>Bambusa oldhamii</i> Munro	Especies de estudio. (2014)	520.67	3603.28	34393.91

Cuadro 11.- Flexión estática de *Bambusa vulgaris* var. *Vittata*, *Guadua angustifolia* kunth, y *Bambusa oldhamii* Munro, *Phyllostachys bambusoides* (Madake), y su comparación con algunas maderas, (continuación).

Nombre científico y/o común.	Investigador o institución.	Flexión estática		
		Esfuerzo al límite de proporcionalidad (P_{LP}) (kg/cm ²)	Esfuerzo de ruptura (σ_{bw}) (kg/cm ²)	Módulo de elasticidad (kg/cm ²)
<i>Phyllostachys bambusoides</i> (Madake)	Especies de estudio. (2014)	311.85	2737.79	24819.82
<i>Swartzia cubensis</i> (Katalox)	Sotomayor (2008)	700.00	1350.00	183600.00
<i>Dialium guianense</i> (Guapaque)	Sotomayor (2008)	670.00	1270.00	187700.00
<i>Guaiacum officinale</i> (Guayacán)	Sotomayor (2008)	1000.00	1960.00	236000.00
<i>Cordia elaeagnoides</i> (Cueramo)	Sotomayor (2008)	885.00	1700.00	210500.00
<i>Ceiba pentandra</i> (Ceiba)	Sotomayor (2008)	100.00	155	29000.00
<i>Oak White Live</i>	FPS (2010)		1295	139603.00
<i>Oak White Swamp White</i>	FPS (2010)		1244	143679.00
<i>Oak White White</i>	FPS (2010)		1070.70	125337.00
<i>Wualnut, black</i>	FPS (2010)		1030.00	18204.00
<i>Pine Slash</i>	FPS (2010)		1142	139603.00

Analizando los datos (cuadro11) para flexión estática podemos afirmar que el bambú tiene cualidades mecánicas similares a algunas maderas y en algunas variables como el límite elástico y modulo de elasticidad, es muy similar a las maderas según los datos obtenidos. En base a estos datos el bambú podría ser utilizado como un posible sustituto en cuanto a algunos usos (elementos estructurales para techos, muros, pisos, según Echenique y Plumptre 1996). Sin embargo debemos tener en cuenta que el tamaño de tableta que puede ser obtenido de estas especies es muy pequeño y podría considerarse entonces, la elaboración de un tablero enlistonado a partir de esta materia prima.

5.4.- Resistencia de la unión adhesiva.

Resistencia de la unión adhesiva con adhesivo (PVA) amarillo.

El promedio de resistencia en cuanto a carga de la resistencia de la unión adhesiva promedio para las especies de estudio presenta para *Guadua angustifolia kunth* 65.48 N, seguida de *Bambusa vulgaris var. Vittata*. 58.88 N, *Bambusa oldhamii* Munro 50.48 N; y para *Phyllostachys bambusoides* (Madake) 48.78 N presentando esta los valores más bajos.

A continuación se presenta (cuadro 12) la comparación del comportamiento de resistencia de la unión adhesiva con adhesivo (PVA) amarillo de las especies en estudio con algunas maderas.

Cuadro 12.- Resistencia de la unión adhesiva con adhesivo (PVA) amarillo de *Bambusa vulgaris var. Vittata*, *Guadua angustifolia kunth*, *Bambusa oldhamii* Munro, y *Phyllostachys bambusoides* (Madake), y su comparación con algunas maderas.

Nombre científico y/o común.	Investigador o institución.	Resistencia de la unión adhesiva.		
		Área de contacto (cm ²)	Carga máxima (N)	Relación carga entre la superficie de contacto (kg/cm ²)
<i>Bambusa vulgaris var. Vittata</i> .	Especies de estudio. (2014)	4	58.88	14.72
<i>Guadua angustifolia kunth</i> .	Especies de estudio. (2014)	4	65.48	16.37
<i>Bambusa oldhamii</i> Munro	Especies de estudio. (2014)	4	50.48	12.62
<i>Phyllostachys bambusoides</i> (Madake)	Especies de estudio. (2014)	4	48.78	12.20
Maple duro	Ramos (1999)	25	609.3	24.37
<i>Quercus elliptica</i> .	Ramos (1999)	25	558.17	22.33

Analizando (cuadro 12), el bambú tiene propiedades adhesivas similares a la madera, ya que en cuanto a la relación carga y la superficie de contacto (kg/cm²), podemos decir que se encuentran dentro del rango de las maderas presentes en este cuadro.

