

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA

UNAN - MANAGUA

RECINTO UNIVERSITARIO RUBEN DARIO

RURD

FACULTAD DE CIENCIAS PURAS E INGENIERÍAS.

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCION



“Tesis monográfica para optar al título de ingeniería civil”

TITULO:

Capacidad resistente del bambú *Guadua Amplexifolia*, para propósitos constructivos.

INTEGRANTES:

- ✚ Jerald Giovany Cordero Lopez.
- ✚ Albert Josué Gichtters Rivera.
- ✚ Milder Javier Téllez Urbina.

TUTOR: Dr. Edwin Obando.

INDICE

AGRADECIMIENTOS	I
INDICE DE FIGURAS	III
INDICE DE TABLAS	IX
1. INTRODUCCION	1
1.1. Justificación.....	4
1.2. Planteamiento del problema.....	5
1.3. Antecedentes.....	6
1.4. Limitaciones.....	7
2. OBJETIVOS	8
2.1. Objetivo general.....	8
2.2. Objetivo específico.....	8
3. MADERA Y BAMBÚ COMO MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	9
3.1. Madera.....	9
3.2. Madera Como material de construcción.....	9
3.2.1. Resistencia a rotura.....	10
3.2.2. Resistencia a cortante.....	10
3.2.3. Resistencia a flexión.....	11
3.2.4. Dureza.....	11
3.3. Bambu Guadua.....	12
3.4. Morfología de la Guadua.....	13
3.5. Características de la Guadua Amplexifolia.....	14
3.5.1. Características mecánicas.....	15
3.5.2. Características físicas.....	16
3.6. Bambu como material de construccion.....	16
3.7. Bambú Guadua en Nicaragua.....	17
3.8. Método de curado del Bambú.....	19
3.8.1. Método de ahumado.....	19

3.8.2. Curado por inmersión en agua.....	20
3.8.3. Método de calentado.....	21
3.8.4. Inmersión en ácido bórico.....	21
3.8.5. Protección con resinas y aceite.....	22
3.8.6. Insecticidas.....	22
3.8.7. Inmersión en bórax con cipermetrina.....	22
4. METODO PARA EVALUACION DE CAPACIDAD DE RESISTENCIA MECANICA.....	24
4.1. Tipos de ensayos para determinar la capacidad resistente del Bambú Guadua.....	24
4.1.1. Resistencia a la tensión.....	25
4.1.1.1 Tracción paralelo a la fibra.....	26
4.1.1.2 Tracción perpendicular a la fibra.....	28
4.1.2. Resistencia a la compresión paralela a la fibra.....	29
4.1.3. Resistencia al cortante paralelo a la fibra.....	32
4.2. Esfuerzo admisible.....	33
4.2.1. Factor de servicio y seguridad f_s	34
4.2.2 Factor de duración de carga f_{dc}	35
5. SELECCIÓN Y ENSAYES DE MUESTRAS.....	36
5.1. Selección de las muestras.....	36
5.1.1. Selección de las muestras para ensayos a tensión.....	37
5.1.1.1. Resistencia a la tracción paralela a la fibra.....	37
5.1.1.2. Resistencia a la tracción perpendicular a la fibra.....	38
5.1.2. Selección de las muestras para ensayos a compresión.....	39
5.1.3. Selección de las muestras para ensayos a cortante.....	40
5.2. Procedimiento de ensayos de laboratorio.....	41
5.2.1. Ensaye a tracción paralela a la fibra.....	41
5.2.1.1. Procedimiento.....	41
5.2.2. Ensaye a tracción perpendicular a la fibra.....	43

5.2.2.1. Procedimiento.....	43
5.2.3. Ensaye a compresión.....	45
5.2.3.1. Procedimiento.....	45
5.2.4. Ensaye a cortante.....	47
5.2.4.1. Procedimiento.....	47
6. ANALISIS DE RESULTADOS.....	49
6.1 Parámetros de resistencia del Guadua Amplexifolia.....	49
6.1.1 Tracción paralela a la fibra.....	49
6.1.2 Tracción perpendicular a la fibra.....	50
6.1.3 Compresión.....	52
6.1.4 Cortante.....	53
6.2 Módulo de elasticidad a compresión.....	56
6.3 Módulo de elasticidad a tracción paralela a la fibra.....	58
6.4 Capacidad resistente del Guadua en comparación con otras madera.....	60
7. APLICACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS A TRAVÉS DE UN MODELO REPRESENTATIVO DE PUENTE PEATONAL	62
7.1 Encontrando La carga total actuante.....	63
7.2 Diseñando la viga de bambú.....	64
7.3 Diseño de la Armadura.....	67
8. CONCLUSIONES	71
9. BIBLIOGRAFIA	73
10. ANEXOS	75
ANEXO A: Descripción de los equipos a utilizar.....	76
ANEXO B: Cálculos y graficas del ensaye a compresión.....	83
ANEXO C: Contenido de Humedad.....	91

ANEXO D: Imagen representativo de lugares existentes del bambú en Nicaragua.....	95
11. GLOSARIO.....	96

AGRADECIMIENTOS

Al finalizar un trabajo tan arduo y lleno de dificultades como el desarrollo de una monografía es inconcebible que en nosotros halla un egocentrismo que nos haga llevar la mayor parte el mérito en el aporte que hemos hechos. La magnitud de este aporte hubiese sido imposible sin la participación de Dios, de personas y universidades para que este trabajo monográfico llegue a ser una contribución para la ingeniería.

Agradecemos primeramente de manera especial y sincera a nuestro Padre Dios, a su Hijo Jesucristo y al Consolador el Espíritu Santo, por haber tocado los corazones de cada una de las personas que nos brindaron su ayuda para llevar a cabo este gran proyecto, por habernos brindado la confianza, la dirección, la sabiduría, la inteligencia necesaria para la realización de esta monografía; sabiendo de ante mano que sin la sabiduría de la Santa Trinidad no hubiéramos podido llevar a cabo la realización de este trabajo.

Queremos expresar también nuestro más sincero agradecimiento a nuestros Padres. Porque gracias a su apoyo y consejos, hemos llegado a realizar una de las grandes metas lo cual constituye la herencia más valiosa que pudiera recibir. Les agradecemos, por haber puesto su confianza en nosotros; siendo ellos la base y pilares fundamentales y el sustento económico que día a día nos brindaban para llevar a cabos los objetivos de cada día.

Agradecemos al Ing. Edwin Obando por habernos tutorado en la realización de la monografía, por haberse dispuesto a brindarnos su confianza en nosotros, dándonos ideas y correcciones las cuales nos llevaron al éxito de esta monografía.

A la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN-Managua), por ser el alma mater que nos dio un legado en nuestra formación. Al gremio de docentes de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN-Managua) que nos impartieron cada una de las asignaturas de nuestra formación, por haber dedicado

su tiempo brindándonos sus conocimientos, actitudes y por haber sido tolerantes con nosotros en la enseñanza y la formación de nuestro futuro al ing. Bayardo Altamirano, Ing. Adolfo Cordero entre otros.

A la Universidad Centro Americana (UCA) por su colaboración al brindarnos con mucha disponibilidad los laboratorios y los instrumentos con se realizaron los ensayos. Al Ing. Jimmy Vanegas quien nos recibió amablemente y generosamente brindándonos toda la ayuda necesaria, por las explicaciones de las maquinarias para su uso y manejo y por la confianza que tuvo en nosotros. Al ing. Otoniel Baltodano quien amable y generosamente nos atendió y nos extendió su mano para la utilización de los laboratorios para que se llevase a cabo todo los objetivos de los ensayos del laboratorio. Siendo para nosotros un privilegio de haber sido un ejemplo para la Universidad, como lo es para nosotros así la universidad y todo el gremio de maestros.

A La Universidad Nacional de Ingeniería Recinto Universitario Pedro Arauz Palacio (UNI-RUPAP), por su disponibilidad al brindarnos los laboratorios y los cada uno de los instrumentos para llevar a cabo los resultados con los que hoy nos llevan al éxito. Al ing. Marvin Blanco por su colaboración y por disponernos amablemente el uso incondicional de los laboratorios en la UNI-RUPAP. A los técnicos de los laboratorios UNI-RUPAP nuestros más cordiales agradecimiento. Por habernos recibido y disponer de su tiempo al estar realizando los ensayos de prueba de los especímenes.

Agradecemos a todos nuestros compañeros de nuestra generación que a pesar de las dificultades que enfrentamos en los 5 años de nuestra trayectoria en la universidad siempre fueron nuestros hermanos, nuestros amigos demostrándolo en las buenas y en las malas que vivimos por todos aquellos bellos momentos de los cuales disfrutamos, nos reímos.

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.3 Puente de Bambú construido en Bogotá (Cundinamarca), se caracteriza por poseer el mayor claro. (Óscar. 1978. Nuevas técnicas de construcción con bambú).Pág. 6.

Figura 3.1 a) viga sin armadura simplemente apoyada que soporta una carga puntual, c) viga simplemente apoyada que cedió al ser sometida a una carga puntual, b) viga simplemente apoyada que soporta una carga a flexión, d) viga con armadura muestra la manera en que falla. Pág. 10

Figura 3.2 a) Cilindro de concreto sometido a flexión, b) cilindro en su estado normal sin ninguna carga, c) cilindro sometido a compresión(Luis, A. 2003. Propiedades mecánicas de los materiales). Pág. 11

Figura 3.3 Área de cultivo del Bambú *Guadua Amplexifolia* en estudio, obtenida del Centro Experimental el Recreo (La Esperanza- Rama). Pág. 12

Figura 3.4 Mata de Bambú *Guadua*, de donde se extrajeron las cañas, que luego se utilizaron en los ensayos de laboratorio. Pág. 14

Figura 3.5 Mapa de Nicaragua, utilizado como macro localización del sitio de donde se obtuvieron las muestras utilizadas en los laboratorios. b) Centro Experimental el Recreo, ubicado en el municipio EL Recreo en el Rama exactamente ubicado entre el municipio de la Esperanza y Aredo; este tiene coordenadas geográficas 84° 19' longitud oeste y los 12° 12' Latitud Norte. Dentro de sus funciones tenemos el cultivo de la especie de Bambú *Guadua*
<http://es.justmaps.org/mapas/latinoamerica/nicaragua>. Pág. 18

Figura 3.6 Elementos de bambú durante el proceso de curado al humo. Pág. 20

Figura 3.7 Manera en que se realiza el Curado por Inmersión. (Brigitte, C y Diego, M. (2004). Procedimiento de ensayo para la determinación de las propiedades físico mecánicas Pág. 20

Figura 3.8 Especímenes de bambú sometidos al Curado al Calor (Brigitte, C y Diego, M. (2004). Procedimiento de ensayo para la determinación de las propiedades físico mecánicas. Pág. 21

Figura 3.9 Especímenes de bambú sumergidos en bórax con sipermetrina, curado con ácido bórax y sipermetrina (Brigitte, C y Diego, M. (2004). Procedimiento de ensayo para la determinación de las propiedades físico mecánicas. Pág. 22

Figura 4.1 Máquina utilizada para realizar los ensayos de compresión paralela a la fibra este equipo de marca HOYTOM Leíoa modelo DI-CP/V2 con capacidad máxima de carga de 600 KN se encuentra localizada en los laboratorios de ingeniería del recinto de la UNAN-RURMA, perteneciente a la UNAN-MANAGUA.). Pág. 25

Figura 4.2 Grafica esfuerzo vs deformación unitaria muestra el comportamiento que sufre un material al ser expuesto a una carga axial en una prueba de laboratorio. Pág. 31

Figura 4.3 Máquina utilizada para realizar los ensayos de compresión paralela a la fibra y cortante paralelo a la fibra. Pág. 31

Figura 4.4 Esquema de representación de aplicación de la carga axial en la probeta de bambú *Amplexifolia* en el ensaye a cortante perpendicular a la fibra. Pág. 33

Figura 5.1 Región Autónoma Atlántico Sur (RAAS), la Esperanza. Se visitó el Centro Experimental el Recreo, ubicado en el municipio EL Recreo en el Rama. Pág. 36

Figura 5.2 Imagen representativa de una muestra de espécimen que se utilizara para realizar la prueba a tracción paralela a la fibra., con dimensiones; con una longitud de 50 cm. Pág. 38

Figura 5.3 Imagen representativa de una muestra de espécimen que se utilizara para realizar la prueba a tracción perpendicular a la fibra, con dimensiones; altura de 10 a 15 cm. Pág. 39.

Figura 5.4 Imagen representativa de una muestra de espécimen que se utilizara para realizar la prueba a compresión, con dimensiones; altura 2 veces el diámetro. Pág. 40.

Figura 5.5 Imagen representativa de una muestra de espécimen que se utilizara para realizar la prueba de cortante con dimensiones; con una altura de 2 veces el diámetro. Pág. 41.

Figura 5.6 Mordazas planas para realizar el ensaye de tracción paralela a la fibra. Laboratorio de la UCA. Pág. 42.

Figura 5.7 Montaje de láminas de bambú *Guadua Amplexifolia* ensaye tracción perpendicular a la fibra. Laboratorio de la UCA. Pág. 43.

Figura 5.8 Ensaye de tensión o tracción perpendicular a la fibra. Se presentó fallas en el centro de las láminas. Laboratorio de la UCA. Pág. 43.

Figura 5.9 Colocación del espécimen de Guadua Amplexifolia en el dispositivo de ensaye. b). Montaje de las mordazas planas para realizar ensaye de tracción perpendicular a la fibra. Laboratorio de la UCA. Pág. 44.

Figura 5.10 Ensaye a tracción perpendicular a la fibra, b) montaje y aplicación de carga axial. Laboratorio de la UCA. Pág. 45.

Figura 5.11 Muestras de algunas fallas al realizar ensaye tracción perpendicular a la fibra. Pág., 45

Figura 5.12 Colocación de los deformímetros mecánicos en el collarín o anillos de sujeción. Pág. 46.

Figura 5.13 Colocación del espécimen en la máquina de compresión. b) Calibración de los deformímetros para tomar lecturas. Laboratorio de la UNI. Pág. 47.

Figura 5.14 Colocación del dispositivo en la máquina de compresión. Laboratorio de la UNI. Pág. 48.

Figura 5.15 Ubicación del dispositivo de cortante para ejercer la carga axial de cortante con la ayuda de la máquina de compresión. Laboratorio de la UNI. Pág. 49.

Figura 5.16 a) Pantalla que registra la carga aplicada para provocar cortante. b) Muestras de las fallas en el ensaye de cortante. Pág. 49.

Figura 6.1 Esfuerzo Vs deformación unitaria, obtenida de los ensayos de compresión. Pág. 58.

Figura 6.2 Muestra el módulo de elasticidad máximo y módulo de elasticidad mínimo del bambú *Amplexifolia* a compresión. *Pág. 58*

Figura 6.3 Modulo de la elasticidad cálculo de la gráfica esfuerzo vs deformación calculada en los ensayos de tracción paralela. *Pág. 60.*

Figura 7.1 Esquema de puente peatonal de bambú compuesto con losa de madera. *Pág. 62.*

Figura 7.2 Diagrama representativo de las cargas que actúan en las reacciones de los apoyos y de los nudos de la armadura. *Pág. 64.*

Figura 7.3 Diagrama de cortante y momento para determinar el momento máximo. *Pág. 64*

Figura 7.4 Diagrama de armadura para hacer el análisis en los nodos. *Pág. 67*

Figura 7.5 Detalle de la unión de los elementos de bambú unidos por pernos y concretó en su interior. Ver figura 7.4 nodo J. *Pág. 69.*

Figura 7.6 Detalle de la armadura unión en unos de los extremos ver figura 7.4 nodo A. con perno de 3/8 y tuerca. *Pág. 70.*

Figura 7.7 Detalle de la armadura unión en unos de los extremos ver figura 7.4 nodo k. con perno de 3/8 y tuerca. *Pág. 70.*

Figura A.1 Máquina utilizada para realizar los ensayos de compresión paralela a la fibra este equipo de marca HOYTOM Leíoa modelo DI-CP/V2 con capacidad máxima de carga de 600 KN. *Pág. 76.*

Figura A.2 Vernier Capacidad de medir dimensiones físicas de la probeta con aproximación de 0.1mm. 0.1 mm. *Pág. 77*

Figura A.3 Mordazas que impida el deslizamiento de las probetas. *Pág. 77.*

Figura A.4 Extraída de las normas de INBAR. Dispositivo para Transmisión de carga. *Pág. 69.*

Figura A.5 Dispositivo de ensayo tensión perpendicular a la fibra. *Pág. 79.*

Figura A.6 Resistencia a la tracción perpendicular a la fibra. *Pág. 79.*

Figura A.7 Mordazas con ranura para varilla de media. Tomada de los laboratorios de ensaye a tracción perpendicular a la fibra. *Pág. 70.*

Figura A.8 Máquina utilizada para realizar los ensayos de compresión paralela a la fibra. *Pág. 80.*

Figura A.9 Máquina utilizada para realizar los ensayos de compresión paralela a la fibra este equipo. *Pág. 81.*

Figura A.10 Estos son los dispositivos de ensayos para la realización de corte paralelos a la fibra. *Pág. 81.*

Figura A.11 Dispositivo de ensaye para determinar el cortante paralelo a la fibra con una vista en 3D. *Pág. 82*

Figura B.1 Grafica esfuerzo Vs deformación muestra 1 ensaye a compresión para la determinación del módulo de elasticidad. *Pág. 84.*

Figura B.2 Grafica esfuerzo Vs deformación muestra 2 ensaye a compresión para la determinación del módulo de elasticidad. *Pág. 85.*

Figura B.3 Grafica esfuerzo Vs deformación muestra 3 ensaye a compresión para la determinación del módulo de elasticidad. *Pág. 87.*

Figura B.4 Grafica esfuerzo Vs deformación muestra 4 ensaye a compresión para la determinación del módulo de elasticidad. *Pág. 88.*

Figura B.5 Grafica esfuerzo Vs deformación muestra 5 ensaye a compresión para la determinación del módulo de elasticidad. *Pág. 90.*

Figura D.1. Ubicación de lugares en los que se puede encontrar bambú Nicaragua. (Imagen recuperada de <http://edatel.com.ni/nicaragua.html>). *Pág. 95.*

INDICE DE TABLAS

Tabla 4.1 Factores de reducción de carga. Obtenido manual de diseño de grupo andino. *Pág. 35.*

Tabla 6.1 Esfuerzos últimos a tracción perpendicular calculados según ensaye de laboratorios. *Pág.50.*

Tabla 6.2 Esfuerzo últimos y módulos de elasticidad calculados según ensaye a tracción paralela. *Pág. 51.*

Tabla 6.3 Esfuerzo últimos y módulos de elasticidad calculados según ensaye a compresión. *Pág. 52.*

Tabla 6.4 Esfuerzos últimos a cortante calculados según ensaye de laboratorio. *Pág.54.*

Tabla 6.5 Parámetros de resistencia de la guadua angustifolia Esfuerzos admisibles para el Guadua Angustifolia tabla obtenida (Prieto, 2011) *Pág. 55.*

Tabla 6.6 Esfuerzos admisibles del bambú Guadua Amplexifolia obtenidos en los laboratorios. *Pág. 55.*

Tabla 6.7 Valores del módulo de elasticidad obtenidos de las gráficas esfuerzo Vs deformación unitaria del ensayé de compresión ver anexos B. *Pág. 56.*

Tabla 6.8 Modulo de la elasticidad determinado a partir de la gráfica esfuerzo vs deformación calculada en los ensayes de tracción paralelo a la fibra. *Pág. 58.*

Tabla 6.9 Valores obtenidos del reglamento nacional de la construcción para maderas comunes, los valores del guadua *Angustifolia* fueron obtenidos, Prieto, R. (2011). Diseño y construcción con bambú. Perú: lima. Asociación publicadora interamericana. Y los de *Guadua Amplexifolia* los valores que obtuvimos al realizar los diferentes laboratorios. *Pág. 60.*

Tabla 6.10 comparación de la madera y el bambú. *Pág. 61.*

Tabla B.1 Datos recolectados muestra 1. *Pág. 83.*

Tabla B.2 Resultados muestra 1. *Pág. 83.*

Tabla B.3 Datos recolectados muestra 2. *Pág. 84.*

Tabla B.4 Resultados muestra 2. *Pág. 85.*

Tabla B.5 Datos recolectados muestra 3. *Pág. 86.*

Tabla B.6 Resultados muestra 3. *Pág. 86.*

Tabla B.7 Datos recolectados muestra 4. *Pág. 87.*

Tabla B.8 Resultados muestra 4. *Pág. 88.*

Tabla B.9 Datos recolectados muestra 5. *Pág.89.*

Tabla B.10 Resultados muestra 5. *Pág. 89.*

Tabla B.11 Resultados de compresión y módulo de elasticidad obtenido en el ensaye a compresión. *Pág. 90.*

Tabla C.1 Resultados de humedad de muestras de ensaye a compresión. *Pág. 93.*

Tabla C.2 Resultados de humedad de muestras de ensaye a cortante. *Pág. 93.*

TablaC.3 Resultados de humedad de muestras de ensaye a tracción perpendicular a la fibra. *Pág. 93.*

Tabla C.4 Resultados de humedad de muestras de ensaye a tracción paralela a la fibra. *Pág. 94.*

1. INTRODUCCION

Por los grandes avances y desarrollos de la tecnología a nivel mundial, en la actualidad existe una amplia variedad de sistemas constructivos, así como materiales de construcción, que son usados para satisfacer las demandas de la infraestructura del mundo moderno. En la actualidad los materiales de construcción hechos a base de concreto y acero son quizás los más utilizados por su confiabilidad y durabilidad. La mayoría de estructuras tales como edificios, puentes, presas y puertos son construidas de estos materiales los cuales satisfacen eficientemente la gran demanda de cargas que impone su uso. Sin embargo, la implementación de estos materiales para uso habitacional a menudo representan una gran inversión debido a los altos costos que normalmente implican, lo que sin duda representa una limitante principalmente en países en vías de desarrollo.