En cuanto a inspección visual en (%) del adhesivo (PVA) amarillo.

El promedio de las especies de estudio de la resistencia a la unión adhesiva promedio para, el fallo en el adhesivo, intermedio, cohesivo y del sustrato presenta para; *Bambusa vulgaris var.*

Vittata. 5/35/20/40 %; *Guadua angustifolia kunth* 0/25/30/45 %; *Bambusa oldhamii* Munro 0/30/25/45%; y para *Phyllostachys bambusoides* (Madake) 0/20/40/40%.

Resistencia de la unión adhesiva con adhesivo (PVA) blanco.

El promedio de resistencia en cuanto a carga de la unión adhesiva promedio para las especies de estudio presenta para; *Guadua angustifolia kunth* 85.35 kg; *Bambusa vulgaris* var. *Vittata*. 67.98 kg; *Bambusa oldhamii* Munro 55.90 kg; y para *Phyllostachys bambusoides* (Madake) 52.00 kg.

A continuación se presenta (cuadro 13) la comparación del comportamiento de resistencia de la unión adhesiva con adhesivo (PVA) blanco de las especies en estudio con algunas maderas.

Cuadro 13.- Resistencia de la unión adhesiva con adhesivo (PVA) blanco de *Bambusa vulgaris* var. *Vittata*, *Guadua angustifolia kunth*, y *Bambusa oldhamii* Munro, *Phyllostachys bambusoides* (Madake), y su comparación con algunas maderas.

Nombre científico y/o común.	Investigador o institución.	Resistencia de la unión adhesiva.		
		Área de contacto (cm ²)	Carga máxima (N)	Relación carga entre la superficie de contacto (kg/cm ²)
<i>Bambusa vulgaris</i> var. <i>Vittata</i> .	Especies de estudio. (2014)	4	67.98	17.00
<i>Guadua angustifolia kunth</i> .	Especies de estudio. (2014)	4	85.35	21.34
<i>Bambusa oldhamii</i> Munro	Especies de estudio. (2013)	4	55.90	13.98
<i>Phyllostachys bambusoides</i> (Madake)	Especies de estudio. (2014)	4	52.00	13.00
Maple duro	Ramos (1999)	25	609.30	24.37
<i>Quercus elliptica</i> .	Ramos (1999)	25	558.17	22.33

Analizando el (cuadro 13), el bambú tiene propiedades adhesivas similares a la madera señaladas en el cuadro con adhesivo amarillo, ya que en cuanto a la relación carga y la superficie de contacto (kg/cm²), podemos decir que se encuentran dentro del rango de las maderas presentes en este cuadro.

En cuanto a inspección visual en (%) del adhesivo (PVA) blanco.

El promedio de las especies de estudio de la resistencia a la unión adhesiva promedio para, el fallo en el adhesivo, intermedio, cohesivo y del sustrato presenta para: *Bambusa vulgaris* var. *Vittata*. 0/20/15/65 %; *Guadua angustifolia kunth* 10/30/11/55 %; *Bambusa oldhamii* Munro 5/25/25/45%; y para *Phyllostachys bambusoides* (Madake) 0/15/5/80%.

Analizando los datos obtenidos y tomando en cuenta el área de la superficie de contacto, podemos afirmar que es un material con propiedades adherentes adecuada. Por lo que podría ser utilizado como un posible sustituto de la madera en algunos usos (tableros de partículas, tableros listonados, tableros MDF, muebles etc.)

A continuación (cuadro14) se presenta a manera concentrada los datos obtenidos en cuanto a las especies en estudio:

Cuadro 14.- Tabla de clasificación de características mecánicas de las especies en estudio

<i>Bambusa vulgaris</i> var. <i>Vittata</i>		
Bambú amarillo		
2.98	4922.39	58.88
706.53	8242.45	67.98
328.22	65.33	

<i>Guadua angustifolia kunth</i>		
Guadua		
3.19	4861.34	65.48
673.83	7187.87	85.35
326.98	59.62	

<i>Bambusa oldhamii</i> Munro		
Oldahmii		
3.37	5498.09	50.48
520.67	6981.18	55.9
353.61	72.55	

<i>Phyllostachys bambusoides</i>		
Madake		
2.43	3856.28	48.78
311.85	5273.02	52
268.67	56.66	

FICHA DE INFORMACIÓN

<i>Nombre botánico</i>		
Nombre común		
Flexión estática. Módulo de elasticidad (MOE) (Gpa)	Compresión paralela. Módulo de elasticidad (MOE) (Mpa)	Carga aplicada. (PVA amarillo). (N)
Flexión estática. Resistencia al límite elástico (PLP). (kg/cm2)	Compresión paralela. Resistencia al límite elástico (PLP). (kg/cm2)	Carga aplicada. (PVA Blanco). (N)
Flexión estática. Esfuerzo de ruptura. (Mpa)	Compresión paralela. Esfuerzo de ruptura. (Mpa)	

6.- Conclusiones y recomendaciones.

En cuanto a las especies de estudio:

Bambusa vulgaris var. Vittata:

Presenta un espesor promedio de 7.07 mm, considerablemente flexible a un contenido de humedad de 9 %. Lo que tiene clara influencia en el comportamiento de la resistente a esfuerzos de compresión paralela a la fibra y en flexión estática en las cuales presenta un valor promedio similar a algunas maderas clasificadas por Sotomayor (2008) (ver cuadro 10 y cuadro 11) y a algunas clasificadas por SFP (2010), en el cual se aprecian claramente los valores, que nos lleva a la conclusión de que el bambú puede ser utilizado como un sustituto de la madera, aunque este no lo sea. En cuanto a la resistencia de la unión adhesiva soportó mas carga (67.98 N) con el adhesivo amarillo que con adhesivo blanco, (58.88 N), ya que en acuerdo con la superficie de contacto (4 cm²) del adhesivo se considera un material con buenas propiedades adherentes debido a que la mayoría de fallas visuales se presentaron entre el adhesivo y el sustrato, tanto en el adhesivo PVA amarillo como en el blanco.

Guadua angustifolia kunth

Presenta un espesor de 6.84 mm, considerablemente flexible, un contenido de humedad de 8.6 %. Lo que tiene clara influencia el comportamiento a la resistente a esfuerzos de compresión paralela a la fibra y en flexión estática en las cuales presenta un valor promedio similar a algunas maderas clasificadas por Sotomayor (2008) (ver cuadro 10 y cuadro 11), en el cual se aprecian claramente los valores, los cuales nos lleva a la conclusión de que el bambú puede ser utilizado como un sustituto de la madera, aunque este no lo sea. En cuanto a resistencia de la unión adhesiva soporto mas carga el adhesivo PVA blanco (85.35 N) que con adhesivo PVA amarillo (65.48 N), ya que en acuerdo a la superficie de contacto (4 cm²) del adhesivo se considera un material con buenas propiedades adherentes ya que la mayoría de fallas visuales se presentaron entre el adhesivo y el sustrato tanto en el adhesivo PVA amarillo como en el blanco.

Bambusa oldhamii Munro

Tiene un espesor de 5.70 cm, relativamente flexible, un contenido de humedad promedio de 8.3 %. Lo que tiene clara influencia el comportamiento a la resistente a esfuerzos de compresión paralela a la fibra y en flexión estática en las cuales presenta un valor promedio similar a algunas maderas clasificadas por Sotomayor (2008) (ver cuadro 10 y cuadro 11), en el cual se aprecian claramente los valores, los cuales nos lleva a la conclusión de que el bambú puede ser utilizado como un sustituto de la madera, aunque este no lo sea. En cuanto de la resistencia a la unión adhesiva soporto mas carga el adhesivo PVA blanco (55.90 N) que con adhesivo PVA amarillo (50.48 N), de acuerdo a la superficie de contacto (4 cm²) del adhesivo se considera un material con buenas propiedades adherentes ya que la mayoría de fallas visuales se presentaron entre el adhesivo y el sustrato tanto en el adhesivo amarillo como en el blanco.

Phyllostachys bambusoides (Madake).

Presenta un espesor de 5.29 cm relativamente flexible, un contenido de humedad promedio de 8.6 %. Lo que tiene clara influencia en el comportamiento a la resistente a esfuerzos de compresión paralela a la fibra y en flexión estática en las cuales presenta un valor promedio similar a algunas maderas clasificadas por Sotomayor (2008) (ver cuadro 10 y cuadro 11), en el cual se aprecian claramente los valores, los cuales nos lleva a la conclusión de que el bambú puede ser utilizado como un sustituto de la madera, aunque este no lo sea. En cuanto de la resistencia a la unión adhesiva soporto mas carga el adhesivo PVA blanco (52.00 N) que con adhesivo PVA amarillo, 48.78 N, de acuerdo a la superficie de contacto (4 cm²) del adhesivo se considera un material con buenas propiedades adherentes ya que la mayoría de fallas visuales se presentaron entre el adhesivo y el sustrato tanto en el adhesivo amarillo como en el blanco.