En general los materiales con altos costos son pocos viables para países con bajos estándares de vida, lo que hace necesario buscar nuevas alternativas más económicas e igualmente efectivas. Actualmente en muchos países de Latinoamérica se ha comenzado a incorporar el bambú como una alternativa para ser empleada en la construcción; esto debido al potencial que estos presenta para soportar cargas (Martin, 2004).

Una de las especies de bambú más usadas para propósitos constructivos, es el bambú *Guadua*; el cual es una especie que se encuentra en los países asiáticos tales como, China, Japón, Corea, de manera similar en Latinoamérica, la Republica de Colombia y dentro de Centro América como Costa Rica, Panamá y en Nicaragua. Este tipo de bambú *Guadua* se presenta en tres variedades: *Dentrogalamos*, *Angustifolia* y *Aculatada* o *Amplexifolia* las cuales presentan características muy similares (McClure, 1966). La *Guadua* es una especie de vegetal compuesto de fibras naturales, tiene forma de cilindro su interior es hueco y está compuesto de nudos lo cual incrementa su resistencia. El bambú *Guadua*

puede alcanzar hasta 30 m de altura y su diámetro esta entre los 5 cm a 30 cm, esta especie de bambú crece en climas tropicales o templados y suelos arcillosos (Martin, 2004). Este material en particular ha sido usado en la construcción de viviendas en países de Latinoamérica como Perú, Colombia mostrando así muy buenos resultados (McClure, 1966).

En Nicaragua se ha trabajado con bambú para la construcción de viviendas sencillas de tipo habitacional, sin embargo; su uso no está establecido formalmente como material de construcción por el código de construcción vigente (RNC-07). Así mismo considerando que en nuestro país su uso es más de forma artesanal, no existe una documentación; ni registró acerca del bambú en cuanto a la variedad de especies, zonas de cultivo o características de resistencia.

Por lo antes mencionado en este trabajo se pretende determinar algunas de las características de capacidad resistente mecánica más importantes del bambú *Guadua Amplexifolia* con el fin de generar datos que puedan ser usados para propósitos constructivos, y que pueda ser de referencia como material para la construcción por el código de construcción (RNC-07), el cual puede representar una alternativa viable y económica. Los resultados obtenidos serán utilizados en el diseño de las vigas y armadura de un puente peatonal.

Este trabajo se enfocara principalmente en el estudio de la especie *Guadua* del tipo *Amplexifolia* que es el Bambú nativo de Nicaragua, a través de ensayos o experimentos de laboratorios. Se determinara la capacidad resistente mecánica al cortante perpendicular a la fibra, capacidad resistente a compresión, y capacidad resistente a traccion perpendicular y paralelo a la fibra. Debido a las limitaciones para realizar algunos de los ensayos de laboratorio se construirán dispositivos o piezas que se adaptaran previamente a las máquinas de ensaye, para realizar los ensayos de cortante y traccion perpendicular a la fibra dichos dispositivos son los que se encargaran de ejercer la carga axial a las muestras. Los ensayos de laboratorio y las especificaciones de los dispositivos de ensayos se realizaran

tomando en cuenta las normas INBAR. (Internacional Network for Bamboo and Rattan 1997). INBAR, es una organización inter gubernamental independiente establecida en 1997, para desarrollar y promover soluciones innovadoras a la pobreza y la sostenibilidad del medio ambiente con el uso del Bambú y el Ratán. INBAR está compuesto por países europeos, asiáticos y algunos países Latinoamericanos. Esta asociación se encarga del estudio de todas las especies de bambú existentes, además ayuda a fomentar el desarrollo y adopción de mejores políticas comerciales, recopilación, difusión de datos estadísticos (por ejemplo, en el comercio, los recursos), la elaboración de normas y códigos de producto.

1.1 JUSTIFICACION.

En muchos países de América Latina y Asia, el bambú *Guadua* es ampliamente usado como material de construcción. Una de las ventajas de este material es su bajo peso lo cual resulta ventajoso en zonas propensas a terremotos, ya que las fuerzas inerciales que actúan como cargas naturales en la estructura, son notablemente reducidas, pero quizás la mayor ventaja radica especialmente en sus fibras y su forma tubular lo hacen muy resistente a fuerzas axiales. El rápido crecimiento de este lo hace económicamente muy competitivo y sobresale entre otras especies de su género en tan solo 6 meses alcanza su máxima altura. Así mismo las propiedades estructurales de sus tallos, tales como la relación peso-resistencia similar o superior a algunas maderas, siendo incluso comparado con el acero y con algunas fibras de alta tecnología (Martin, 2004).

Nicaragua por su condición de país en vías de desarrollo la mayoría de sus habitantes no tienen ingresos económicos suficientes para invertir en la construcción de viviendas de calidad, eficiencia y seguridad, por lo cual es necesario buscar alternativas más económicas, que garanticen el bienestar de la población.

Tomando en cuenta lo planteado anteriormente, es que se pretende determinar la capacidad resistente mecánica de este material a través de ensayos de laboratorio y así establecer parámetros de resistencia que puedan ser usados en el diseño de viviendas. Así mismo estos resultados pueden servir de base para futuras investigaciones y se pueda incorporar en Nicaragua como un material apto para la construcción y no solo utilizar este material como materia prima para artesanía, sino también en el campo de la construcción como elemento estructural.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Para la construcción de una vivienda que cumpla con todas las especificaciones mínimas de seguridad, normalmente requiere el uso de materiales de buena calidad. Esto sin embargo, normalmente incurre en altos costos, lo que para una familia promedio Nicaragüense resulta difícil de costear. Para reducir los costos de construcción requiere buscar nuevas alternativas que sean económicas e igualmente eficientes. Por tal razón en el presente trabajo se propone el bambú *Guadua Amplexifolia* como material de construcción, para lo cual se analizarán sus características de resistencia a partir de los diferentes tipos de ensayos; estos análisis permitirán establecer parámetros de resistencia mecánica para ser utilizados en diseños estructurales con bambú.

1.3. ANTECEDENTES.

En la actualidad la construcción con *Guadua* se ha hecho muy popular en Colombia, pues se pueden encontrar variedad de construcciones, por ejemplo se puede encontrar en la Universidad La gran Colombia en Armenia su Facultad de Arquitectura, construida casi en su totalidad en *Guadua*, se puede encontrar el puente peatonal de la Universidad Tecnológica de Pereira UTP, se puede observar en Bogotá (Cundinamarca) el puente peatonal de mayor luz hecho en este material (ver figura 1.3) y se cuenta también con el nuevo edificio de la Corporación Autónoma Regional de Risaralda CARDER entre otras urbanizaciones, Kioscos, Coliseos y puentes en los departamentos de Quindío, Caldas, Risaralda y Cundinamarca.

El bambú anteriormente se ha pretendido incluir como material de construcción por las múltiples ventajas que este ofrece, es por ello que se han realizado diferentes estudios acerca de su resistencia mecánica al someterlo a las diferentes cargas.

Entre los estudios que se han hecho, se encuentran los del *Guadua Angustifolia* donde se obtuvieron los valores últimos de los esfuerzos a tensión y cizalladura. Los resultados estadísticos mostraron valores promedios a Tensión y cizalladura de 19,70 MPa (194,92 kgf/cm²) y 5,57 MPa (56,84 kgf/cm²), respectivamente, indicando que el material como elemento de ingeniería presenta una alta resistencia en dirección paralela a la orientación de las fibras. (Prieto, 2011).



Figura 1.3 *Puente de Bambú construido en Bogotá (Cundinamarca), se caracteriza por poseer el mayor claro. (Óscar. 1978. Nuevas técnicas de construcción con bambú.).*

1.4. LIMITACIONES

Para la realización de este trabajo se han identificado las siguientes limitaciones:

- a) Falta de documentación existente a investigaciones realizadas con bambú en Nicaragua.
- b) Falta de control y registro de explotación del bambú en cuanto a dimensión, edad y hectáreas sembradas así como las zonas de cultivo.
- c) Falta de información en lo referente a métodos de curados del bambú en nuestro país. No existe una base de datos ni documentación en cuanto a la resistencia del bambú y en cuanto a las especies existentes en Nicaragua, por lo que las construcciones de bambú existentes se realizan de forma empírica o con parámetros de estudios realizados en otros países.
- d) Dificultad de realizar ensaye de torsión, y flexión debido a la falta de equipos y dispositivos, ya que no se cuenta con la maquinaria adecuada para realizar los ensayes.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar las características de resistencia mecánica y módulo de elasticidad del bambú *Guadua Amplexifolia*, nativo de Nicaragua, para usos constructivos.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Fabricar dispositivos de ensayos de acuerdo a las especificaciones establecidas en las normas INBAR, Para realizar los ensayos de laboratorio de cortante y tracción paralela a la fibra.
- Establecer parámetros de resistencia mecánica del bambú *Guadua Amplexifolia* a cortante, compresión, tracción paralelo a fibra y tracción perpendicular a la fibra
- Determinar el módulo de elasticidad del bambú *Guadua Amplexifolia*, por medio de la curva esfuerzo-deformación calculadas según las pruebas a compresión y tracción perpendicular a la fibra.
- Realizar una comparación entre los valores de resistencia mecánica de la *Guadua Amplexifolia*, con respecto a las maderas establecidas en el Reglamento Nacional de Construcción y la *Guadua Angustifolia*.
- Aplicar los parámetros de resistencia mecánica del bambú *Guadua Amplexifolia* encontrados en el diseño de las vigas y armadura de un puente peatonal.

3. MADERA Y BAMBÚ COMO MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.

3.1. Madera

La madera es un material anisotrópico, es decir, presenta propiedades mecánicas diferentes en distintas direcciones. El comportamiento bajo cargas de un elemento de madera es distinto del que tendría un elemento de materiales homogéneos e isotrópicos. Para fines de ingeniería sin embargo, la madera puede ser tratada como un material ortotrópico, con direcciones y características definidas por la orientación de las fibras y más aún al analizar elementos lineales, tales como vigas o columnas, puede considerarse al material como si fuera homogéneo o isotrópico.(Grupo Andino, 1974).Hay una gran variedad de madera las cuales son utilizadas en la construcción tales como, Pochote, Pino, Cedro Real, Cedro Macho, Genízaro, Guanacaste, Guayabo, Laurel Hembra, Laurel Macho, Caoba, Roble, Almendro, Guapinol, Níspero, Guayacán Y Quebracho.(RNC, 2007).

3.2. Madera Como material de construcción.

La madera es el único material con que puede construirse íntegramente una vivienda. Cabe destacar que con el desarrollo de los materiales complementarios hay buena cantidad de componentes de la misma que resultan más económicos fabricados de otros materiales.

Dentro de viviendas livianas a base de madera deben de conocerse que hay dos categorías de material. Primero, todo aquel material que es empleado con fines resistentes, principalmente el uso para entramados de muros, techos. Pisos elevados, columnas que constituyen la estructura de la edificación. Segundo, se encuentra el material usado para revestimiento, puertas, ventanas, muebles que no está destinado a resistir cargas importantes, los requisitos para la madera de estas categorías son por consiguientes diferentes. Madera estructural o madera de

construcción estructural a la primera y Madera no estructural o madera de construcción no estructural a la segunda. (Grupo Andino, 1974) Los materiales de construcción como la madera presentan características de resistencia mecánica tales como: resistencia a rotura, cortante, flexión y dureza.

3.2.1 Resistencia a rotura (*tracción, compresión*).

La resistencia a rotura de un material es la oposición que presenta el material a ser roto por la acción de esfuerzos mecánicos exteriores. (Aguilera, 2003).

3.2.2 Resistencia a cortante.

A ambos lados de una sección tenemos esfuerzos que actúan con sentido contrario. Los materiales se mantienen unidos (partículas) a través de las fuerzas de cohesión. Estas son paralelas a la superficie. Se considera un elemento de área unidad tenemos unas fuerzas interiores derivadas de la cohesión, la resultante es la tensión cortante. La resistencia a cortadura del material viene definida por la máxima tensión constante que puede soportar el material. (Ver figura. 3.1 y 3.2). (Aguilera, 2003).

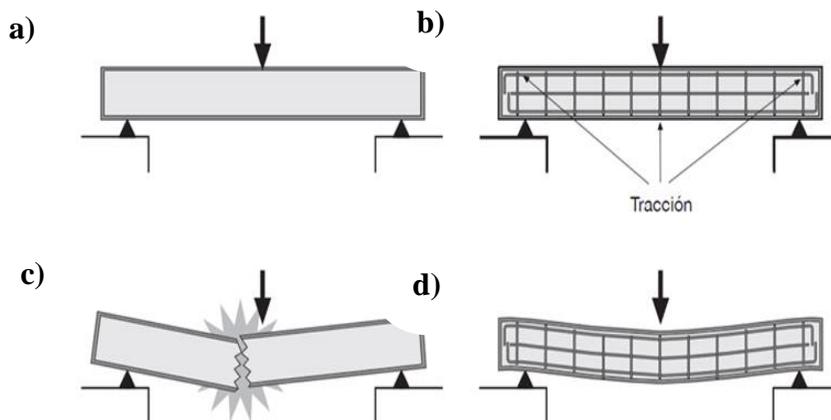


Figura 3.1 a) viga sin armadura simplemente apoyada que soporta una carga puntual, c) viga simplemente apoyada que cedió al ser sometida a una carga puntual, b) viga simplemente apoyada que soporta una carga a flexión, d) viga con armadura muestra la manera en que falla. (Luis, A. (2003). *Propiedades mecánicas de los materiales*).

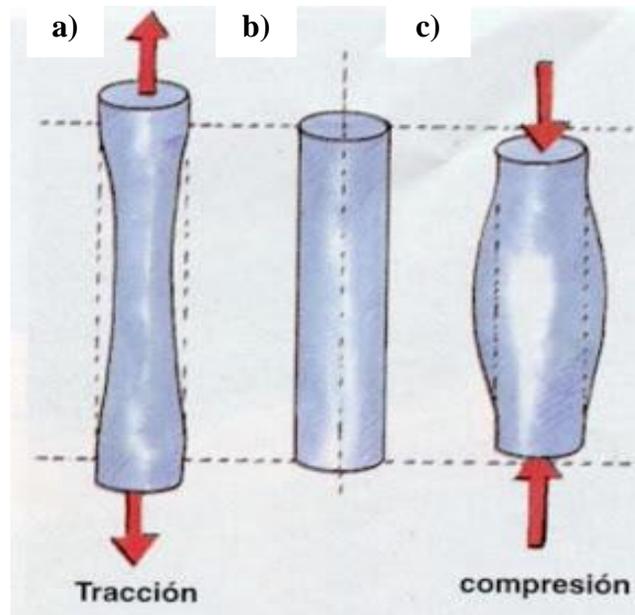


Figura 3.2 a) Cilindro de concreto sometido a flexión, b) cilindro en su estado normal sin ninguna carga, c) cilindro sometido a compresión. (Luis, A. 2003. *Propiedades mecánicas de los materiales*).

3.2.3 Resistencia a flexión.

En una sección del material se introducen unos esfuerzos de tracción que alargan la fibra del material y en otra sección de la pieza se introducen unos esfuerzos de compresiones. En la parte de la tracción se produce un alargamiento mientras que en la parte de la compresión se produce un acortamiento. En la parte media está la fibra neutra que ni se alarga ni se acorta. En consecuencia, cuando supera la capacidad de cohesión se produce la ruptura del material. (Aguilera, 2003).

3.2.4 Dureza.

Es la capacidad que tiene un material para oponerse a ser deformado en su superficie por la acción física de otro. Depende de las características del material

(átomos, moléculas). La dureza es mayor cuando mayores son las fuerzas de cohesión de los átomos. (Aguilera, 2003).

3.3. Bambú *Guadua*.

El bambú, también conocido como ``Pasto Gigante`` se encuentra clasificada dentro de la familia Bambusoideae; perteneciente a las Gramíneas (posee entre 800 y 1000 especies dentro de 80 a 90 géneros) (Martin, 2004).

El género *Guadua* se considera el bambú más grande en cuanto a longitud y diámetro, es una de las muchas especies del bambú. Su diámetro exterior tiene un promedio de 15 cm y un diámetro interior entre 8 cm a 10 cm. La *Guadua* alcanza en sólo 6 meses a una altura hasta 12 m y obtiene su madurez después de los 3 años. Éste crece en climas tropicales y templados; económicamente el más significativo de América Latina, donde crecen ocupando áreas aledañas a ríos y quebradas, también se encuentra en los valles entre montañas formando los Guadales (ver figura 3.3).



Figura 3.3 Área de cultivo del Bambú *Guadua Amplexifolia* en estudio, obtenida del Centro Experimental el Recreo (La Esperanza- Rama).

3.4 Morfología de la Guadua

Los bambúes son plantas con una gran diversidad morfológica; hay de pocos centímetros y tallos herbáceos hasta bambúes de 30 metros de altura y tallos leñosos. Debido a su naturaleza especializada y a su floración infrecuente, se le ha dado mucha importancia a estructuras morfológicas tales como rizoma, culmo, yema, complemento de rama, hoja caulinar y follaje (Blanco, A. 2000).A continuación se describe cada una de estas estructuras.

Rizoma: Es un tallo modificado, subterráneo, que conforma el soporte de la planta. Es el lugar por donde la guadua absorbe los nutrientes. Se ha utilizado en estabilización de las laderas y prevención de la erosión producida por escorrentía, vientos fuertes y desmoronamiento.

Cepa: Es la parte del culmo con mayor diámetro y espesores de pared mayores; Posee una longitud de 4 metros. Las distancias de cañutos son las más cortas y en la construcción se les utiliza como columnas.