El espesor varía claramente entre especies, lo cual presenta gran influencia en los valores obtenidos en flexión estática, donde *Bambusa vulgaris* var. *Vittata* presenta los valores más altos debido a que tiene el mayor espesor, y los valores más pequeños los obtuvo *Phyllostachys bambusoides* (Madake), que tiene los espesores más pequeños, ya que los fallos fueron más notorios en esta especie y fue la única especie en donde las probetas llegaron a la ruptura mientras que las otras especies solo se flexionaron obteniendo fallas internas; en compresión paralela los valores más altos lo presenta *Bambusa oldhamii* Munro mientras que las otras tres especies evaluadas se encuentran dentro de un mismo rango lo que nos lleva a comprobar que en esta prueba el espesor no tiene gran influencia en los resultados obtenidos. En cuanto a unión adhesiva el factor más importante tomado en cuenta fue el contenido de humedad (C.H.) para lo cual no se presentó problema alguno ya que las cuatro especies estudiadas están en el mismo rango (8-9 % de C.H), soportando cargas proporcionalmente uniformes en un rango de (48.78- 65.48 N) para el PVA amarillo y un rango de (52.00-85.5 N) para el PVA blanco.

Tomando en cuenta los datos presentados de las cuatro especies se consideran dura respecto a la madera a su comparación con algunas maderas (Sotomayor 2008) ya que el comportamiento del bambú es similar, por lo tanto, se recomienda su aplicación en forma de madera base tablillas para la elaboración de elementos estructurales para techos, muros, pisos, tableros, según (Echenique y Plumptre 1996).

Recomendaciones:

La metodología establecida para la presente investigación, está apegada a una normativa y parámetros de clasificación adecuados para estudios de caracterización básica de pruebas mecánicas para madera. Para lo cual la extracción de las probetas de bambú se realizó lo más apegado posible a estas especificaciones, por lo que se sugiere continuar con las investigaciones de este género.

Esta investigación de tableta de bambúes esta presentada lo más práctico y eficiente posible, ya que presenta la información básica acerca del: suministro del material, traslado, almacenaje, extracción de muestras, instrumentar cada ensayo en requisitos de Norma.

Las características mecánicas fueron determinadas en tableta obtenida de culmos de bambúes, colectados en Veracruz, de 3 años de edad, parámetro que puede ser considerados para valores comparativos de otras investigaciones, para su posible, ampliación de aprovechamientos y usos, dando pie a nuevas variables como:

- a) Realizar investigaciones de propiedades físicas y mecánicas en tableta de bambú con un espesor de pared igual para cada probeta de ensayo.
- b) Realizar investigaciones para propiedades físicas y mecánicas en tableta de bambú con probetas obtenidas de una misma sección del culmo (parte base-parte intermedio-parte superior).
- c) Realizar investigaciones de propiedades físicas y mecánicas en tableta de bambú a probetas obtenidas en bambúes con 3, 4 y 5 años de edad.
- d) Realizar y publicar investigaciones de plantaciones adecuadas sobre bambúes nativos e introducidos en México.
- e) Profundizar en estudios de caracterización para las mismas especies sometidas a procesos de preservación para valorar su comportamiento en ensayo físico y mecánico, además de la realización de otros estudios de secado, maquinado, adhesivos, recubrimientos, uniones y tableros compuestos a base de tablillas.
- f) Ampliar el panorama reciente en nuestro país respecto a las especies de bambúes en cuanto al aprovechamiento, para lograr una mejora a cerca de la investigación, promoción y sostenibilidad de su cultivo, transferencia y desarrollo tecnológico para la generación de otros productos de valor agregado que puedan participar en circuitos comerciales actuales, abriéndose paso como Productos Forestales No Maderables (PFNM).
- g) Participar de un cambio de percepción respecto a las especies de bambúes como un recurso natural aprovechable de nuestro país, ya que al ser clasificado como segundo en biodiversidad a nivel Centroamérica, los bambúes forman parte ancestral de la cultura mexicana donde es transformado y utilizado de manera empírica.
- h) Realizar investigaciones en cuanto a la aportación del bambú en el control de erosión, debido a que en México se han presentado graves cambios de uso de suelo. Tomando en cuenta que este cuplé con la misma función de los arboles en cuanto este problema, pero con la ventaja de que el bambú llega a su estado de maduración en 5 o 6 años.