Basa: El diámetro es intermedio y la distancia entre nudos es mayor que en la cepa; es la parte del culmo de la guadua que más se utiliza; tiene una longitud aproximada de 11 metros.

Sobre basa: El diámetro es menor y la distancia entre nudos es un poco mayor, comparado con la basa, la longitud es de aproximadamente cuatro metros.

Varillón La sección tiene un diámetro pequeño y la longitud es de unos tres metros aproximadamente.

Copa: Es la parte apical de la Guadua, con una longitud entre 1.20 a 2.00 metros.

3.5 Características de la *Guadua Amplexifolia*

La *Guadua* pertenece a la familia de las gramíneas, subfamilia Bambusoideae. Se han clasificado más de 40 géneros cerca de 450 especies. En Nicaragua se destaca por su abundancia el género “*Guadua*” y la especie “***Amplexifolia***”.

En la *Guadua Amplexifolia*, es un bambú de la familia de las Gramíneas, se caracteriza por su alto porte y tallos gruesos. Este bambú es espinoso, excepcionalmente no presenta espinas, se forma por grandes grupos de tallos, los tallos son sólidos, alcanza altura de 15 a 25 m y diámetros de 15 - 30 cm. Los tallos presentan grandes vainas de color pardo que envuelven al tallo, las vainas alcanzan hasta 25 cm de largo y 20 cm de ancho, cubiertas de pelo fino y rígido (Blanco, A. 2000). (Ver figura 3.4).



Figura 3.4 Mata de Bambú *Guadua*, de donde se extrajeron las cañas, que luego se utilizaron en los ensayos de laboratorio.

En su comienzo, el tallo se envuelve en una cáscara "peluda" para su protección que se cae después de los dos años. A medida que se aumenta la altitud, se encuentran las Guaduas más duras haciéndose más resistentes a los vientos muy fuertes de las montañas donde se encuentran; así mismo pasa cuando se encuentran con los suelos secos. (Blanco, A. 2000).

La razón del aumento de la dureza, es debido a las temperaturas por debajo de la media; y por esta razón tiene un crecimiento más lento. El tipo de suelo es indispensable para las características de la Guadua. La Guadua no crece en terrenos que posean un alto nivel freático, pero por ejemplo; en los bancos escarpados de los ríos, el complejo sistema de raíces y sus redes pueden transportar por medio de ellas la humedad a los tallos secos localizados más arriba.

3.5.1 Características mecánicas

Las características mecánicas de la Guadua son afectadas por factores tales como: el clima, suelo, ubicación, edad, tiempo de cosecha, humedad, etc. También se presentan diferencias que se distribuyen sobre la longitud principal (cepa, basa y sobre basa) y la sección transversal. (Oscar, H. 1978)

La densidad de las fibras es muy variable en el espesor de la guadua, también depende de la forma de aplicación de las cargas; ya sean estas en forma paralela o perpendicular a la fibra. Cada tallo de Guadua es diferente, razón por la cual no se puede estandarizar su geometría (diámetro, espesor, longitud) y su comportamiento (Oscar, H. 1978).

Teniendo en cuenta que las características mecánicas de la Guadua dependen de las especies botánicas, su localización, la edad del tallo cosechada, su contenido de agua y naturalmente del diámetro y grueso de pared (Oscar, H. 1978).

3.5.2 Características físicas

La sección transversal de la Guadua se diferencia en una zona oscura exterior de aproximadamente 30%, y una zona blanca porosa interior de 70% aproximado. Con el aumento de altura sobre el suelo, la porción de las fibras externas desasen relación con la sección transversal que es más alta; y por eso los tallos delgados se comportan mejor que los tallos gruesos en relación con la sección transversal (Martin, 2004).

La fuerza de compresión de la Guadua aumenta con la edad. Los resultados de una prueba determinaron que los bambúes de 6 años tienen una resistencia de compresión de 2,5 veces mayor que la resistencia de una guadua de un año. Las secciones de un tallo con nudos, tienen unas características mecánicas del 8% más altas que los que no tienen nudo al aplicarle cargas de compresión paralelo a las fibras (Dinwoodie, J. M 1966).

Aplicando una presión perpendicular a las fibras, los nudos absorben la fuerza hasta en un 45%; comparándolos con los que no tienen nudo. Los aspectos que influyen en la densidad de los vasos para aumentar la firmeza a la presión son, la altitud de la zona y la edad de los tallos. La firmeza a las acciones de la fuerza cortante, es más alta con los tallos delgados que con los gruesos; esto es debido a la proporción de fibras de alta resistencia por la sección transversal. Las secciones con nudos tienen una firmeza a las fuerzas cortante 50% más alta que las intersecciones (Dinwoodie, J. M 1966).

3.6. Bambú como material de construcción.

El bambú como material de construcción posee ventajas y desventajas dentro de las ventajas están: que es de uso ligero, flexible y existe una gran variedad para la construcción; los aspectos económicos son de bajos costos ya que es de crecimiento muy rápido de 13.5 cm /día, (Dinwoodie, J. M 1966). ecológicamente

el bambú es un recurso renovable y sostenible, se utiliza como planta de reforestación, tienen una capacidad sísmica que es buena; esto debido a que es un material liviano que permite bajar el peso a la construcción y que es un factor muy importante para construcciones sismo resistentes.

Dentro de las desventaja se encuentran: la estabilidad es de baja a mediana esto debido a que las resistencias perpendiculares a las fibras cortantes es muy baja lo que significa que el bambú tiene tendencia a rajarse fácilmente perpendicular a la fibra; el interior del bambú es hueco o vacío este coge fácilmente o propenso al fuego; la capacidad requerida tiene que ser de mano de obra tradicional para construcciones de bambú; su capacidad de resistencia a huracanes es baja; la capacidad de resistencia a las lluvias son bajas, la resistencia a los insectos es baja, para que esta resistencia contra los insectos sea más alta se debe pasar el bambú por un proceso de curado (Martin, 2004).

3.7. Bambú *Guadua* en Nicaragua

En la actualidad, existe muy poca documentación publicada acerca del bambú en Nicaragua; aunque se trabaja con el bambú de forma artesanal y en pequeñas edificaciones se hace de manera empírica, por lo tanto no se sigue ningún tipo de reglamento; tampoco hay registros de parámetros de diseño.

Según investigaciones, entrevistas y visitas de campo realizadas en Nicaragua existen 4000 manzanas de bambú cosechadas en la Región Autónoma Atlántico Sur (RAAS), Kukra-hill en cuanto al pacifico no se cuenta con registros de zonas de cultivo en cuanto a cantidad, aunque se conoce la existencia del bambú *Amplexifolia* en esta zona del país. Se visitó el municipio EL Recreo en el Rama exactamente ubicado entre el municipio de la Esperanza y Aredo; este tiene coordenadas geográficas 84° 19' longitud oeste y los 12° 12' Latitud Norte (ver figura 3.5). Dentro de sus funciones se tiene el cultivo de viveros de cacao y de bambú *Guadua*, de la cual poseen dos especies: *Guadua* nativo (*Amplexifolia*) y

Capacidad de resistencia del bambú *Guadua Amplexifolia* para propósitos constructivos

el introducido (*Angustifolia*), por lo que para realizar los ensayos se selecciona el bambú Nativo *Guadua Amplexifolia* por su abundancia en el territorio nacional. El Centro Experimental el RECREO genera tecnologías, procesos genéticamente superior, con alta productividad, adaptables a las condiciones del medio ambiente natural del trópico húmedo de Nicaragua (ver figura 3.5).

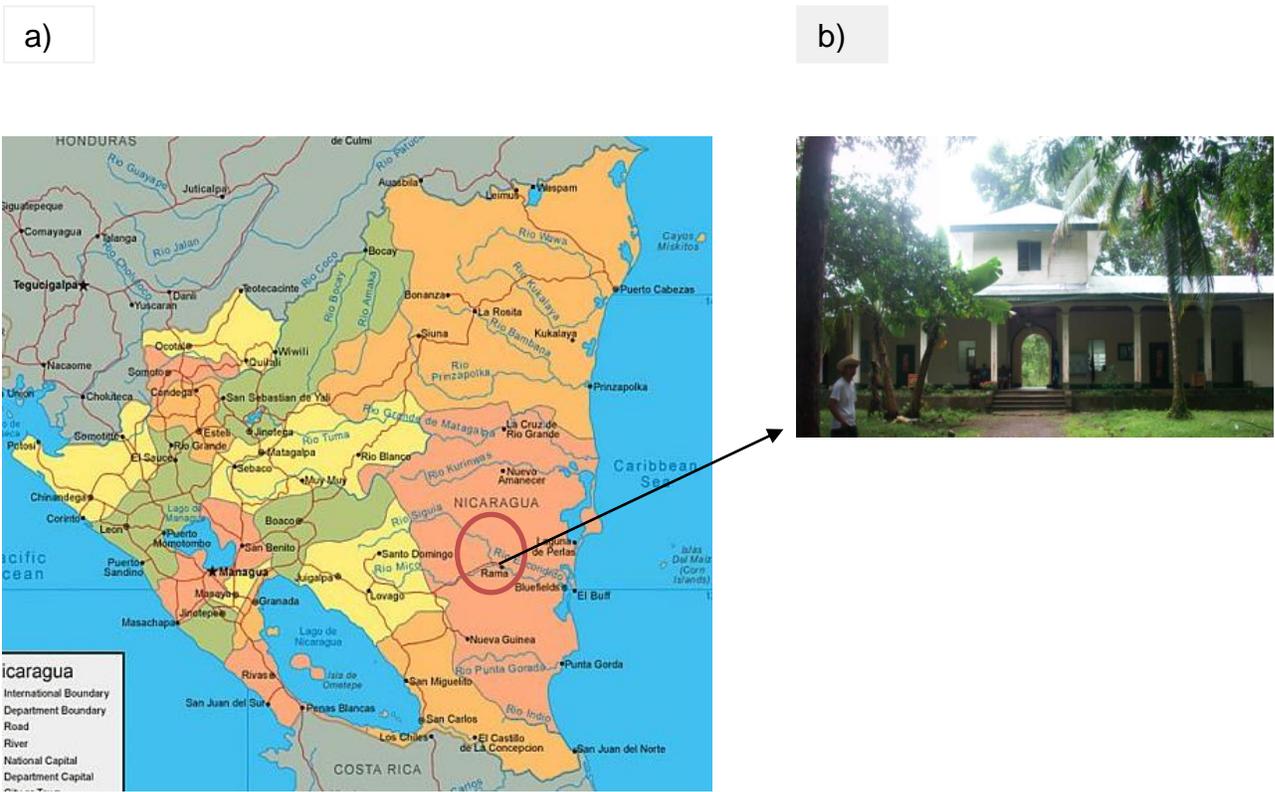


Figura 3.5 Mapa de Nicaragua, utilizado como macro localización del sitio de donde se obtuvieron las muestras utilizadas en los laboratorios. b) Centro Experimental el Recreo, ubicado en el municipio EL Recreo en el Rama exactamente ubicado entre el municipio de la Esperanza y Aredo; este tiene coordenadas geográficas 84° 19' longitud Oeste y los 12° 12' Latitud Norte. Dentro de sus funciones tenemos el cultivo de la especie de Bambú *Guadua*. Imagen recuperada de <http://es.justmaps.org/mapas/latinoamerica/nicaragua>.

La función de este centro experimental es producir y ofertar tecnologías y biotecnologías a los pequeños y medianos productores de la zona del trópico húmedo y los organismos y entidades que fomentan la diversificación de los

sistemas productivos. Incluye todo el Municipio de El Rama, Muelle de los Bueyes, El Coral, Bluefields, Kukra-Hill, Laguna de Perlas, principalmente.

El Centro Experimental El Recreo tiene unas 15 Manzanas de tierra sembradas de Bambú *Amplexifolia* las cuales las utilizan para la sostenibilidad del Centro. En Nicaragua existen 3 tipos de bambú de la especie *Guadua* los cuales son: *Dentocalamos*, *Angustifolia* y *Amplexifolia*, dentro de los cuales el *Amplexifolia* es la especie nativa.

3.8 Métodos de curado del Bambú.

El bambú *Guadua*, durante el proceso de secado o durante las construcciones es generalmente susceptible al ataque de termitas, polillas, hongos u otros tipos de plagas que pican las fibras de *Guadua*. Por tal razón es que se debe someter a un tratamiento de curado, que tiene como fin reducir o descomponer el contenido de almidón y humedad de los tallos, cuyos tratamientos de curado son combinados con procesos químicos para que los tallos de *Guadua* sean más duraderos y menos propensos al ataque de estas plagas y a la intemperie. (Brigitte, C. y Diego, M. 2004). En esta sección solo se dará a conocer los de mayor relevancia:

3.8.1. Método de ahumado

El método consiste en Ahumar la *Guadua* sobre fuego, puede llegar a ser incomedible para los insectos; para ello se utilizan sus propias ramas y hojas. Con 50 a 60 grados de temperatura ambiental y humedad variable, se ahúman los vástagos. Se intercambia entre un fuego lento y calor de la brasa, para que se dé la filtración del alquitrán en la madera de forma gaseosa. Hay que perforar las paredes del tallo, sin dejar los huecos alineados para evitar rasgaduras.

La desventaja de ese tratamiento es, que a los tallos se le adhiere las partículas de humo lo que genera un olor a humo. (Ver figura 3.6).



Figura 3.6 Elementos de bambú durante el proceso de curado al humo. (Brigitte, C y Diego, M. (2004). Procedimiento de ensayo para la determinación de las propiedades físico mecánicas de la *Guadua*).

3.8.2. Curado por inmersión en agua:

Este método consiste básicamente en sumergir los tallos recién cortados se sumergen los tallos en agua circulante por un periodo no mayor de 4 semanas fermentando y extrayendo los almidones y azúcares de la *Guadua*. Posteriormente se sacan y se dejan secar por 4 semanas a más tiempo. (Ver figura 3.7).



Figura 3.7 Manera en que se realiza el Curado por Inmersión. (Brigitte, C y Diego, M. (2004). Procedimiento de ensayo para la determinación de las propiedades físico mecánicas

3.8.3 Calentado:

Este método consiste en ubicar horizontalmente las varillas de *Guadua* calentando el tallo a 150° C por poco tiempo, la estructura de la pared tiende a cambiar, recibiendo resistencia contra los insectos. La desventaja es, que se pueden rasgar es decir se puede fracturar (ver figura 3.8).

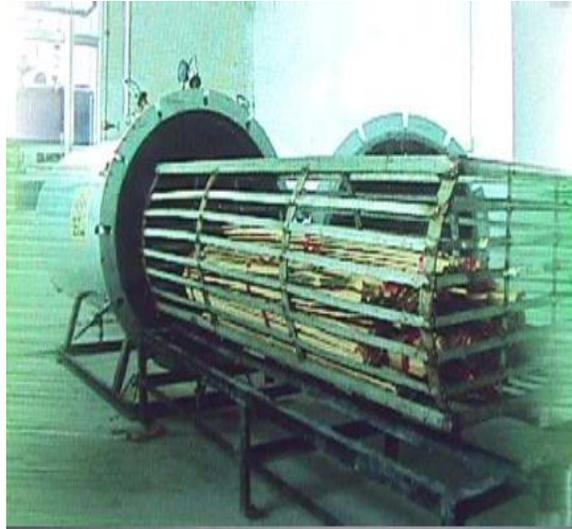


Figura 3.8 *Especímenes de bambú sometidos al Curado al Calor. (Brigitte, C y Diego, M. (2004). Procedimiento de ensayo para la determinación de las propiedades físico mecánicas de la Guadua).*

3.8.4 Inmersión en ácido bórico:

Este método se define para tratar el bambú por inmersión, los tallos deben ser perforados con una varilla de diámetro mayor de 1/2” para que atravesase todos los nudos. También existe la posibilidad de perforar los canutos individualmente con huecos menores de 1/4”, en forma alternada o de zig – zag para vaciar bien el canuto. Se colocan horizontalmente o verticalmente dentro de un tanque con preservativo compuesto por bórax y ácido bórico al 4 o 5%, por un tiempo no menor de 12 horas. Si no se dispone de tanques, en su lugar puede hacerse una excavación y recubrirse con un plástico. Una vez retiradas del tanque es necesario dejarlas secar muy bien bajo cubierta ventilada y aireada.

3.8.5 Protección con resinas y aceites:

Para proteger las guaduas contra el sol es común aplicarles pinturas de colores o barnices transparentes; contra la humedad se recomiendan las pinturas de aceite, si son guaduas que van a permanecer expuestas a la intemperie o enterradas es recomendable hacerles un recubrimiento con asfalto líquido.

3.8.6 Insecticidas:

Este tratamiento de curado es Impregnaciones contra insectos, este método es inecológico y anti sanitario, como son el keroseno, DDT, BHC, PCP, gasóleo con DDT, barniz, naftalina, formalina, fosfatos, etc., son muy utilizadas desafortunadamente, en especial con la artesanía y fabricación de muebles.

3.8.7 Inmersión en bórax con sipermetrina:

Este tratamiento consiste en cortar el tallo de Guadua y se pone a secar de forma vertical bajo sombra pero con buena ventilación por un periodo de 1 mes.



Figura 3.9 *Especímenes de bambú sumergidos en bórax con cipermetrina, curado con ácido bórax y cipermetrina (Brigitte, C y Diego, M. (2004). Procedimiento de ensayo para la determinación de las propiedades físico mecánicas de la Guadua).*

Posteriormente se hace una pila con dimensiones de 1m de ancho por un metro de profundidad es largo de 7 metros y se le agrega 200lts de agua 1 kilo de bórax y 30 onzas de cipermetrina se deposita el bambú en la pila y se deja por 24 horas después se retira y se deja secando por 1mes este método es bastante dilatado pero bastante efectivo para inmunizar el Guadua (ver figura 3.9).

El bórax es un veneno contra los insectos. Su efecto es de tipo físico, los cristales en forma de estrellas destruyen el estómago del insecto. Para inmunizar los tallos ya preparados hay varias posibilidades. Con frecuencia se usa piscina para sumergir los tallos. Es importante que se encuentren sumergidos en su totalidad y para ello se utiliza la ayuda de peso adicional. La guadua absorbe la sustancia de bórax y sipermetrina por osmosis a las células. Después de aguar los tallos, son de dos a tres veces más pesados que antes y para usarlos en la construcción es necesario volver a secarlos.

4. METODO PARA EVALUACION DE CAPACIDAD DE RESISTENCIA MECANICA.

4.1. Tipos de ensayos para determinar la capacidad resistente del Bambú Guadua.

Los ensayos se realizaron tomando en cuenta las normas INBAR 1997, y los procedimientos de dichos ensayos se redactaron de acuerdo a las maquinas empleadas para realizar los ensayos laboratorios.

Existen diferentes tipos de ensayos para determinar la resistencia del Bambú, con lo cual se puede conocer la manera en que se comporta cuando este se somete a las diferentes acciones de carga. Con la realización de dichos ensayos se obtienen una serie de datos que permiten determinar las características de resistencia, tales resultados son utilizados como material o elemento estructural en una edificación u otro tipo de obra civil (INBAR, 1997). Para el siguiente estudio se realizaron los siguientes ensayos:

- a. Resistencia a la tensión.
 - a.1 Tracción perpendicular a la fibra.
 - a.2 Tracción paralela a la fibra.
- b. Resistencia a la compresión.
- c. Resistencia al cortante perpendicular a la fibra.

Entre los equipos a utilizar el equipo principal para la elaboración de los diferentes tipos de ensayos es la Maquina Universal marca HOYTOM Leíoa modelo DI-CP/V2 con capacidad de 600KN en ella se pueden realizar ensayos de tensión y compresión. Maquina diseñada especialmente para realizar ensayos de tracción perpendicular a la fibra y tracción paralela a la fibra.



Figura 4.1 Máquina utilizada para realizar los ensayos de compresión paralela a la fibra este equipo de marca HOYTOM Leíoa modelo DI-CP/V2 con capacidad máxima de carga de 600 KN se encuentra localizada en los laboratorios de ingeniería del recinto de la UNAN-RURMA, perteneciente a la UNAN-MANAGUA.

4.1.1. Resistencia a la tensión

Esta prueba de ensayo permite conocer las características de un material cuando se somete a un esfuerzo de tracción. Cuando sobre un elemento actúa una fuerza externa perpendicular a su sección transversal, el efecto que produce es un alargamiento longitudinal al que se le asocia una disminución en la sección transversal (Brigitte, C y Diego, M. 2004).

El término ensayo a tensión usualmente se usa para referirse a ensayo en el cual una probeta preparada es sometida a una carga mono-axial gradualmente creciente (es decir, estática) hasta que ocurra la falla. En un ensayo de tensión simple, la operación se realiza sujetando los extremos opuestos de la pieza de

material y separándolos. En un ensayo de tensión la probeta se alarga en una dirección paralela a la carga aplicada. Dentro de los límites de la practicabilidad, la resultante de la carga se hace coincidiendo con el eje longitudinal de la probeta (López y Silva, 2000).

Debido a que la Guadua no es un material homogéneo, no se puede hablar de esfuerzo normal uniforme en los ensayos de tracción, además la aplicación de las cargas sobre los centroides de las secciones no es exacta, aunque esto último se podría depreciar. Mas sin embargo, si se puede calcular el esfuerzo normal medio en una pieza prismática. (López y Silva, 2000).

La guadua se comporta elásticamente (por lo menos con una aplicación leve de carga). Este material, como en muchos otros, se puede aplicar la Ley de Hooke, en donde inicialmente se comportan elásticamente y se presenta una relación lineal entre el esfuerzo y la deformación (López y Silva, 2000).

El ensaye de tensión se divide en 2 ensayes, uno es el ensaye a tracción paralelo a la fibra y el otro ensaye perpendicular a la fibra; estos ensayes consisten en aplicar unas cargas axiales a tracción a una velocidad de carga prescrita hasta que se presente la falla. La resistencia a tracción del espécimen se determina al dividir la carga máxima aplicada entre el área del elemento, y con las cargas ultimas los esfuerzos últimos a tracción. El módulo de elasticidad se obtiene a partir de la pendiente de las gráficas de esfuerzo deformación entre (un 20%-80% de la carga (López y Silva, 2000).

4.1.1.1. Tracción paralela a la fibra.

Las probetas normalmente empleadas para la determinación de la resistencia a la tracción han tratado de imitar las pruebas realizadas en la madera. Láminas de Guadua simulando la forma de corbatín que recomienda las normas COPANT 1956; han sido las probetas más utilizadas en ensayes de determinación de

resistencia a tracción, pero la forma de corbatín se rompe en el ensanchamiento por cortante paralelo a la fibra. Por tal razón se decide fabricar láminas de *Guadua* de un ancho constante (cercano a 2.2 cm.).

Para garantizar la falla por tracción se recomienda que la probeta posea nudo en el centro. La probeta se debe ensayar por lo menos con un nudo debido a que la resistencia es menor. Las fibras no tienen continuidad en estos puntos y algunas fibras continúan longitudinalmente a lo largo del culmo mientras que otras pasan a constituir parte de los nudos también conocidos como canutos. Se recomienda que las probetas sean limpiadas de líquenes y cualquier otro material que puedan contribuir a un posible deslizamiento.

Para calcular el módulo de elasticidad a tracción de la *Guadua* se puede utilizar un extensómetro (el mismo que se utiliza para pruebas en varillas de acero) encontrando muy buenos resultados. La longitud de la probeta se tomó igual a 50 cm., para ser montada en la máquina con comodidad y colocar el extensómetro (en la parte media), alejado de los extremos (Brigitte, C y Diego, M. (2004). Cabe señalar que en la maquinas universales modernas no hay necesidad de incluir el extensómetro en este ensaye porque calcula de manera directa el módulo de elasticidad del material que se está ensayando.

Para el cálculo de los resultados de este ensaye se utilizaran las siguientes formulas aunque si la máquina de ensaye es electrónica no de uso manual se obtendrán los resultados de manera directa. Según las siguientes ecuaciones.

$$\sigma = \frac{F}{A} \text{ Kg/cm}^2$$

(4.1)

Dónde:

σ = Esfuerzo de traccion ultimo.

F = Carga maxima a que el especimen falla Kg.

A = Área de la sección transversal.

4.1.1.2. Tracción perpendicular la fibra.

Es importante recordar que las estructuras en *Guadua* fallan muchas veces por este fenómeno, por lo que se intentó montar un ensayo que estuviera en capacidad de generar este tipo de falla.

La *Guadua* se caracteriza por su forma circular, que en un alto porcentaje de su sección se aproxima a una circunferencia. Gracias a ello, se fabricaron dispositivos de ensayos (ver figura A.5 y A.6), que fueran capaces de ejercer la carga axial sobre el cilindro de bambú y de esta forma se fabricaron semicilindros en madera de diferentes radios que logran transmitir la carga aproximadamente en toda la superficie interna de una probeta circular (ver figura 5.17).

Este ensayo tiene como objetivo determinar la tracción perpendicular a la fibra de especímenes de *Guadua*.

El ensayo consiste en aplicar una carga de tensión perpendicular al eje de los cilindros, a una velocidad de carga prescrita hasta que se presente la falla. La resistencia a la tracción del espécimen se determina dividiendo la carga aplicada durante el ensayo por la sección transversal de falla.

Para el cálculo de los resultados de este ensayo se utilizarán las siguientes formulas aunque si la máquina de ensayo es electrónica no de uso manual se obtendrán los resultados de manera directa.

Formulas a utilizar

$$\sigma = \frac{F}{2.e.L} \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$$

(4.2)

Dónde:

σ = Esfuerzo de traccion ultimo.

F = Carga maxima a que el especimen falla Kg.

e = Espesor promedio (cm).

L = longitud promedio del elemento (cm).

4.1.2. Resistencia a la compresión paralela a la fibra.

Este ensaye permite determinar la resistencia de un material o su deformación ante un esfuerzo de compresión. Este ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a los especímenes a una velocidad de carga prescrita, hasta que se presente la falla. La resistencia a la compresión del espécimen se determina dividiendo la carga aplicada durante el ensayo por la sección transversal del espécimen. El módulo de elasticidad será calculado según la gráfica esfuerzo-deformación unitaria, donde se calculara la pendiente de dicha grafica que será igual al módulo de elasticidad, la pendiente se calculara según aquellos puntos donde reflejen proporcionalidad y sobre los cuales se ajustan por regresión lineal una recta. El esfuerzo máximo para calcular el límite de proporcionalidad se tomara el 55% del esfuerzo último. (Dinwoodie, J. M. 1996).

Para el desarrollo de este proyecto se ensayaron probetas cilíndricas de altura igual a una y dos veces el diámetro promedio exterior (con y sin nudo en la mitad).

En caso de utilizar los anillos de soporte para el Deformimetro (collarines) se recomienda utilizar cilindros con altura aproximadamente igual a dos veces su diámetro exterior, por comodidad de manejo.

En el proceso de corte de los cilindros existe la probabilidad de generar:

- Grietas en los extremos de la probeta.
- Caras no paralelas.
- Caras no planas.

En dado caso se recomienda eliminar la muestra para el ensayo por posibilitar la falla a compresión o inducir otro tipo de falla distinta a la de compresión paralela a la fibra.

Capacidad de resistencia del bambú *Guadua Amplexifolia* para propósitos constructivos

Finalmente y de acuerdo a lo expuesto anteriormente se determinó que la probeta para el ensayo de compresión debe tener una altura igual a dos veces el diámetro externo, con y sin nudo en la mitad (Brigitte, C y Diego, M. 2004).

Módulo de Elasticidad: representa el grado de rigidez de un material y el resultado de dividir su esfuerzo unitario ente la deformación unitaria.

Para el cálculo de los resultados de este ensaye se utilizaran las siguientes formulas aunque si la máquina de ensaye es electrónica no de uso manual se obtendrán los resultados de manera directa.

- Formulas a utilizar.

$$\sigma = \left(\frac{f}{A} \right) \quad (4.3)$$

$$E: \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (4.4)$$

$$\varepsilon = \frac{\delta}{l} \quad (4.5)$$

$$A = \frac{\pi(d^2 - (d-2.e)^2)}{4} \quad (4.6)$$

Dónde:

σ = Esfuerzo de compresión último.

F = Carga máxima a la que el espécimen falla.

D = Diámetro exterior promedio (teniendo en cuenta ambos extremos de la probeta).

e = Espesor promedio. ; E=modulo elasticidad en kg/cm².

ε =deformación unitaria.

δ =deformación obtenida de los deformímetros la lectura multiplicada x 0.01mm.

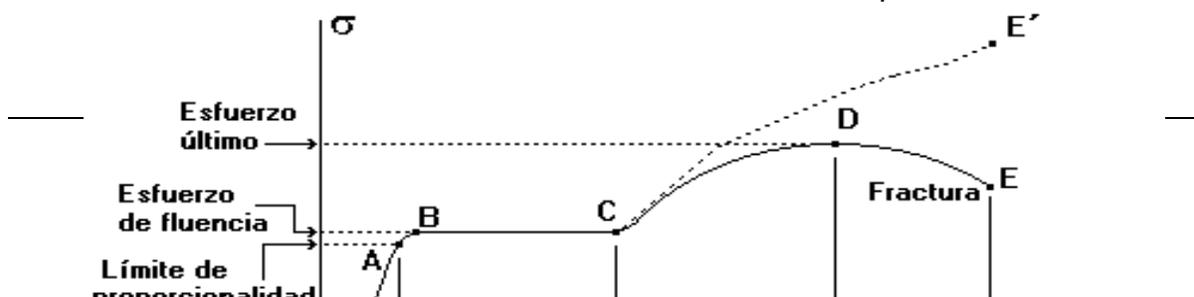


Figura 4.2 Grafica esfuerzo vs deformación unitaria muestra el comportamiento que sufre un material al ser expuesto a una carga axial en una prueba de laboratorio imagen recuperada de <http://www. /trabajos38/traccion-en-metales/traccion-en-metales.shtm>.

La máquina que se utilizara en este ensayo de compresión será:



Figura 4.3 Máquina utilizada para realizar los ensayos de compresión paralela a la fibra y cortante paralelo a la fibra este equipo con capacidad máxima de carga de 600 KN se encuentra localizada en los laboratorios de ingeniería del recinto del RUPAP perteneciente a la UNI.

4.1.3. Resistencia al cortante paralelo a la fibra.

Para el desarrollo de este ensayo simplemente se reprodujo el ensayo diseñado por la norma INBAR 1997 (Determination of physical and mechanical properties of bamboo). Salvo que en este proyecto se especifica con claridad las dimensiones del dispositivo de ensayo (ver figuras en anexos). Y su montaje (ver sección 5.3 procedimiento). (Nelson, P. y Diego, A. 2005).

Es importante tener en cuenta que el material, a pesar de que puede fallar por corte paralelo a la fibra, podría estar sometido al mismo tiempo a compresión, dando como resultado un valor erróneo de resistencia al corte debido a que no siempre se garantiza la verticalidad de la fibra. Por lo cual se debe prever que los dispositivos de carga estén correctamente colocados y con las dimensiones especificadas según lo propuesto en este trabajo. (Ver sección 5.3 procedimiento y montajes de ensayos).

Es de gran importancia la tolerancia entre las platinas en los puntos de posible traslape, se debe garantizar la tolerancia mínima de 3 mm que recomienda las normas INBAR en su capítulo 7.1. Además de lo anterior se considera finalmente que el método de ensayo será más eficiente si se asegura únicamente un plano de falla. Para el cálculo de los resultados del ensayo se utilizarán las siguientes ecuaciones, aunque la máquina de ensayo es electrónica no de uso manual se obtendrán los resultados de manera directa.

$$\tau = \frac{F}{(T.L)} \text{ kg/cm}^2$$

(4.7)

Dónde:

τ = Esfuerzo a cortante.

F = Carga máxima a la cual es espécimen falla.

T= Espesor promedio de la probeta (cm).

L = Longitud de la probeta (cm).

El ensayo para esfuerzo cortante se realizara para fracciones de tallo de longitud igual o mayor a dos veces el diámetro exterior; la mitad de las probetas se ensayaron con nudo, comprimiéndolas con un dispositivo capaz de ejercer una fuerza axial a lo largo de la fibra del bambú; cuyos dispositivos fueron fabricados (ver especificaciones de estos en anexos A.), tendrán en su centro unas platinas de forma triangular, de manera que se inducen 4 planos de corte, como se muestra en la figura 4.4.



Figura 4.4 Esquema de representación de aplicación de la carga axial en la probeta de bambú *Amplexifolia* en el ensaye a cortante perpendicular a la fibra. Por medio de los dispositivos.

4.2. Esfuerzo admisibles.

Para calcular los esfuerzos admisibles del bambú *Guadua Amplexifolia*, se utilizara el criterio empleado en el manual de diseños del grupo andino (Grupo Andino, 1974). El cual define el esfuerzo admisible como el producto del esfuerzo ultimo afectado por un factor ϕ cuyo factor se define en la ecuación 4.8. El criterio empleado en el manual de diseño del grupo andino consiste en que, el esfuerzo resistente en condiciones últimas ha sido definido como aquel corresponde al límite de exclusión del 5 % (es decir, se espera que de toda la población de dicha

especie, solo el 5 % tenga una resistencia menor que este valor). Aunque en algunos países se toman límites más bajos, el 5 % es el valor más utilizado en países con muchos años de uso de madera, ahora empleado en el uso del bambú como material de construcción y se ha considerado apropiado. (Grupo Andino, 1974).

Ordenando los resultados de los ensayos en forma creciente, el valor que define el límite de exclusión del 5 % es el ensayo número 0.05N, siendo N por lo general un número pequeño de muestras (Grupo Andino, 1974). Se ha adoptado este criterio en lugar de suponer una distribución normal y determinar probabilísticamente el 5° percentil porque representa un mejor estimado para toda la población de la *Guadua Amplexifolia* y no solo los ensayos.

Las formulas a utilizar en el cálculo de esfuerzo admisible son:

$$\phi: \frac{1}{f_s.f_{dc}}$$

(4.8)

$$\sigma: \phi \cdot \sigma_{ult}$$

(4.9)

Dónde:

fs: factor de seguridad.

fdc: factor de duración de carga.

4.2.1. Factor de servicio y seguridad fs.

Como el diseño se efectúa para condiciones de servicio los esfuerzos últimos deberán ser reproducidos también a estas condiciones por debajo del límite de proporcionalidad. Esto garantiza un comportamiento adecuado de la estructura en condiciones normales así como la validez por lo menos aproximada de la hipótesis del comportamiento lineal elástico. (Grupo Andino, 1974).

Los esfuerzos admisibles en condiciones de servicio se obtienen dividiendo los correspondientes esfuerzos últimos entre el factor de servicio y seguridad que consideran las incertidumbres respecto a: (Grupo Andino, 1974).

- a. Conocimiento de las propiedades del material y su variabilidad.
- b. La confiabilidad de los ensayos para evaluar adecuadamente las características resistentes del material.
- c. La presencia de defectos no detectados al momento de la clasificación visual.
- d. El tipo de falla frágil o dúctil que pueda presentarse al sobre –esforzar el material.
- e. La evaluación de las cargas aplicadas y la determinación de los esfuerzos internos producidos por estas cargas en los elementos estructurales.
- f. Deterioro del material con el uso.
- g. Riesgo de falla en función de la importancia del elemento o del a edificación y su relación convidas u humanas.

4.2.2. Factor de duración de carga fdc.

Los esfuerzos de rotura disminuyen con la duración de la aplicación de la duración de carga. Cuando un elemento se carga por primera vez se deforma elásticamente si la carga se mantiene se presenta una deformación adicional dependiente del tiempo, este fenómeno se denomina flujo plástico. Si se descarga el elemento la deformación inicial elástica se recobrara totalmente y solo una fracción de la deformación plástica se recuperara pero tardara un tiempo en hacerlo. Si en vez de controlar la carga se aplica una deformación constante y mantenida el esfuerzo inicial decrece a un 60% de su valor inicial, luego de unos meses esta reducción de esfuerzo se denomina relajación. (Grupo Andino, 1974).

Tabla 4.1 Factores de reducción. (Grupo Andino, 1974)

Factores	Compresión	Corte paralelo	tracción
F S	1.60	4	1.2
FDC	1.25	2	1.11

5. SELECCION Y ENSAYES DE MUESTRAS DE BAMBU GUADUA.

5.1. Selección de las muestras.

En este capítulo se hace una descripción del proceso de selección de muestras así como de las pruebas realizadas en cada una de ellos. Las muestras utilizadas en los diferentes ensayos, fueron extraídas del Centro Experimental El Recreo está ubicado en el Municipio de El Rama, en las coordenadas geográficas 84° 19' longitud Oeste y los 12° 12' Latitud Norte.

Dentro de sus funciones tenemos el cultivo de la especie de Bambú Guadua, de la cual poseen dos especies: Guadua nativo (*Amplexifolia*) y el introducido (*Angustifolia*), por lo que para realizar los ensayos seleccionamos el Nativo por su abundancia en nuestro territorio.

La descripción de la selección de las muestras en las siguiente selección está redactado de acuerdo a las normas INBAR; 1997.



Figura 5.1 Región Autónoma Atlántico Sur (RAAS), la Esperanza. Se visitó el Centro Experimental el Recreo, ubicado en el municipio EL Recreo en el Rama exactamente ubicado entre el municipio de la Esperanza y Aredo; este tiene coordenadas geográficas 84° 19' longitud oeste y los 12° 12' Latitud Norte. Dentro de sus funciones tenemos el cultivo de la especie de Bambú Guadua.

5.1.1. Selección de las muestras para ensaye a tensión.

5.1.1.1. Resistencia a la tracción paralela a la fibra.

- a. Preparación de especímenes de la prueba. Se tomarán láminas de una longitud igual a 50 cm. Las láminas deben tener sección constante y rectangular. Estos especímenes se tomaran respectivamente de la cepa, basa o sobrebasa y no deberán tener defectos como grietas por secado, perforaciones por ataque biológico, hongos. Las probetas se deben limpiar de líquenes, musgos y sólidos adheridos al material, sin disminuir la capa exterior.
- b. Se deben eliminar las probetas que desarrollen grietas en el proceso de corte.
- c. Debe prevenirse la pérdida de humedad antes de realizar el ensayo. Las dimensiones empleadas para calcular el área de la sección transversal de la muestra debe determinarse con una división de escala de 0.1 mm, promediando tres espesores y anchos medidos en diferentes secciones de la probeta. La longitud debe medirse con una aproximación de 0.1 mm.



Figura 5.2 Imagen representativa de una muestra de espécimen que se utilizara para realizar la prueba a tracción paralela a la fibra., con dimensiones; con una longitud de 50 cm.

5.1.1.2. Resistencia a la tracción perpendicular a la fibra de cilindros.

- a. Preparación de especímenes de la prueba. Se tomarán los especímenes de la parte inferior, parte media y parte superior de cada culmo. Estos especímenes no deberán tener grietas por secado, perforaciones por ataque biológico y hongos.
- b. La prueba de tensión perpendicular al eje se hará con cilindros sin nudo, y se tomará la longitud de los especímenes será aproximadamente 10-15 cm.
- c. Las probetas se deben limpiar de líquenes, musgos y sólidos adheridos al material, sin afectar la capa exterior.
- d. Los planos de las caras extremas serán llanos y paralelos. Se deben eliminar las probetas que desarrollen grietas en el proceso de corte. Debe prevenirse la pérdida de humedad antes de realizar el ensayo.
- e. El espesor usado para calcular el área de la sección transversal de la muestra debe determinarse con una división de escala de 0.1 mm, promediando por lo menos 4 medidas.
- f. La longitud debe medirse con una aproximación de 0.1 mm.