- i) Realizar estudios a los brotes de bambú, para ver las propiedades alimenticias y medicinales.
- j) Realizar estudios de unión adhesiva, en probetas pequeñas de bambú, para tener referencias de comparación, ya que en ninguna literatura se encontraron tales estudios.
- k) Crear cultura y un panorama más amplio acerca de estas gramíneas, ya que en otros países es el principal activo económico, lo que podía ayudar a generar un sustento para nuestras familias mexicanas en situaciones económicas de pobreza extrema.

7. – Bibliografía citada.

(INTECAP) Instituto Tecnológico de Capacitación y productividad. 1991. Misión China. Guía técnica para la identificación d las especies de bambú, sus plagas y enfermedades. (INTECAP).

Abd. Latif, M. 1993. Effects of the age and height on the machining properties of Malaysian bamboo. Jurnal of Tropical Forest Science, 5(4), 528-535.

Aguilar A, R.I. 2005. Morfología, Tallos o Culmos. [Internet]. Revista electrónica Bio Bambú. Disponible en: <<http://www.bambumex.org/paginas/CULMOS.pdf>>. [Consulta: Agosto 5, 2012].

Alonso, G. 2010. Aplicación del Bambú Guadua Angustifolia en techumbres ligeras: el caso de una remodelación. Universidad Autónoma de Chiapas. [Internet] Disponible en:< <http://blog.unach.mx/guillermoalonso/2010/06/04/techumbre-ligera-de-bambu-guadua-angustifolia/#>> [consulta: Octubre 27, 2012].

Arcilla H., J. 1993. El bambú como material de construcción. Tesis doctoral. Departamento de construcciones I de la U.P. Catalunya.

ASTM (American Standard Test Method for Tensile Properties of Adhesive Bonds) (ASTM D 897-78). 1981. Annual Book of ASTM Standards. Wood; Adhesives. Part 22. U.S.A.

Atrops, J. L. 1969. Elastizitaet und Festigkeit von Bambusrohren. (elasticity and strength of bamboo culms). Der Bauingenieur vol 44 *In*; Janssen. 1991. Mechanical properties of bamboo. Forestry sciences. Kluwer academic publishers. Eindhoven, Netherlands.

Barbaro, G. 2007. La biónica del bambú. Arquitectura del paisaje. [Internet]. Barcelona. Disponible en: < <http://krfr.org/K/articulos/A/bambu-1.pdf> >. [Consulta: Agosto 28, 2012].

Barreto, W. 2003. Evaluación de la guadua laminada pegada, aplicada a propuesta de reticulado plano. Bogotá. Tesis profesional. Facultad de Arquitectura. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá Colombia.

Bejarano, R. 2010. Manual de aprovechamiento sostenible de bambusales Naturales. Fundacion Produce A.C. Puebla, México.

Bystriakova, N.; Kapos, V.; Lysenko, L. 2002. Researcher, International Network for Bamboo and Rattan (INBAR)/ Senior Advisor (Forest Ecology), UNEP World Conservation Monitoring Centre (UNEP-WCMC)/ Conservation Analyst, UNEP World Conservation Monitoring Centre (UNEP-WCMC) UNEP-WCMC. Cambridge.

Cooper, G. 2005. El bambú: su importancia en la ecología y la conservación de las especies nativas. *In*: Primer congreso Mexicano del Bambú (Memorias). Gobierno Constitucional del Estado de Veracruz. Xalapa de Enríquez Veracruz de Ignacio de la Lave México. p.30.

Cortés R, G. 2010. *Bambusa oldhamii* Munro. [Internet]. [www.bambumex.org](http://www.bambumex.org/Bambusa%20oldhamii%20%20Munro.pdf). Disponible en: <<http://www.bambumex.org/Bambusa%20oldhamii%20%20Munro.pdf>>. [Consulta: Agosto 28, 2012].

Cortés R, G.R. 2000. Los bambúes nativos de México. [Internet]. 30:12-15. Disponible en: <<http://www.biodiversidad.gob.mx/Biodiversitas/Articulos/biodiv30art3.pdf>>. [Consulta: Julio 28, 2012].