Figura 5.3 Imagen representativa de una muestra de espécimen que se utilizara para realizar la prueba a tracción perpendicular a la fibra, con dimensiones; altura de 10 a 15 cm.

5.1.2. Selección de las muestras para ensaye a compresión.

La selección de las muestras se hace con el siguiente procedimiento.

- a. Preparación de especímenes de la prueba compresión. Se tomarán los especímenes de la parte inferior, parte media y parte superior de cada culmo. estos no deberán tener defectos como grietas por secado, perforaciones por ataque biológico, hongos, etc.
- b. La prueba de compresión paralela al eje, se hará con probetas cilíndricas sin y con nudo en su altura media; y se tomará la longitud de los especímenes igual a 2 veces el diámetro exterior promedio, sin embargo; si ésta longitud sobre pasa el espacio disponible de la máquina, la altura deberá ser una vez el diámetro exterior. Las probetas deben mantener su humedad constante por lo cual el ensayo debe realizarse el mismo día de corte.
- c. El diámetro usado para calcular el área de la sección transversal de la muestra debe determinarse con una división de escala de 0.1 mm promediando tres diámetros medidos en ángulo de 120° o cuatro diámetros promedios en ángulos de 90°.



Figura 5.4 Imagen representativa de una muestra de espécimen que se utilizara para realizar la prueba a compresión, con dimensiones; altura 2 veces el diámetro.

5.1.3 Selección de las muestras para ensaye a cortante.

- a. Preparación de especímenes de la prueba. Se tomarán los especímenes de la parte inferior, parte media y parte superior de cada culmo. Estos no deberán tener defectos, como grietas por secado, perforaciones por ataque biológico, hongos.
- b. La prueba de corte paralelo a la fibra se hará con cilindros sin y con nudo en su altura media, se tomará especímenes de longitud igual o mayor a 2 veces el diámetro exterior promedio.
- c. Los planos de las caras extremas serán llanos y paralelos. Se deben eliminar las probetas que desarrollen grietas en el proceso de corte .Debe prevenirse la pérdida de humedad antes de realizar el ensayo.
- d. El diámetro usado para calcular el área de la sección transversal de la muestra debe determinarse con una división de escala de 0.1 mm promediando tres diámetros medidos en ángulo de 120° o cuatro diámetros promedios a Angulo de 90°.La longitud debe medirse con una aproximación de 0.1 mm.



Figura 5.5 *Imagen representativa de una muestra de espécimen que se utilizara para realizar la prueba de cortante con dimensiones; con una altura de 2 veces el diámetro.*

5.2. PROCEDIMIENTO DE ENSAYES DE LABORATORIO.

En este trabajo las pruebas se hicieron en los laboratorios de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN-Managua), Universidad de Ingeniería (UNI), Universidad centro Americana (UCA). Entre los equipos a utilizar el equipo principal para la elaboración de los diferentes tipos de ensayos es la Maquina Universal marca HOYTOM Leíoa modelo DI-CP/V2 con capacidad de 600KN (ver anexos A). En ella se pueden realizar ensayos de tensión y compresión. Cuya maquina es la que se utilizar para emplear las condiciones de cargas en dos de los ensayos como son el ensaye de tracción paralela a la fibra y perpendicular a la fibra del Guadua.

5.2.1. Ensaye a tracción paralela a la fibra.

5.2.1.1. Procedimiento.

- a. Preparar las muestras a utilizar, deben tener las dimensiones y especificaciones necesarias para realizar el ensaye.
- b. colocar las mordazas planas que se adapten al espesor de las láminas de bambú Guadua para que estas no presenten deslizamientos.

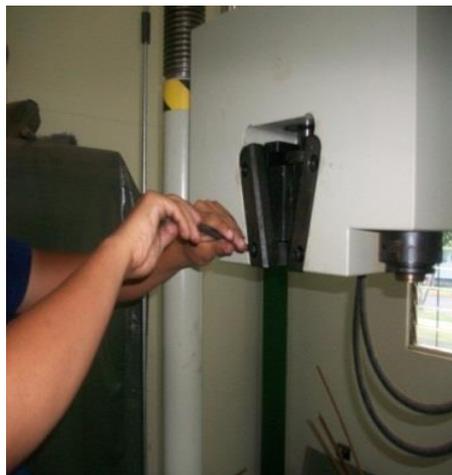


Figura 5.6 Mordazas planas para realizar el ensaye de tracción paralela a la fibra. Laboratorio de la UCA.

- c. Fijar la muestra a la maquina asegurándose que quede firme y centrada.



Figura 5.7 Montaje de láminas de bambú *Guadua Amplexifolia* ensaye tracción perpendicular a la fibra. Laboratorio de la UCA.

- d. Aplicar incrementos de carga constantes cada 100 kg para la determinación de la curva esfuerzo-deformación.



Figura 5.8 Ensayo de tensión o tracción perpendicular a la fibra. Se presentó fallas en el centro de las láminas. Laboratorio de la UCA.

- e. Tomar una muestra para la determinación del contenido de humedad.

5.2.2. Ensaye a tracción perpendicular a la fibra.

5.2.2.1. Procedimiento.

- a. Preparar las muestras a utilizar, deben tener las dimensiones y especificaciones necesarias para realizar el ensaye.
- b. Colocar el cilindro de Guadua entre los dispositivos de carga se procede a quitar las platinas horizontales desatornillando los puntos de unión, posteriormente se introduce la probeta y se escoge el juego de semicilindros de madera más apropiado para transmitir la carga de la platina horizontal a las paredes del cilindro, hecho esto se vuelven a colocar las platinas horizontales y luego de acomodar el sistema se puede iniciar la aplicación de carga.
- c. Colocar mordazas con ranura que se adapten al espesor de las varillas del dispositivo de ensaye.

a)



b)

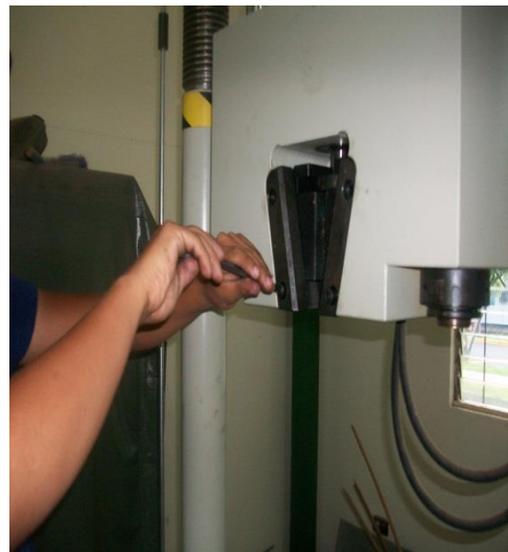


Figura 5.9 a). Colocación del espécimen de *Guadua Amplexifolia* en el dispositivo de ensaye. b). Montaje de las mordazas planas para realizar ensaye de tracción perpendicular a la fibra. Laboratorio de la UCA.

Capacidad de resistencia del bambú *Guadua Amplexifolia* para propósitos constructivos

- d. Adaptar el dispositivo que se fabricó para realizar de manera adecuada este ensaye a la maquina **universal de marca HOYTOM Leíoa modelo DI-CP/V2**. Colocar la muestra entre los dispositivos de carga.
- e. Aplicar la carga continuamente sin golpes bruscos.

a)



b)



Figura 5.10 a) Ensaye a tracción perpendicular a la fibra, b) montaje y aplicación de carga axial. Laboratorio de la UCA.

- f. Aplicar la carga hasta que la muestra falle, cuando esta lo haga es donde se presente la carga máxima que soporta la probeta.
- g. Desmontar los dispositivos de carga.
- h. Tomar muestras para realizar ensayos de humedad.



Figura 5.11 Muestras de algunas fallas al realizar ensayo tracción perpendicular a la fibra.

5.2.3 Ensayo a compresión.

5.2.3.1 Procedimiento.

- a. Después de preparados los especímenes y especificaciones de las dimensiones de este se colocaran los anillos de sujeción de los deformímetros.

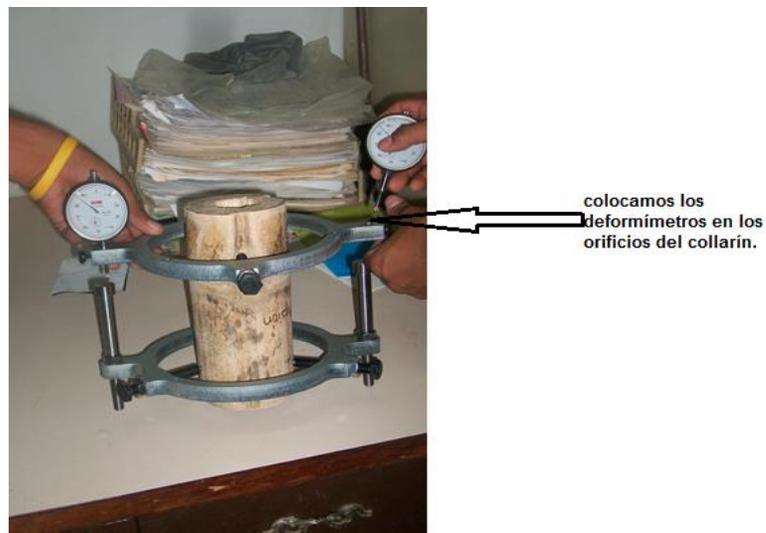


Figura 5.12 Colocación de los deformímetros mecánicos en el collarín o anillos de sujeción.

- b. se verificara q las caras de las secciones transversales de los especímenes estén planas y niveladas para que los registros de la deformación se han consistentes.

- c. una vez colocado los deformímetros se colocara el espécimen en la máquina de compresión asegurándose que las superficies del pistón que ejerce la carga axial este limpia y seca para evitar deslizamiento y se debe de tomar en cuenta que el eje del espécimen quede centrado con respecto al pistón para q la carga se distribuya uniformemente.

a)



b)



Figura 5.13 a) Colocación del espécimen en la máquina de compresión. b) Calibración de los deformímetros para tomar lecturas. Laboratorio de la UNI.

- d. Se nivelaran los deformímetros o se ajustan las lecturas de ambos en cero.

- e. se configura la maquina según la unidad de medida deseada y se aplicara la carga de manera constante a una velocidad de 0.01mm por segundo sin que esta reciba golpes bruscos y así se tomaran las lecturas de los deformímetros

cada 500kg de manera constante, para la construcción de la curva esfuerzo vs deformación.

5.2.4 Ensaye a cortante.

5.2.4.1. Procedimiento.

- a. Preparar los especímenes según las especificaciones expuesta en la sección 5.1.3.
- b. Colocar el dispositivo de ensaye teniendo en cuenta que debe quedar centrado para que la aplicación de la carga sea uniforme.



Figura 5.14 Colocación del dispositivo en la máquina de compresión. Laboratorio de la UNI

- c. Separar el dispositivo de ensaye para colocar el espécimen en medio de las dos caras que conforman el espécimen asegurándose que quede centrado. (ver figura 5.16)



Figura 5.15 Ubicación del dispositivo de cortante para ejercer la carga axial de cortante con la ayuda de la máquina de compresión. Laboratorio de la UNI.

- d. Una vez colocado el espécimen junto con el dispositivo en la máquina de ensaye se aplicara la carga de manera constante y se anotara la carga en que falla el espécimen.

a)



b)



Figura 5.16 a) Pantalla que registra la carga aplicada para provocar cortante. b) Muestras de las fallas en el ensaye de cortante.

6. ANALISIS DE RESULTADOS.

6.1. Parámetro de resistencia de la *Guadua Amplexifolia*.

6.1.1. Tracción paralela a la fibra.

El ensaye a tracción paralela a la fibra se realizó en la universidad Centroamérica en los laboratorios de ingeniería civil de la UCA. En este laboratorio se utilizaron 6 especímenes preparados según las especificaciones anteriormente mencionadas (ver página) las pruebas se realizaron en la maquina HOYTOM Leíoa. Los resultados de dicho laboratorios se muestran a continuación. El esfuerzo ultimo y el módulo de elasticidad los obtenemos directamente de la gráfica esfuerzo deformación ploteada por la maquina universal HOYTOM Leíoa (ver anexo A).

Tabla 6.2 Esfuerzo últimos y módulos de elasticidad calculados según ensaye a tracción paralela.

Tabla de datos y resultados de traccion paralela a la fibra						
Nº muestras	Espesor T (cm)	Longitud. L (cm)	carga kg	Área trans. Cm ²	esfuerzo (Kg/cm ²)	M. elasticidad kg/cm ²
1	1.12	2.13	516.7	2.38560	216.59	130560
2	0.92	2.02	2362.2	1.8584	1271.09	74970
3	1.22	2.25	1965.5	2.745	716.03	45594
4	1	2.25	1877.8	2.25	834.58	121686
5	1.25	2.05	422.1	2.5625	164.72	57222
6	1	2.46	530.4	2.46	215.61	204306

Utilizando un criterio según el cual, el esfuerzo resistente en condiciones últimas es el que corresponde al límite de exclusión del 5% (es decir, se espera que de toda la población de dicha especie, solo el 5% tenga una resistencia menor) Grupo Andino, (1974), ordenando lo resultados de los ensayos en forma creciente, el valor que define el límite de exclusión del 5% es el ensayo número $0.05 \cdot n$, siendo n por lo general un número pequeño de muestras, en este caso 6.

Límite de exclusión = $0.05 \cdot 6 = 0.3 = 1$ es decir la muestra analizada, será la muestra que registro el menor valor.

El esfuerzo último a resistencia será el menor que es igual a 216.6 kg/cm^2 Con base a este esfuerzo último se determinara un valor de resistencia apto para diseños y tomaremos el módulo de elasticidad el valor encontrado en este ensaye. El módulo de elasticidad será: 130560 kg/cm^2 .

El esfuerzo admisible o parámetro de resistencia será el esfuerzo último reducido por factores de seguridad estos factores se deducirán de la tabla. Obtenida del libro de Manual de diseños de madera del grupo andino. (Ver tabla 4.1).

Los factores serán:

FS =Factor de servicio y seguridad, mediante el cual se busca exigir el material por debajo del límite de proporcionalidad. FS = 1.2

FDC = Factor de duración de carga. FDC = 1.11

Esfuerzo admisible a tracción perpendicular a la fibra $\sigma_{adm} = 123.5 \text{ kg/cm}^2$

6.1.2. Tracción perpendicular a la fibra.

El ensaye a tracción perpendicular a la fibra se realizó en la universidad Centroamérica en los laboratorios de ingeniería civil de la UCA. En este laboratorio se utilizaron 7 especímenes preparados según las especificaciones anteriormente mencionadas (ver tabla 6.1) las pruebas se realizaron en la maquina universal HOYTOM Leíoa junto con los dispositivos de tracción (ver anexo A).

En este ensaye se hace una corrección al calcular el esfuerzo último, debido a la alta tecnología de esta máquina de ensayo; que la a la hora de realizar el ensaye calcula de manera directa el esfuerzo último asumiendo que el área del espécimen es de forma tubular. El ensaye consiste en ensamblar los cilindros de bambú en lo

Capacidad de resistencia del bambú *Guadua Amplexifolia* para propósitos constructivos

dispositivos diseñados para ejercer la carga a los cilindros de bambú (ver anexos A). Lo que se hace es que se registra la carga última con la que falla el espécimen y se calcula nuevamente el esfuerzo último.

Utilizando un criterio según el cual, el esfuerzo resistente en condiciones últimas es el que corresponde al límite de exclusión del 5% (es decir, se espera que de toda la población de dicha especie, solo el 5% tenga una resistencia menor) (Grupo Andino, 1974), ordenando los resultados de los ensayos en forma creciente, el valor que define el límite de exclusión del 5% es el ensayo número $0.05 \cdot n$, siendo n por lo general un número pequeño de muestras, en este caso 6. Los resultados de dichos laboratorios se muestran a continuación. El esfuerzo último será la relación entre la carga última que falló el espécimen y el área de la sección transversal de dicho espécimen.

Tabla 6.1 Esfuerzos últimos a tracción perpendicular calculados según ensayo de laboratorios.

Tabla de datos y resultados de tracción perpendicular a la fibra					
Nº muestras	Espesor T (cm)	Longitud. L (cm)	carga kg	Área tras. Cm ²	esfuerzo (Kg/cm ²)
1	1.5	13.9	198.65	41.7	4.76
2	1.2	13.9	185.32	33.36	5.56
3	1.7	13.9	253.5	47.26	5.36
4	1.2	13.9	143.5	33.36	4.30
5	1.3	13.9	189.7	36.14	5.25
6	1.4	13.9	234.9	38.92	6.04
7	1.4	13.9	205.23	38.92	5.27

Límite de exclusión = $0.05 \cdot 7 = 0.35 = 1$ es decir la muestra analizada, será la muestra que registro el menor valor.

El esfuerzo último a resistencia será el menor que es igual a 4.30 kg/cm² Con base a este esfuerzo último se determinara un valor de resistencia apto para diseños.

El esfuerzo admisible o parámetro de resistencia será el esfuerzo último reducido por factores de seguridad estos factores se deducirán de la tabla. Obtenida del libro de Manual de diseños de madera del (Grupo, Andino. 1974) (ver tabla 4.1).

Los factores serán:

FS =Factor de servicio y seguridad, mediante el cual se busca exigir el material por debajo del límite de proporcionalidad. FS = 1.2

FDC = Factor de duración de carga. FDC = 1.11Esfuerzo admisible a tracción perpendicular a la fibra. $\sigma_{adm} = 3.2 \text{ kg/cm}^2$.

6.1.3. Compresión.

Tabla 6.3 Esfuerzo últimos y módulos de elasticidad calculados según ensaye a compresión.

Nº	esfuerzo kg/cm ²	Módulo de elasticidad kg/cm ²
1	203.667	12875.52
2	237.834	81755.40
3	202.794	11487.87
4	205.275	43423.66
5	210.416	39906.40

Utilizando un criterio según el cual, el esfuerzo resistente en condiciones últimas es el que corresponde al límite de exclusión del 5% (es decir, se espera que de toda la población de dicha especie, solo el 5% tenga una resistencia menor. Grupo Andino, (1974), ordenando lo resultados de los ensayos en forma creciente, el valor que define el límite de exclusión del 5% es el ensayo número 0.05*n, siendo n por lo general un número pequeño de muestras, en este caso 5.

Límite de exclusión = 0.05*5 =0.3=1 es decir la muestra analizada, será la muestra que registro el menor valor.

El esfuerzo último a resistencia será el menor que es igual a 202.794 kg/cm² Con base a este esfuerzo último se determinara un valor de resistencia apto para diseños.

El esfuerzo admisible o parámetro de resistencia de compresión será el esfuerzo último reducido por factores de seguridad estos factores se deducirán de la tabla. Obtenida del libro de Manual de diseños de madera del grupo andino. (Ver tabla 4.1).

Los factores serán:

FS =Factor de servicio y seguridad, mediante el cual se busca exigir el material por debajo del límite de proporcionalidad. FS = 1.60

FDC = Factor de duración de carga. FDC = 1.25

Esfuerzo admisible a compresión. $\sigma_{adm} = 101.4 \text{ kg/cm}^2$

6.1.4. Cortante.

El ensaye a cortante se realizó en la universidad nacional de ingeniería UNI en los laboratorios de suelo de la UNI-RUPAP. En este laboratorio se utilizaron 8 especímenes preparados según las especificaciones anteriormente mencionadas (ver sección 5.1.3) las pruebas se realizaron en la máquina de compresión con junto con los dispositivos de cortante (ver anexo A).

Los resultados de dicho laboratorios se muestran a continuación. El esfuerzo ultimo será la relación entre la carga ultima ala que fallo el espécimen y el área de la sección transversal de dicho espécimen (ver tabla 6.6).

Tabla 6.4 Esfuerzos últimos a cortante calculados según ensaye de laboratorio.

Tabla de datos y resultados de cortante paralelo a la fibra						
Nº muestras	Espesor T (cm)	Longitud. L (cm)	carga (Lb)	carga kg	Área trans. Cm²	esfuerzo (Kg/cm²)
1	1.7	18	9950	4522.73	30.6	147.80
2	1.2	19.5	7940	3609.09	23.4	154.23
3	1.7	19	10539	4790.45	32.3	148.31
4	1.4	19.5	10730	4877.27	27.3	178.65
5	1.8	17	10190	4631.82	30.6	151.37
6	1.6	16.5	9850	4477.27	26.4	169.59
7	1.2	19.5	10760	4890.91	23.4	209.01
8	1.8	17.6	11490	5222.73	31.68	164.86

Utilizando un criterio según el cual, el esfuerzo resistente en condiciones últimas es el que corresponde al límite de exclusión del 5% (es decir, se espera que de toda la población de dicha especie, solo el 5% tenga una resistencia menor) Grupo Andino, (1974), ordenando los resultados de los ensayos en forma creciente, el valor que define el límite de exclusión del 5% es el ensayo número $0.05 \cdot n$, siendo n por lo general un número pequeño de muestras, en este caso 6.

Límite de exclusión = $0.05 \cdot 8 = 0.4 = 1$ es decir la muestra analizada, será la muestra que registro el menor valor.

El esfuerzo último a resistencia será el menor que es igual a 147.80 kg/cm². Con base a este esfuerzo último se determinara un valor de resistencia apto para diseños. El esfuerzo admisible o parámetro de resistencia será el esfuerzo último reducido por factores de seguridad estos factores se deducirán de la tabla. Obtenida del libro de Manual de diseños de madera del grupo andino. (Ver tabla 4.1).

Los factores serán:

FS = Factor de servicio y seguridad, mediante el cual se busca exigir el material por debajo del límite de proporcionalidad. FS = 4

FDC = Factor de duración de carga. FDC = 2

Capacidad de resistencia del bambú *Guadua Amplexifolia* para propósitos constructivos

Esfuerzo admisible a cortante. $\sigma_{adm} = 18.5 \text{ kg/cm}^2$

Tabla 6.5 Esfuerzos admisibles del bambú *Guadua Amplexifolia* obtenidos en los laboratorios.

Parámetros de resistencia de la <i>Guadua Amplexifolia</i>					
compresión	Tracción perp.	Tracción parl	Cortante	E compresión	E tracción
101.4kg/cm ²	3.2kg/cm ²	123.5kg/cm ²	18.5kg/cm ²	38864.123kg/cm ²	105723kg/cm ²

Tabla 6.6 Parámetros de resistencia de la *Guadua angustifolia* Esfuerzos admisibles para el *Guadua Angustifolia* tabla obtenida (Prieto, 2011).

Esfuerzos admisibles de la <i>Guadua angustifolia</i>					
Flexión	Traccion paralela	Compresión paralela	Cortante	Compresión perpendicular	Modulo elasticidad
5 Mpa (50 Kg/cm ²)	16 Mpa (160 Kg/cm ²)	13 Mpa (130 Kg/cm ²)	1 Mpa (10 Kg/cm ²)	1.3 Mp (13 g/cm ²)	7300-9500Mpa

6.2. Módulo de elasticidad a compresión.

Capacidad de resistencia del bambú *Guadua Amplexifolia* para propósitos constructivos

El módulo de elasticidad será calculado según la gráfica esfuerzo- deformación unitaria, donde se calculara la pendiente de dicha grafica que será igual al módulo de elasticidad, la pendiente se calculara según aquellos puntos donde reflejen proporcionalidad y sobre los cuales se ajustan por regresión lineal una recta. El esfuerzo máximo para calcular el límite de proporcionalidad se tomara el 55% del esfuerzo último. (INBAR, 1997).

Tabla 6.7 Valores del módulo de elasticidad obtenidos de las gráficas esfuerzo Vs deformación unitaria del ensayé de compresión ver anexos B.

Nº	Módulo de elasticidad kg/cm ²
1	12875.52
2	81755.40
3	11487.87
4	43423.66
5	39906.40

En la tabla 6.7 se muestra los diferentes valores esfuerzo vs deformación unitaria obtenidas de cada una de las muestras de compresión ensayadas. En la cual hay una dispersión en cuanto al comportamiento de los valores, debido a que no todas las muestras presentaban las mismas dimensiones en cuanto al diámetro y al espesor, ya que la sección transversal del bambú no era uniforme, es decir varía en cuanto al espesor. El espesor de las muestras estaba entre 1.8 cm -2.5 cm. (ver figura 6.1)

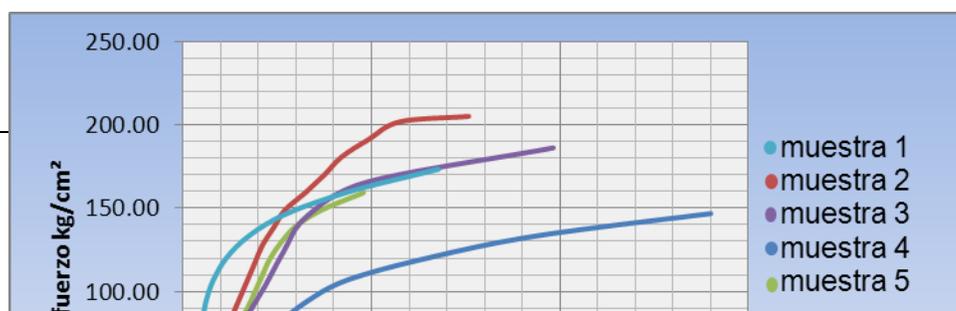


Figura 6.1 Esfuerzo Vs deformación unitaria, obtenida de los ensayos de compresión.

Se obtuvo el módulo de elasticidad como el valor promedio o media de todas las muestras ensayadas, el valor del módulo de elasticidad a compresión será igual a 38864.132 kg/cm². Ver la figura 6.2 donde se muestra el módulo de elasticidad mínimo y el módulo de elasticidad máximo.

Módulo de elasticidad a compresión: **E: 37889.77 kg/cm²**.

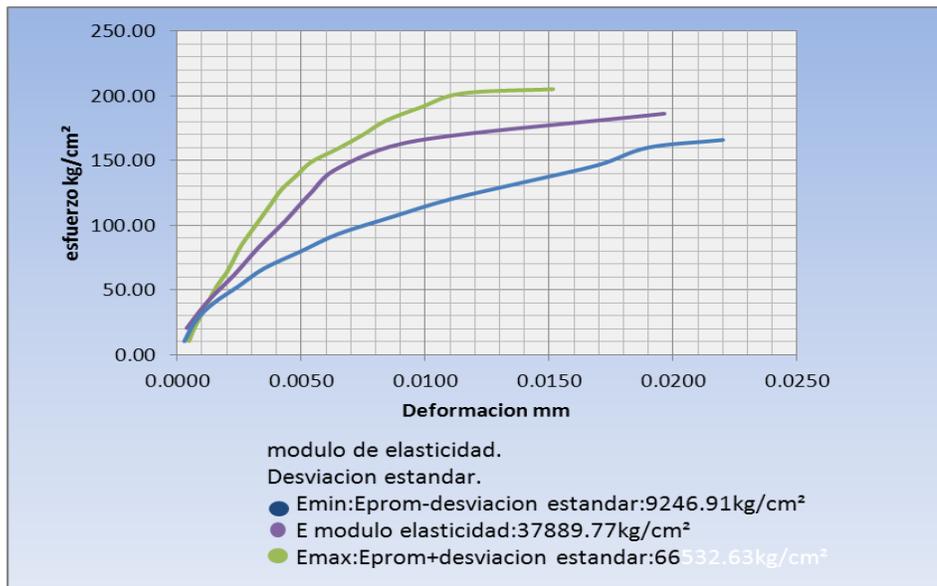


Figura 6.2 Muestra el módulo de elasticidad máximo y módulo de elasticidad mínimo del bambú *Amplexifolia* a compresión.

6.3. Módulo de elasticidad a tracción paralela a la fibra.

El esfuerzo ultimo y el módulo de elasticidad los obtenemos directamente de la gráfica esfuerzo deformación calculado directamente por la maquina universal HOYTOM Leíoa (ver tabla 6.8).

Tabla 6.8 Modulo de la elasticidad determinado a partir de la gráfica esfuerzo vs deformación calculada en los ensayos de tracción paralelo a la fibra.

Nº muestras	M. elasticidad kg/cm ²
1	130560
2	74970
3	45594
4	121686
5	57222
6	204306

En la figura 6.3 se muestra una gráfica representativa de esfuerzo Vs deformación unitaria obtenida del ensaye de tracción paralela a la fibra de bambú *Guadua Amplexifolia*. El módulo de elasticidad a tracción paralela a la fibra será el promedio de los módulos de elasticidad obtenido de los diferentes ensayos debido a que todas las muestras presentaban las mismas dimensiones y hay mayor consistencia en cuanto a los valores obtenidos.

En la figura se muestra el comportamiento de la muestra expuesta a la carga axial de tracción paralela a la fibra. Se puede observar que el bambú *Guadua Amplexifolia* tiene mayor resistencia a tracción paralela a la fibra y su deformación es mínima comparándola con la gráfica esfuerzo deformación unitaria a compresión (ver figura 6.2).

E: 105723kg/cm²

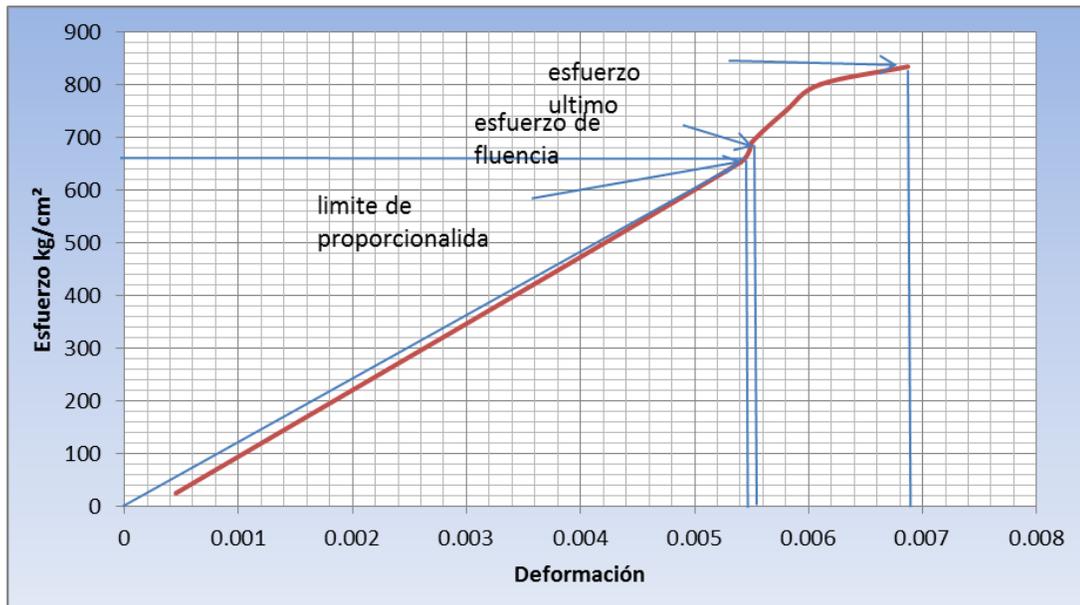


Figura 6.3 Módulo de la elasticidad cálculo de la gráfica esfuerzo vs deformación calculada en los ensayos de tracción paralela.

6.4. Capacidad resistente del Guadua en comparación con otras madera.

Capacidad de resistencia del bambú *Guadua Amplexifolia* para propósitos constructivos

Tabla 6.9 Valores obtenidos del reglamento nacional de la construcción para maderas comunes, los valores del guadua *Angustifolia* fueron obtenidos, Prieto, R. (2011). Diseño y construcción con bambú. Perú: lima. Asociación publicadora interamericana. Y los de *Guadua Amplexifolia* los valores que obtuvimos al realizar los diferentes laboratorios.

*valores aproximados del módulo de elasticidad realizados en estudios realizados

Nombre de la Madera	Tensión (kg/cm ²)	Cortante (kg/cm ²)	Compression (kg/cm ²)	Modulo elasticidad E	% de Resistencia en cuanto E
POCHOTE	66	5	69	74500	29.6%
PINO	78	7	81	130000	-18.7 %
CEDRO REAL	57	5	60	80000	24.3%
CEDRO MACHO.	47	4	49	64000	40%
GENIZARO	57		60	76000	28.1%
GUANACASTE	60	5	63	100000	6%
GUAYABO	117	5	122	155000	-29.53%
LAUREL HEMBRA	77	10	80	90000	15%
LAUREL MACHO	87	7	91	150000	30%
CAOBA	70	8	74	85000	20%
ROBLE	120	6	126	15000*	84%
ALMENDRO	92	10	82	132000*	-19.6%
GUAPINOL	65	9	78	141000*	-23.5%
NISPERO	124	8	186	150000*	-27.4%
QUEBRACHO	200	10	120	110000*	-41%
GUAYACAN	123	20	163	150000	10%
<i>Guadua Angustifolia</i>	160	10	130	95000	10.1%
Guadua Amplexifolia	123.4	18.5	101.4	105723	

anteriormente.

Capacidad de resistencia del bambú *Guadua Amplexifolia* para propósitos constructivos

El porcentaje de resistencia calculado significa cuanto es más resistente que la madera que está siendo comparada, el signo positivo representa que la *Guadua Amplexifolia* es mayor que la madera y si el signo es negativo representa cuanto menos resistente es la *Guadua* que la madera a la cual está siendo comparada.

Tabla 6.10 comparación de la madera y el bambú.

Bambú	Otras Maderas
<ul style="list-style-type: none">• El crecimiento del bambú es de 13 cm por día, en seis meses alcanza grandes alturas. el corte, a un periodo de 3 a 5 años ya se puede utilizar, como material de construcción y de manera artesanal.• Regeneración natural sin necesidad de volver a sembrar es renovable.• Vara de bambú alrededor de 150 córdobas, la vara oscila de 10 a 20 metros.• Contribuye con el medio ambiente, cuando se utiliza se reduce el uso de la madera, lo que genera que se reduzca el despale.• No se necesita de grandes cantidades de abonos durante su cultivo ni de viveros.	<ul style="list-style-type: none">• El tiempo necesario para ser utilizado en la construcción está entre 15 a 30 años de edad.• Una vez utilizada, ya no se es posible su regeneración natural es necesario volver a sembrar otra planta.• La madera para ser utilizada en la construcción pasa por varios procesos de preparación lo que hace que sus costo sean altos.• Debido al uso muchas zonas del país están afectadas directamente, debido al despale, esto incrementa la erosión del suelo y la calidad del oxígeno.

7. APLICACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS A TRAVÉS DE UN MODELO REPRESENTATIVO DE PUENTE PEATONAL.

Diseño de vigas y armadura de un puente peatonal de bambú combinado con una losa compuesta de tablas madera de pino.

Especificaciones y dimensiones del puente.

Claro del puente: 8 m.

Ancho del puente: 1.8 m.

Dimensiones de la losa de madera de pino valores tomados del RNC-07.

Material de la losa del puente: tablas de madera de pino ubicado de forma transversal a lo ancho del puente peatonal con dimensiones de 1.8m de largo, 0.50 m de ancho y 5 cm de espesor de la tabla. Peso volumétrico del pino 726 kg/m³ RNC-07.

Peso volumétrico del bambú (P_v) 700kg/m³, módulo de poisson (μ) 0.39 y esfuerzo admisible a flexión 120kg/cm² (Lena, mora y Emilio, Álvarez. 2009). Parámetros de resistencia mecánica del bambú *Guadua Amplexifolia*. Según resultados obtenido la sección 6.1 ver tabla 6.5.

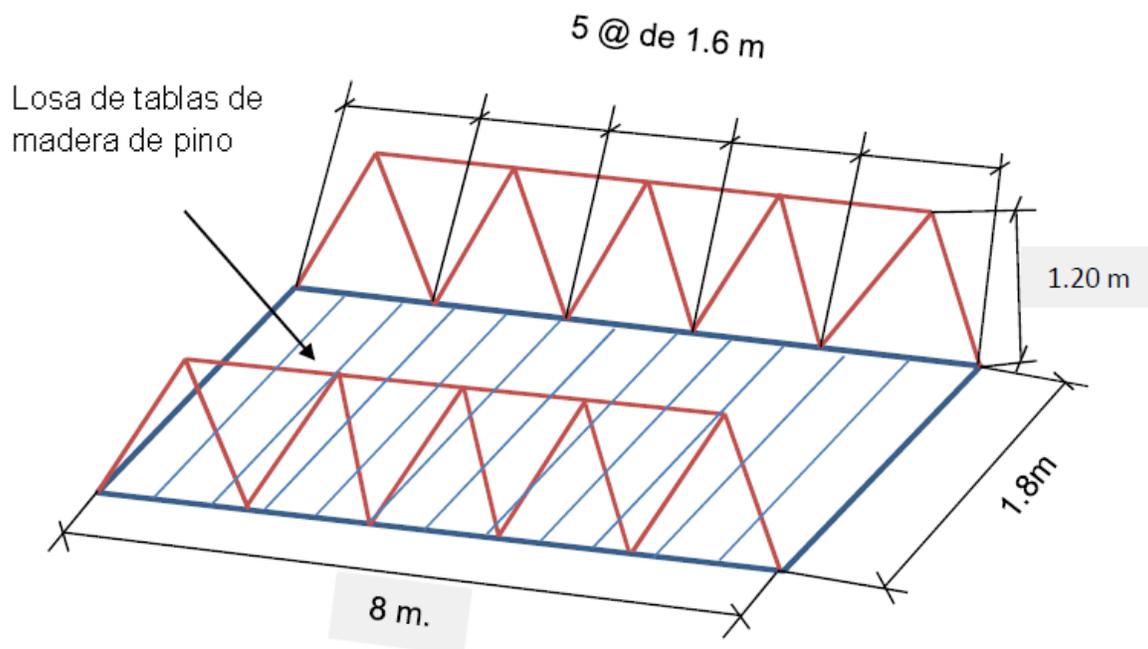


Figura 7.1 Esquema de puente peatonal de bambú compuesto con losa de madera

7.1. Encontrando La carga total actuante.

Encontrando la carga total actuante en el puente w_T , solo se tomarán en cuenta las cargas muertas y las cargas vivas no se considerarán otro tipo de carga debido a que es un modelo análogo. Para el cálculo de las cargas muertas solo se considerará el peso de la losa de madera y como carga viva se considerará de 300 kg/m² que es peso aproximado de una persona adulta.

$$W_T = W_M + W_V ;$$

Donde

W_T : Carga Total.

W_V : Carga Viva

W_M : Carga Muerta.

W_M : (ancho de la tabla)(peso volumétrico del pino)(espesor de la tabla)(# de tablas).

$$\# \text{ Tablas} = (\text{longitud del claro} / \text{Ancho de la tabla}) = (8 \text{ m} / 0.5 \text{ m}) = 16$$

$$W_M: (0.5 \text{ m})(0.726 \text{ t/m}^3)(0.05 \text{ m})(16) = 0.2904 \text{ t/m.}$$

$$w_v: (300 \text{ kg/m}^2)(0.5 \text{ m}): 150 \text{ kg/m}$$

$$W_T: 0.294 \text{ t/m} + 0.15 \text{ t/m}: 0.44 \text{ t/m.}$$

Las cargas actuantes en las vigas será de 0.22 t/m debido a que son dos vigas y la carga se reparte en dos.