Cortés R, G.R. 2010. El Bambú en México: Reuniones Nacionales. [Internet]. Revista electrónica Bio Bambú. Disponible en: <<http://www.bambumex.org/paginas/REUNIONES%20NACIONALES.pdf>>. [Consulta: Julio 10, 2012]

Cortez R, G. 2000. Bambúes nativos de México. Biodiversitas. CONABIO. 5(30):12-14

Cruz R, A.H. 1994. *La guadua*: nuestro bambú. Corporación Autónoma Regional del Quindío/Centro Regional para el estudio del Bambú Guadua. Colombia.

Cruz R, H. 2009. Bambú Guadua. Bosques naturales en Colombia y plantaciones comerciales en México. Gráficas Olimpica. Pereira, Colombia.

Davidse, G.; Sousa, M.; Chater, A.O. 1994. Flora Mesoamericana Vol. 6, Alismataceae a Cyperaceae. Bambusoideae. Universidad Nacional Autonoma de Mexico, Mexico City, Mexico.
Durán, L. M. 2003. Estudio de guadua laminada y su aplicación al sistema tensegrity. Tesis profesional. Facultad de Arquitectura. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá Colombia.

Echenique, R; Plumptre, R.A. 1994. Guía para el uso de maderas de Belice y México. Universidad de Guadalajara. México.

Espinoza, J.C. 1930. Bending and compressive strengths of the common Philippine bamboo. Phil. J. of Sc. Philippines. 41(2): páginas.

Forest Products Society (FPS). 2010. Wood Handbook. 2ª Edition. Madison, Winsconsin. USA.

Ghavami, K.; Marinho, A.B.; 2001. Determinação das propriedades dos bambus das espécies: *Mosó*, *Matake*, *Guadua angustifolia*, *Guadua tagoara* e *Dendrocalamus giganteus* para utilização na engenharia. 1. ed. RMNC do Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio. Rio de Janeiro Brasil.

Herrera, E.G.; Sabogal, O.A. 1999. El bambú una cultura milenaria. [Internet]. Catalogo de los bambúes introducidos de México. Disponible en: <<http://www.bambumex.org/paginas/Guadua%20%20angustifolia.pdf>>. [Consulta: Agosto 20, 2012].

Hidalgo L., O. 1974. Bambú su cultivo y aplicaciones en papel, construcción, ingeniería, artesanía. Estudios Técnicos Colombianos LTDA. Cali Colombia.

Hidlgo L., O. 1981. Manual de construcción con bambú. Estudios técnicos colombianos Ltda. Bogotá Colombia.

Huertas A. O. D. 1996. Aplicación del bambú en la construcción de viviendas de interés social, en el municipio de Ixcán, el Quiché. Tesis de grado. Facultad de arquitectura. Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC). San Carlos, Guatemala.

ISO (International Organization for Estandarization). 1975. Wood-Determination of moisture content. ISO 3130. UDC 674.03: 539.384. Switzerland.

ISO (International Organization for Estandarization). 1975. Wood-Determination of ultimate strength in static bending. ISO 3133. UDC 674.03: 539.384. Switzerland.

ISO (International Organization for Estandarization). 1975. Wood-Determination of modulus of elasticity in static bending. ISO 3349. UDC 674.03: 539.32: 531.224. Switzerland.

ISO (International Organization for Estandarization). 1975. Wood- Sampling methods and general requiriments for physical and mechanical test. Suisse.

ISO (International Organization for Estandarization). 1976. Wood-Test methods- Determination of ultimate stress in compression parallel to grain. ISO 3787. UDC 674.03: 620.172.242. Switzerland.

Ixcolin O., C.A. 1999. Estado Actual del Bambú como Material de Construcción en Guatemala. Tesis profesional. Facultad de Ingeniería Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala. San Carlos, Guatemala.

Janssen J., J.A. 1981. Bamboo in building structures. Tesis doctoral. Eindhoven University of Tecnology. Netherlands.

Judziewicz., E.J; Clark., L.G; X. Londoño; . Stern., J.M. 1999. American Bamboo . Smithsonian Institution Press. Washington, D.C.

Kishen, J.; Ghosh, D.P.; Rehman, M.A. 1956. Studies on moisture content, shrinkage, swelling and intersection point of mature (*Dendrocalamus strictus*) male bamboo. Indian For. Rec.

Lee, A.W.C.; Bai, X.; Bangi, A.P. 1998. Selected properties of laboratory made laminated bamboo lumber. Holzforschung 52 (2): 207–210.

Liese, W. 1985. Bamboos Biology, silvics, properties, utilization (eng. text by B.Jackson). Deustche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (DTZ) GmbH, Eschborn.

Liese, W. 1998. The anatomy of the bamboo culms. Tecnical Report. International Network for Bamboo and Rattan. Beijin.

Liese, W.; Grover, P.N. 1961. Untersuchungen über den Wassergehalt von indischen Bambushalment. Ber. Deut. Bot Gesellschaft, 74,105-117.

Limaye, V.D. 1952. Strength of bamboo (*Dentrocalamus strictus*). Indian forest records, new series, timber mech., vol 78 no 11. Eindhoven, Netherlands.

Londoño, X. 2002. Evaluation of bamboo resources in Latin America. A Summary of the Final Report of Project No. 96-8300-01-4. International Network for Bamboo and Rattan. Instituto Vallecaucano de Investigaciones Científicas. Cali Colombia.

Londoño, X. 2005 .*Bambusavulgarisvar. Vittata*. [Internet]. Especies de bambú de argentina, sociedad colombiana del bambú. Disponible en: <<http://es.scribd.com/doc/15022036/Especies-de-Bambu-en-Argentina>>. [Consulta: Agosto 25, 2012].

McClure, F.A. 1966. The Bamboos, a fresh Perspective. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.

Mercedes, J. R. 2006. Guía técnica cultivo de bambú. Santo Domingo. CEDAF. República Dominicana.

Meyer, H.F.; Ekelund, B. 1922. Test on the mechanical propierties of bamboo. The Engiennering Soc. of China. Vil 22 peper 7. In; Janssen, Jules J.A. 1991. Mechanical properties of bamboo. Forestry sciences. Kluwer academic publishers. Eindhoven, Netherlands.

Monografía del bambú. 2007. Gobierno del estado de Veracruz. [Internet]. Comisión Veracruzana de comercialización Agropecuaria. Disponible en: <<http://portal.veracruz.gob.mx/pls/portal/docs/PAGE/COVECAINICIO/IMAGENES/ARCHIVOSPDI/ARCHIVOSDIFUSION/MONOGRAF%CDA%20DE%20BAMB%DA.PDF>>. [Consulta: Agosto 20, 2012]

Montoya, J.A. 2007. Dureza brinell y la influencia de la humedad relativa en el ambiente, de la edad y la altura a lo largo de el culmo de la especie de bambú *Guadua angustifolia Kunth*. Revista Scientia et technica, año XIII. No. 34. Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia.

Morales L., C A. 2010. Validación de Parámetros para la Fabricación de Productos Derivados del Bambú, Especie *Guadua Angustifolia Kunth*, como Elementos Estructurales, Mediante la Aplicación de Diseño de Experimentos. Tesis de grado. Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil-Ecuador.

Nugroho, N.; Ando, N. 2000. Development of structural composite products made from bamboo I: fundamental properties of bamboo zaphyr board. J. Wood Sci. 46 (1): 68-74. Oñoro, 2006. Adhesivos. [Internet]. Disponible en: <<http://sistemamid.com/preview.php?a=82314>>. [Consulta: Agosto 02, 2012].

Ordoñez, C.V.R. 1999. Perspectivas del bambú para la construcción en México. Madera y Bosques.

Ota, M. 1950. Studies on the properties of bamboo stem the influence of the percentage of estructural elements on the especific gravity and compressive strength of bamboo Split. Bulletin No 19 Kyushu University. Japan.

Ota, M. 1955. Studies on the properties of bamboo stem Part /I. On the fiber saturation point obtained from the effect of moisture content on the swelling and shrinkage of bamboo. Bull. of Kyushu Univ. For. 24:61-72.

Pérez, R.; G. Cortés. 2005. Bio Bambú. Revista Electronica. Bambumex A.C. [Internet] 13(1). Disponible en:< <http://www.bambumex.org/paginas/JALISCO.pdf>>,< <http://www.bambumex.org/paginas/VERACRUZ.pdf>> [Consulta: Septiembre 14 2012].

Prawirohatmodjo, S. 1988. Comparative strengths of green and air dry bamboo. Proceedings of international bamboo workshop. Cochín. India.

Ramos p., D. 1999. Características y propiedades de la madera de *Quercus elliptica* Née. (Encino) del municipio de Morelia, Michoacán, México. Tesis de grado. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Morelia, Michoacán.

Rangel R, A. 2005. Artesanías con bambú. In: Primer congreso Mexicano del Bambú (Memorias). Gobierno Constitucional del Estado de Veracruz. Xalapa de Enríquez Veracruz de Ignacio de la Llave México. p. 82.