Encontrando las reacciones. (Ver imagen 7.2)

$$R_A = R_B; R_A = W_V L / 2 = (0.22 \text{ t/m})(8 \text{ m}) / 2 = 0.88 \text{ t}$$

La reacción de los nudos será igual $W_V L / 4$ debido a la simetría que presenta la armadura

$$R_N: W_V L / 4 = (0.22 \text{ t/m})(8 \text{ m}) / 4 = 0.44 \text{ t.}$$

Dónde:

R_A ; R_B : Reacciones en A y B; R_N : Reacción en los nudos.

W_V : Carga actuante en la viga; L: Longitud.

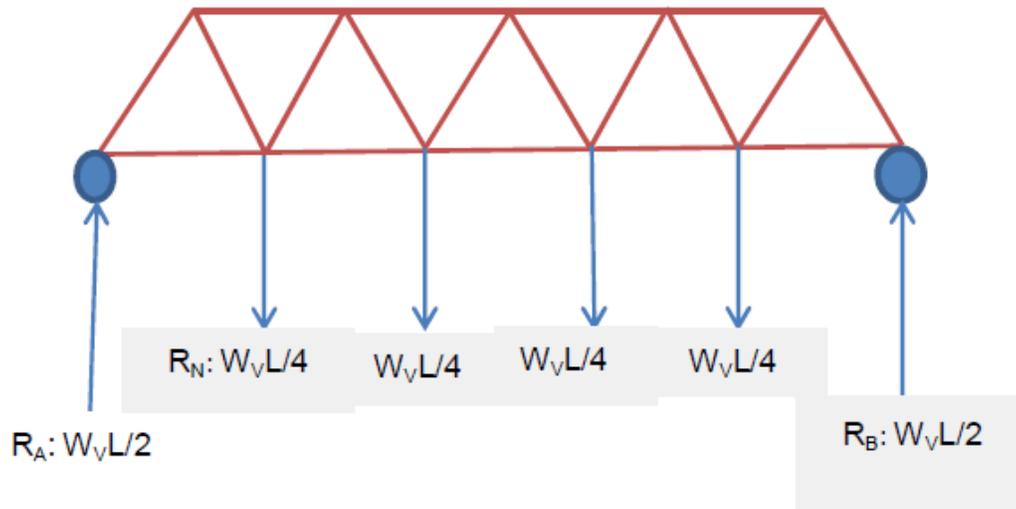


Figura 7.2 Diagrama representativo de las cargas que actúan en las reacciones de los apoyos y de los nudos de la armadura.

7.2 Diseñando la viga de bambú.

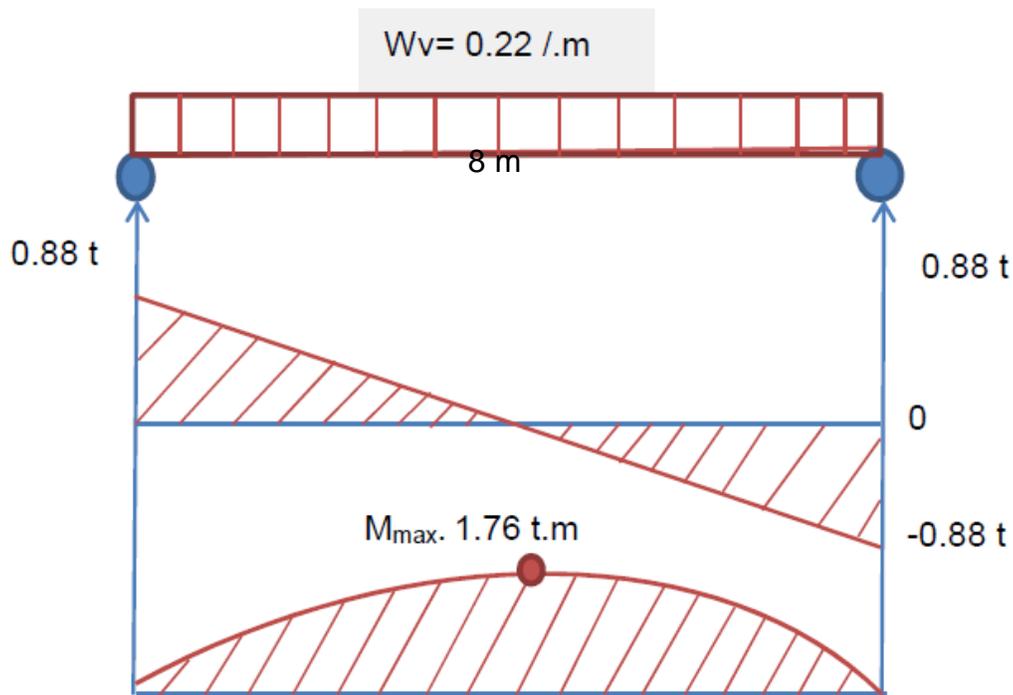


Figura 7.3 Diagrama de cortante y momento para determinar el momento máximo.

De acuerdo el diagrama de momento y cortante momento máximo es M_{max} : $WvL^2/8$ y es 1.76t.m

El diseño de la viga consistirá en calcular el radio del elemento de bambú también consideramos o idealizamos que la sección transversal de la viga es circular debido a que el bambú es hueco pero también es solio en sus nudos.

Utilizaremos el criterio $M_{max} < fb(0.928r^3)$ obtenida NSR-97.

$$r^3 = (1.76t.m)(1000kg)(100cm)/((0.928)120k/cm^2); r = 12cm$$

- Revisión por peso propio

$w' = A \times Rv = \pi (12cm)^2(700 kg/m^3) = 31.67 kg/m = 0.032 t/m$ encontramos un nuevo momento y una reacción producido por el peso propio de la viga.

$$RA = 0.128 t$$

$$M_{max} = 0.256 t.m$$

$$\text{Incremento del momento } M' = 0.256 + 1.76 = 2.016 t.m$$

$$M_{ac} \leq fb (0.928) r^3$$

$$201600 \leq 120(0.928) (12)^3$$

$$201600 \leq 198430.08$$

No cumple por lo tanto propondremos un nuevo radio de 13 cm.

Para $r = 13 cm$

El incremento de momento por peso propio será

$$w' = \pi (13m^2) (0.700t/m^3) = 0.037 t/m \text{ y } M' = 0.296 t.m$$

$$M_{ac} = 1.76t.m + 0.296t.m = 2.056 t.m$$

$$205600 kg.cm \leq 120(0.928) (13)^3; 205600 kg.cm \leq 244657.920 kg.cm$$

Capacidad de resistencia del bambú *Guadua Amplexifolia* para propósitos constructivos

Cumple el criterio. La sección soporta el incremento de presión.

- Revisión por cortante paralelo a la fibra

$V_{max} = (2/3)(V_{act}/A)((3De^3 - 4Det^2 + 4t^2)/(De^2 - 2Det^2 + 2t^2)) < F_v$. Obtenida (Prieto, R. 2011).

$$V_{max} = (2/3)(1008\text{kg}/530.93)$$

$$= 2/3 (1.90\text{kg}/\text{cm}^2) (3.45) = 4.37 \text{ kg}/\text{cm}^2; \text{ Por lo tanto } 5.083 \leq 18.5 \text{ kg}/\text{cm}^2.$$

- Revisión por deflexión.

Se revisara por el siguiente criterio.

$$\Delta = (5wL^4)/(384EI) < (L/240) \text{ obtenida (Grupo Andino, 1974)}$$

$$I = (\pi R^3 t). \text{ Obtenida NSR-97 para cilindros tubulares.}$$

Donde:

R: radio promedio

T: Espesor

$$E: 105723\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$I = (\pi(13\text{cm})^3(6\text{cm})): 41412.5 \text{ cm}^4$$

$$\Delta = (5(2.57)(800\text{cm})^4)/((384(105723\text{kg}/\text{cm}^2)(41412.5\text{cm}^4)) = 3.13\text{cm} < 3.3\text{cm}$$

satisface.

Las dimensiones de las vigas serán:

Longitud: 8 m

Diámetro: 26 cm

Espesor: 6 cm.

7.3 Diseño de la Armadura.

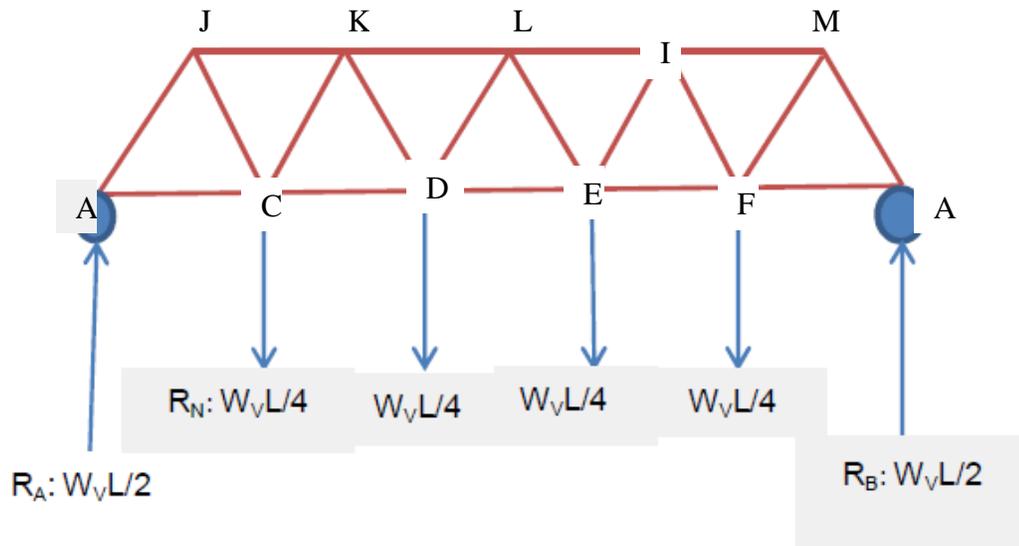


Figura 7.4 Diagrama de armadura para hacer el análisis en los nodos.

Solo se analizaran los nodos A, J, C, K y D por la simetría de la estructura.

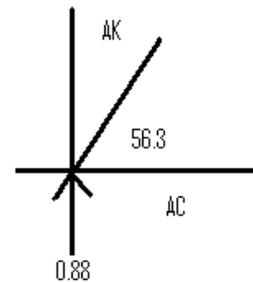
$$\tan^{-1} = (1.2/0.8) = 56.3^\circ; \quad x = \sqrt{(1.2^2 + 0.8^2)} = 1.44 \text{ m.}$$

- Analizando los nodos Nudo A

$$\sum F_x = 0; \quad A_c = 0$$

$$\sum F_y = 0; \quad 0.88 + A_k \cos 56.3^\circ = 0$$

$$A_k = -1.59 \text{ c compresión}$$

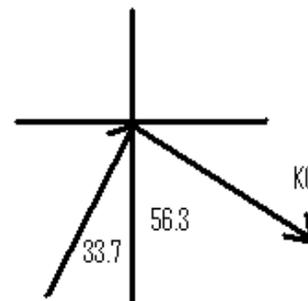


- Nudo K

$$\sum F_x = 0; \quad K_j = 0$$

$$\sum F_y = 0; \quad 1.59 \cos 56.3^\circ - K_c \cos 33.7^\circ = 0$$

$$K_c = 1.59 \text{ t tensión}$$

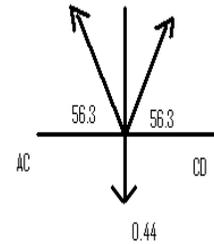


- Nodo C

$$\sum F_x = 0; \quad A_c \cos 56.3^\circ - C_J \cos 56.3^\circ = 0$$

$$\sum F_y = 0; \quad -0.44 + 1.59 \sin 56.3^\circ + C_J \sin 56.3^\circ = 0$$

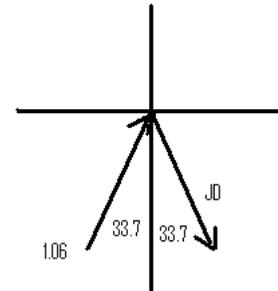
$$C_J = -1.06 \text{ C compression}$$



- Nodo J

$$\sum F_y = 0; \quad 1.06 \cos 33.7^\circ - J_D \cos 33.7^\circ = 0$$

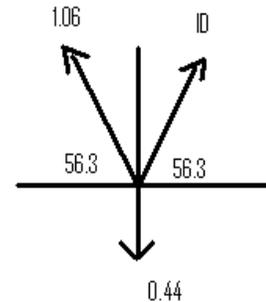
$$J_D = 1.06 \text{ t tensión}$$



- Nodo D

$$\sum F_y = 0; \quad -0.44 + 1.06 \sin 56.3^\circ + I_D \sin 56.3^\circ = 0$$

$$I_D = 0.53 \text{ t tensión}$$



- Diseños de elementos a tensión y compresión Modulo de Poisson la carga máxima a tensión y compresión es 1.59 t

$L = 1.44 \text{ m}$; Proponiendo un diámetro de $D = 15 \text{ cm}$ $t = 3 \text{ cm}$; Para columnas cortas $\mu = 0.39$;

- Diseñando elemento a compresión.

$$F_{Crit} = (\pi^2 E (t^2/12)) / ((1 - \mu^2) L^2) \text{ obtenido NSR-97}$$

$$F_{CRIT} = (\pi^2 (105723 \text{ kg/cm}^2) ((3 \text{ cm})^2 / 12)) / ((1 - 0.39^2) (144 \text{ cm}^2)) = 44.51 \text{ kg/cm}^2$$

$$R = (f_{CRIT} / f_C) = < 1 ; R = 0.44 ; C_p = ((1 + R) / 1.7) - \sqrt{((1 + R) / 1.7)^2 - (R / 0.8)}$$

$$C_p = (1.44 / 1.7) - \sqrt{((1.44 / 1.7)^2 - (0.44 / 0.8))} : 0.44$$

$P = (0.44) (44.51) (113.1) = 2214.99$ kg/cm cumple. > Mayor que la carga actuante del elemento.

- Diseñando elemento tensión

Misma longitud $L=1.44$ m y carga actuante el esfuerzo critico es el mismo actuante que en el de compresión.

$$R = \frac{44.51}{123.4} = 0.36$$

$$C_p = 0.364$$

$$P = (0.364) (44.51) (113.1)$$

$P = 1812.27$ kg/cm > 1590 kg/cm que es la carga actuante en el elemento a tensión.

Las dimensiones de los elementos de la armadura será de $D = 15$ cm y espesor de 3cm.

Detalles de las uniones de la armadura.

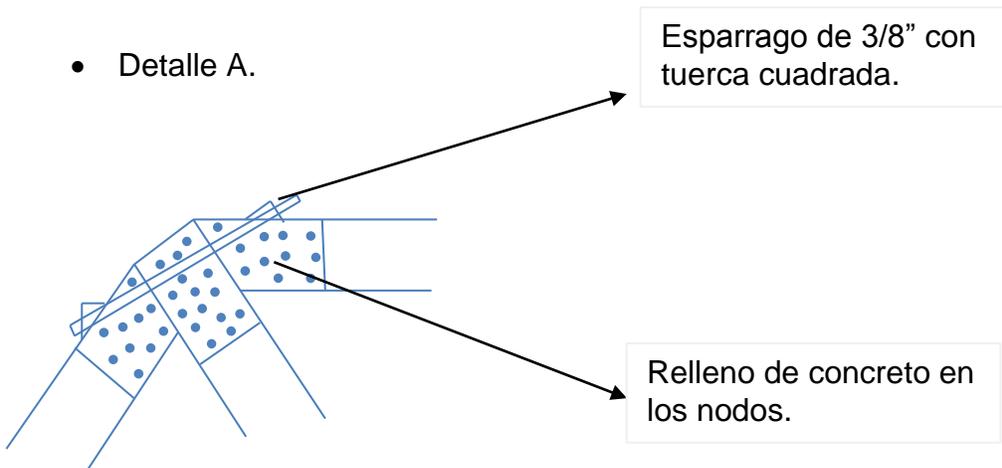


Figura 7.5 Detalle de la unión de los elementos de bambú unidos por pernos y concreto en su interior. Ver figura 7.4 nodo J.

- Detalle B.

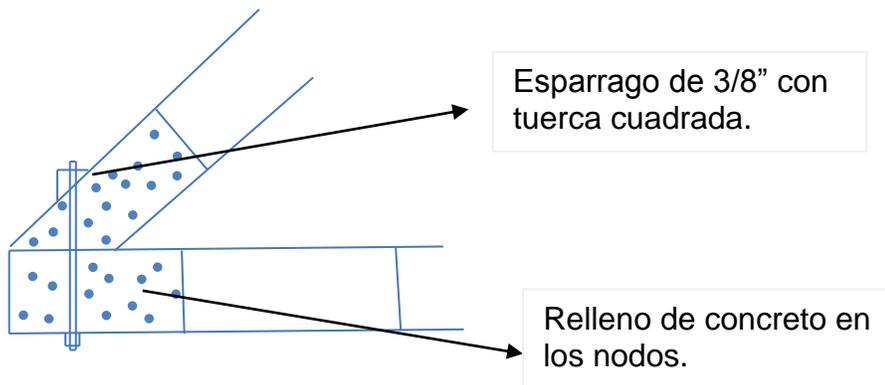


Figura 7.6 Detalle de la armadura unión en unos de los extremos ver figura 7.4 nodo A. con perno de 3/8 y tuerca.

Detalles c.

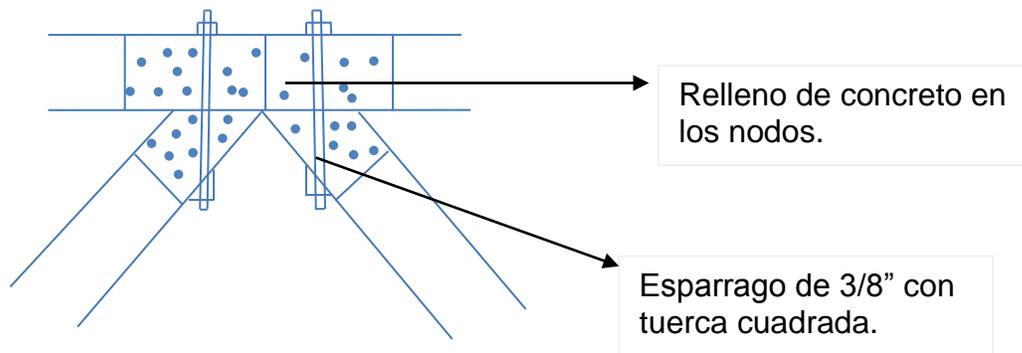


Figura 7.7 Detalle de la armadura unión en unos de los extremos ver figura 7.4 nodo k. con perno de 3/8 y tuerca.

8. CONCLUSIONES.

De acuerdo a los ensayos realizados y resultados obtenidos podemos concluirlo siguiente:

El empleo de los dispositivos de ensaye a cortante y tracción perpendicular a la fibra fabricados; fue adecuado debido a que se logró emplear el efecto producido por la carga axial de una manera más clara y también a la consistencia de los valores obtenidos en este ensaye.

El bambú *Guadua Amplexifolia*, es un material apto para la construcción ya que posee características similares al bambú *Guadua angustifolia* usado normalmente en la construcción en otros países de América y Asia. El *Guadua Amplexifolia* posee una alta resistencia a tracción y compresión paralelo a sus fibras, es un material con un grado de rigidez alto debido al módulo de elasticidad que presenta a compresión y tracción cuyo valor del módulo elasticidad es de 11487.7 kg/cm² y 130560 kg/cm² respectivamente.

El esfuerzo admisible a compresión es 101.4 kg/cm², que es un valor aceptable comparándolo con maderas usualmente en la construcción, estando por encima de maderas como Pino, cedro real, genízaro, que son maderas usualmente utilizadas en la construcción.