Sánchez, M. 2009. Manual para la producción de bambú y manejo nutricional del panda gigante (*Ailuropoda melanoleuca*) y panda rojo (*Ailurus fulgens*) en el zoológico de Chapultepec. Programa de Becas del Centro de Estudios China-México, UNAM y el ICyTGDF. UNAM. Ciudad de México.

Schwab, E.; Schlusen, K. 1999. Eigenschaften von Bambus Parkett Elementen. Holz. als Roh- und Werkstoff 57.

Sekhar, A.C.; Rawat, B.S.; R.K Bhartari. 1962. Strength of bamboo (*Bambusa nutans*). Ind. For. 88:67-73.

Sekhar, A.C.; Bhartari R.K. 1961. A note on the strength of dry bamboo *Dendrocalamus strictus* from Madhya Pradesh. Indian Foster in Janssen, Jules J.A. 1991. Mechanical properties of bamboo. Forestry sciences. Kluwer academic publishers. Eindhoven, Netherlands.

Sekhar, A.C.; M.S. Rawat. 1964. Some studies on the shrinkage of *Bambusa nutans*. Ind. For. 90(3): 182-188.

Soriano, F.P. 2008. Utilización sostenible del bambú en Tailandia. Actualidad forestal tropical. Organización Internacional de maderas tropicales. OIMT. Tailandia.

Sotomayor C., J. R. 2008. Tabla FITECMA de clasificación de características mecánicas de maderas mexicanas. Universidad Michoacana De San Nicolás De Hidalgo. Facultad De Ingeniería En Tecnología De La Madera. 2ª edición. Morelia Michoacán.

Stamm, Jörg. 2002. Laminados de guadua. Informe proyecto U.T.P.-GTZ. Facultad de Ciencias Ambientales. Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia.

Tekeuchi, C. P; Gonzalez, C.E. 2007. Resistencia a la compresión paralela a la fibra de la *Guadua angustifolia* y determinación del módulo de elasticidad. Universidad de Bogotá, Colombia.

ANEXOS

ANEXO. CLASIFICACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS MENCIONADAS EN EL TEXTO SEGÚN LOS CRITERIOS DE SOTOMAYOR (2008).

COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA EN EL MODULO DE ELASTICIDAD (MOE)

CALIFICACIÓN	COMPRESIÓN PARALELA. (Kg/cm²)
Muy baja	Menor de 50,000.00
Baja	50,001.00 - 100,000.00
Media	100,000.00 - 150,000.00
Alta	150 001.00 - 200,000.00
Muy alta	Mayor d 200,000

COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA EN EL LÍMITE ELÁSTICO PROPORCIONAL (P_{LP}).

CALIFICACIÓN	COMPRESIÓN PARALELA. (Kg/cm²)
Muy baja	Menor de 100.00
Baja	101.00 – 180.00
Media	181.00 – 260.00
Alta	261.00 – 340.00
Muy alta	Mayor de 340.00

COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA EN LA RESISTENCIA A LA RUPTURA (MOR).

CALIFICACIÓN	COMPRESIÓN PARALELA. (Kg/cm²)
Muy baja	Menor de 150.000
Baja	151.00 – 300.00
Media	301.000 – 450.00
Alta	451.00 – 600.00
Muy alta	Mayor de 600.00

FLEXIÓN ESTÁTICA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD (MOE)

CALIFICACIÓN	FLEXIÓN ESTÁTICA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD (MOE). (Kg/cm ²)
Muy baja	Menor de 40,000.00
Baja	40,001.00 - 80,000.00
Media	80,001.00 - 120,000.00
Alta	120,001.00 - 160,000.00
Muy alta	Mayor de 160,000.00

FLEXIÓN ESTÁTICA EN EL LÍMITE ELÁSTICO PROPORCIONAL (P_{LP}).

CALIFICACIÓN	FLEXIÓN ESTÁTICA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD (MOE). (Kg/cm ²)
Muy baja	Menor de 200.00
Baja	201.00 – 400.00
Media	401.00 – 600.00
Alta	601.00 – 800.00
Muy alta	Mayor de 800.00

FLEXIÓN ESTÁTICA EN LA RESISTENCIA A LA RUPTURA (MOR).

CALIFICACIÓN	FLEXIÓN ESTÁTICA EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD (MOE). (Kg/cm ²)
Muy baja	Menor de 350.00
Baja	351.00 – 700.00
Media	701.00 – 1050.00
Alta	1,051.00 – 1400.00
Muy alta	Mayor de 1400.00