El esfuerzo admisible a tracción paralela a la fibra es de 123.4 kg/cm² lo que lo hace un material muy resistente debido a que su valor a tensión supera el esfuerzo de las maderas utilizadas en el reglamento nacional de la construcción (ver tabla sección 6.9). El esfuerzo admisible a cortante es de 18.5 kg/cm² posee una resistencia al cortante mayor que el *Guadua angustifolia* que es 11 kg/cm²

El *Amplexifolia* es débil al ser expuesto a tracción perpendicular su esfuerzo admisible a tracción perpendicular a la fibra es 3.2 kg/cm² es un valor muy bajo

Capacidad de resistencia del bambú *Guadua Amplexifolia* para propósitos constructivos

debido a su composición tubular que es hueco en su interior. La guadua *Amplexifolia* es altamente resistente paralelo a sus fibras.

La aplicación de los parámetros de resistencia mecánica de la guadua *Amplexifolia* en el diseño de las vigas y armadura del puente peatonal cumplieron con los criterios de diseños empleados.

9. BIBLIOGRAFIA.

Blanco, A. (2000). *Bambuspace*. Guatemala. Amaru, Ediciones.

Brigitte, C & Diego, M. (2004). *Procedimiento de ensayo para la determinación de las propiedades físico mecánicas de la Guadua*. Tesis de grado para optar al título de Ingeniero Civil. Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola, universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia, 2004.C

Dinwoodie, J. M. (1996). *Propiedades mecánicas del bambú*. Germania: Editorial, A. Publisher.

INTERNATIONAL NETWORK FOR BAMBOO AND RATTAN (INBAR). Laboratory manual on testing methods for determination of physical and mechanical properties of bamboo. INBAR. 1999.

LÓPEZ, Luis Felipe y SILVA, Mario Felipe. *Comportamiento sismo resistente de estructuras en Bahareque. Manizales, 2000*. Trabajo de grado (Ingeniero Civil). Universidad Nacional de Colombia. Sede Manizales. Facultad de Ingeniería.

McClure, F. A. (1966). *El bambú como material de construcción*. (1ª Ed.). Colombia: Bogotá. Printed Colombia.

Martin, o. (2004). *Recursos sostenibles para estructuras espaciales, (bambú)*. Medellín, Colombia: Facultad de ingeniería, universidad nacional de Colombia.

Nelson, P. & Diego, A. (2005). *Resistencia al corte paralelo a la fibra de la guadua angustifolia*. Tesis para optar al título de ingeniero civil. Departamento de construcción, Universidad nacional de Colombia, Bogotá, Colombia, 2005.p.15.

Oscar, H. (1978). *Nuevas técnicas de construcción con bambú*. 1^{era} edición. Colombia. Bogotá. Publicado en estudios técnicos colombianos.

Prieto, R. (2011). *Diseño y construcción con bambú*. Perú: lima. Asociación publicadora interamericana.

Reglamento nacional de la construcción. (2007). NORMAS MINIMAS GENERALES PARA MADERA/ RNC-07-71.

Grupo Andino, (1974). Manual de diseño para maderas. Junta del acuerdo de Cartagena, Colombia.

Luis, Aguilera. (2003). Propiedad mecánicas de los materiales. Valparaíso, Chile. Printed Chile.

Lena, mora y Emilio, Álvarez. (2009). Determinación de propiedades mecánicas de las fibras de Bambusa. Villa Clara, CUBA

Normas Colombianas De Diseño Y Construcción Sismo Resistente. (1997). Diseño de elementos solicitados a flexión. Asociación Colombiana De Ingeniería Sísmica. NSR-97

ANEXOS

ANEXO A: Descripción de los equipos a utilizar.

Entre los equipos que se utilizaron el equipo principal para la elaboración de los diferentes tipos de ensayos es la Máquina Universal marca HOYTOM Leíoa modelo DI-CP/V2 con capacidad de 600KN en ella se pueden realizar ensayos de tensión y compresión. Cuya máquina es la que se utilizar para emplear las condiciones de cargas en dos de los ensayos como son el ensaye de tracción paralela a la fibra y perpendicular a la fibra del Guadua.



Figura A.1 Máquina utilizada para realizar los ensayos de compresión paralela a la fibra este equipo de marca HOYTOM Leíoa modelo DI-CP/V2 con capacidad máxima de carga de 600 KN se encuentra localizada en los laboratorios de ingeniería del recinto de la UNAN-RURMA, perteneciente a la UNAN-MANAGUA.

Descripción de equipo prueba a tracción paralela a la fibra.

El equipo que se utilizara en este ensaye es el siguiente:

Vernier y mordazas planas.

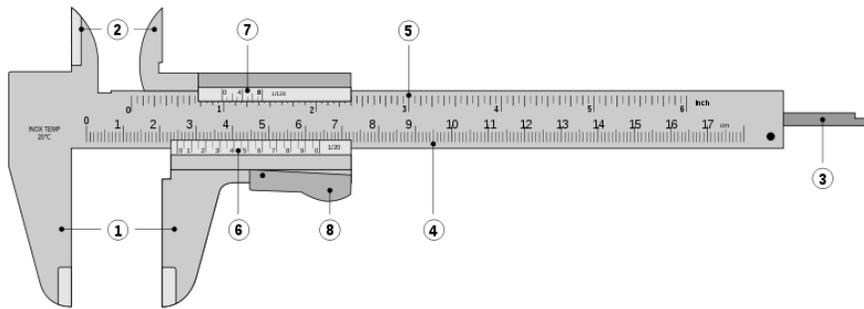


Figura A.2 Vernier Capacidad de medir dimensiones físicas de la probeta con aproximación de 0.1mm. 0.1 mm.



Figura A.3 Mordazas que impidan el deslizamiento de las probetas. Se encuentra localizado en los laboratorios de ingeniería del recinto de la UNAN-RURMA, perteneciente a la UNAN-MANAGUA.

Ensayo de tracción perpendicular a la fibra de guadua.

Los equipos que se utilizaran en este ensaye son los siguientes:

- Maquina universal HOYTOM Leíoa.
- Calibrador (Vernier), con capacidad de medir las dimensiones físicas de la probeta con aproximación de 0.1mm.
- Dispositivo de carga para lograr el efecto deseado.

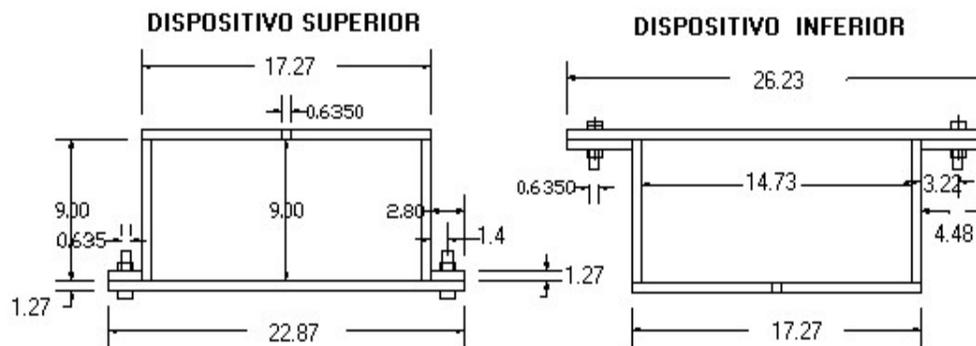


Figura A.4 Extraída de las normas de INBAR. Dispositivo para transmisión de carga.

Dispositivo de sujeción.

Indicador de carga.

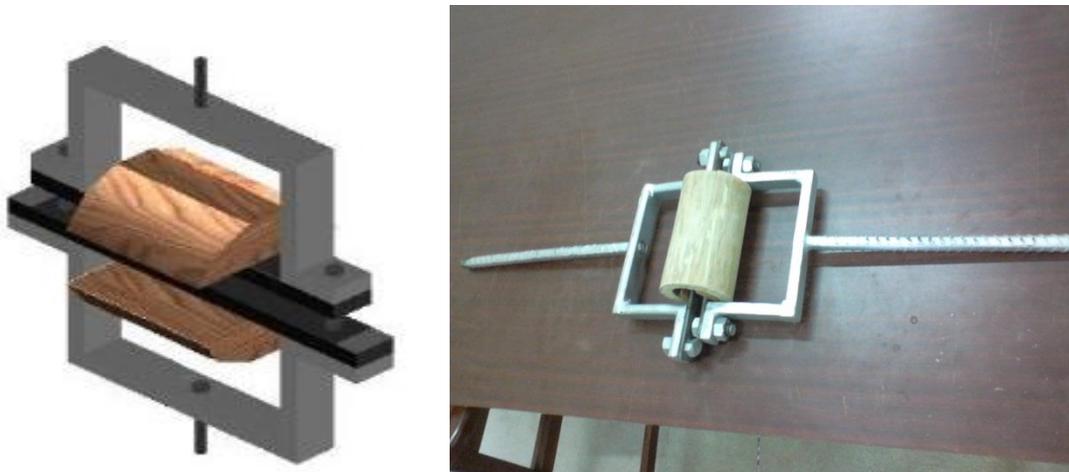


Figura A.5 Dispositivo de ensayo tensión perpendicular a la fibra.

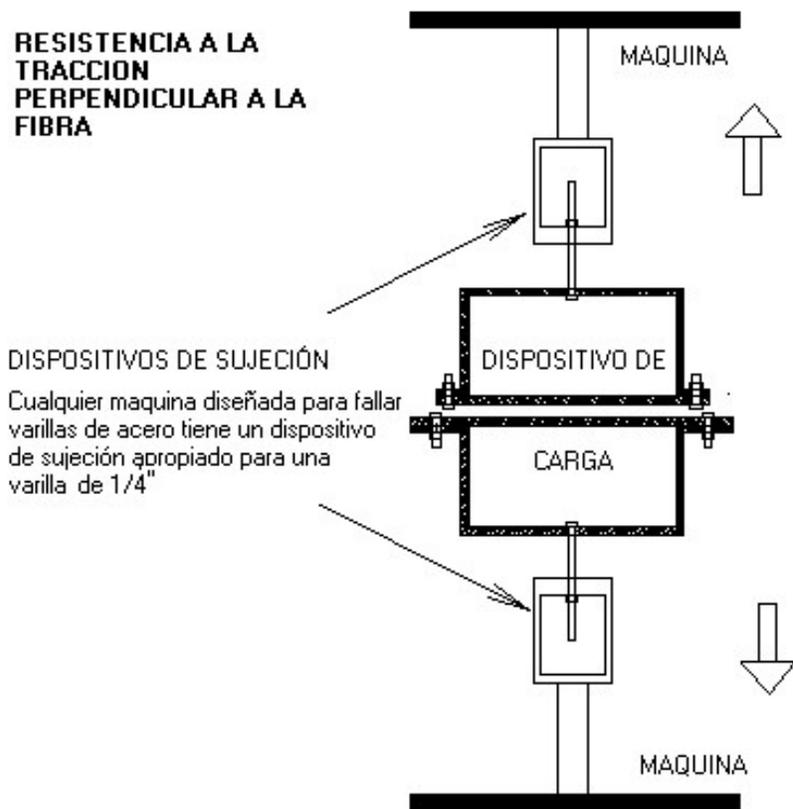


Figura A.6 Resistencia a la tracción perpendicular a la fibra.



Figura A.7 Mordazas con ranura para varilla de media. Tomada de los laboratorios de ensaye a tracción perpendicular a la fibra.

Descripción de equipo prueba a compresión.



Figura A.8 Máquina utilizada para realizar los ensayos de compresión paralela a la fibra este equipo con capacidad máxima de carga de 600 KN se encuentra localizada en los laboratorios de ingeniería del recinto del RUPAP perteneciente a la UNI.

- Un calibrador de capacidad de medir las dimensiones físicas de la probeta con aproximación de 0.1 mm (vernier, ver figura A.2).

Descripción de equipo prueba Corte Paralelo a la Fibra.



Figura A.9 Máquina utilizada para realizar los ensayos de compresión paralela a la fibra este equipo con capacidad máxima de carga de 600 KN se encuentra localizada en los laboratorios de ingeniería del recinto del RUPAP perteneciente a la UNI.

- Calibrador de Vernier con nonio capaz de medir las dimensiones físicas de la probeta con aproximación de 0.1 mm.
- Dispositivos de ensayos para prueba de cortante. (dimensiones en cm).

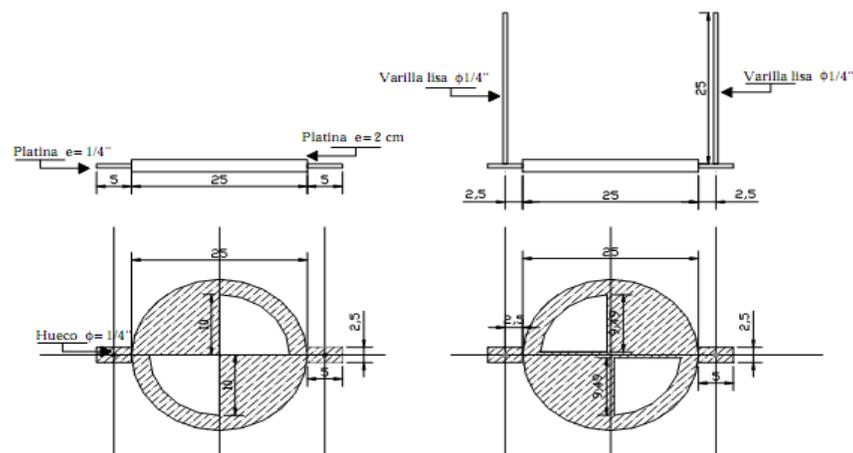


Figura A.10 Estos son los dispositivos de ensayos para la realización de corte paralelos a la fibra.

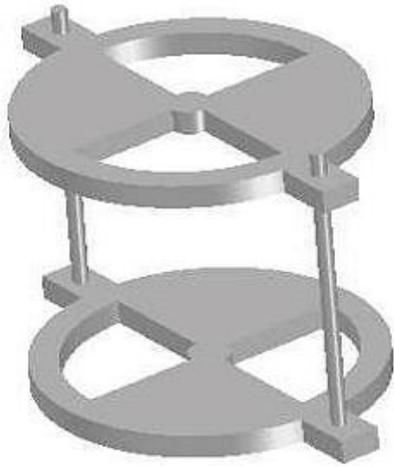


Figura A.11 Dispositivo de ensaye para determinar el cortante paralelo a la fibra con una vista en 3D.

ANEXO B: Cálculos y graficas del ensaye a compresión.

Tabla B.1 Datos recolectados muestra 1.

Nº muestra	Diámetros (cm)				Espesores (cm)				Lec. Deformímetros		
	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	L. Izq	L. Der	Carga (Kg)
									1.15	0.95	500
									2.65	2.95	1000
									4.8	5.7	1500
									8.55	8.95	2000
									11.75	12.75	2500
									16.98	18.02	3000
									21.85	23.65	3500
2	7.4	7	7.6	6.8	2	1.6	1.8	1.8	28.75	32.15	4000
									44.32	46.68	4500
									63.25	68.35	5000
									95.32	100.68	5500
									210.4	212.4	6000
									238.56	249.34	6500

Tabla B.2 Resultados muestra 1.

Tablas de resultados de los ensayos de compresion											
Nº muestra	Longitud L(mm)	Diam. Prom cm	Esp.prom (cm)	Area tran	carga kg	esfuerzo Kg/cm ²	lectprom (mm)	def.ε (mm)	limite de proporkg/cm ²	modulo elasticidadkg/cm ²	
2	35	7.2	1.8	30.54	500	16.374	0.011	0.0003	112.0170269	12875.520	
	30.54	7.2	1.8	30.54	1000	32.744	0.028	0.0008			
					1500	49.116	0.053	0.0015			
					2000	65.488	0.088	0.0025			
					2500	81.860	0.123	0.0035			
					3000	98.232	0.175	0.0050			
					3500	114.604	0.228	0.0065			
					4000	130.976	0.305	0.0087			
					4500	147.348	0.455	0.0130			
					5000	163.720	0.658	0.0188			
					5500	180.092	0.980	0.0280			
					6000	196.464	2.114	0.0604			
					6220	203.667	2.440	0.0697			

- Grafica ensaye a compresión muestra 1.

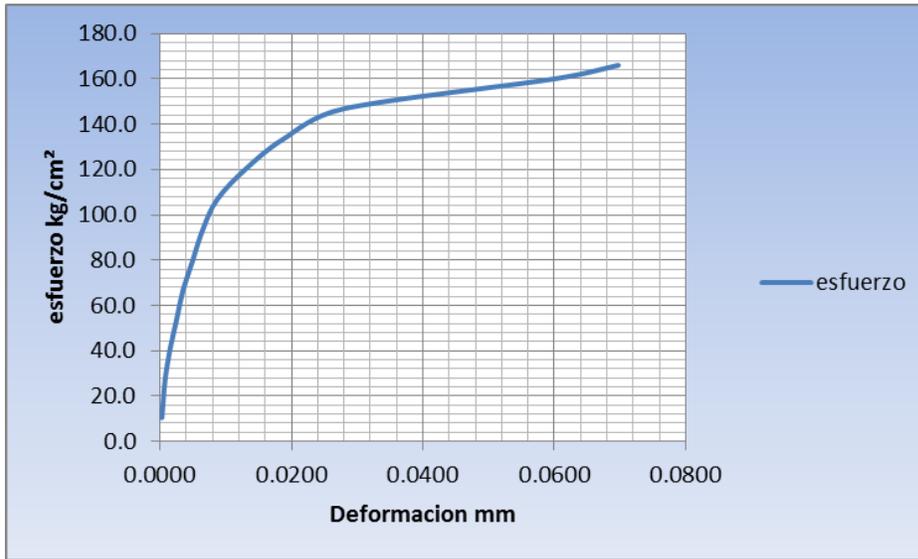


Figura B.1 Grafica esfuerzo Vs deformación muestra 1 ensaye a compresión para la determinación del módulo de elasticidad.

Tabla B.3 Datos recolectados muestra 2.

Nº muestra	Diámetros (cm)				Espesores (cm)				Lec. Deformímetros		Carga (Kg)
	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	E ₁	E ₃	E ₃	E ₄	L. Izq	L. Der	
									1.08	1.2	500
									1.42	1.62	1000
									1.65	2.15	1500
									2.31	2.25	2000
									2.44	2.88	2500
									3.25	4.35	3000
									4.12	5	3500
3	7.6	7	6.8	7.8	1.3	1.6	1.5	1.6	5.75	6.41	4000
									7.59	9.89	4500
									12.85	13.75	5000
									19.65	22.15	5500
									32.75	34.89	6000
									49.78	53.58	6500

Capacidad de resistencia del bambú *Guadua Amplexifolia* para propósitos constructivos

Tabla B.4 Resultados muestra 2.

Tablas de resultados de los ensayos de compresion											
Nº muestra	Longitud L(mm)	Diam. Prom cm	Esp.prom (m)	Area tran	carga kg	esfuerzo	lectprom	def.ε	limite de proporkg/cm²	modulo elasticidadkg/cm²	
3	38	7.3	1.5	27.33	500	18.294	0.011	0.0003	130.8086352	81755.397	
				27.33	1000	36.590	0.015	0.0004			
				27.33	1500	54.885	0.019	0.0005			
				27.33	2000	73.180	0.023	0.0006			
				27.33	2500	91.475	0.027	0.0007			
				27.33	3000	109.769	0.038	0.0010			
				27.33	3500	128.064	0.046	0.0012			
				27.33	4000	146.359	0.061	0.0016			
				27.33	4500	164.654	0.087	0.0023			
				27.33	5000	182.949	0.133	0.0035			
				27.33	5500	201.244	0.209	0.0055			
				27.33	6000	219.539	0.338	0.0089			
				27.33	6500	237.834	0.517	0.0136			

- Grafica ensaye a compresión muestra 2.

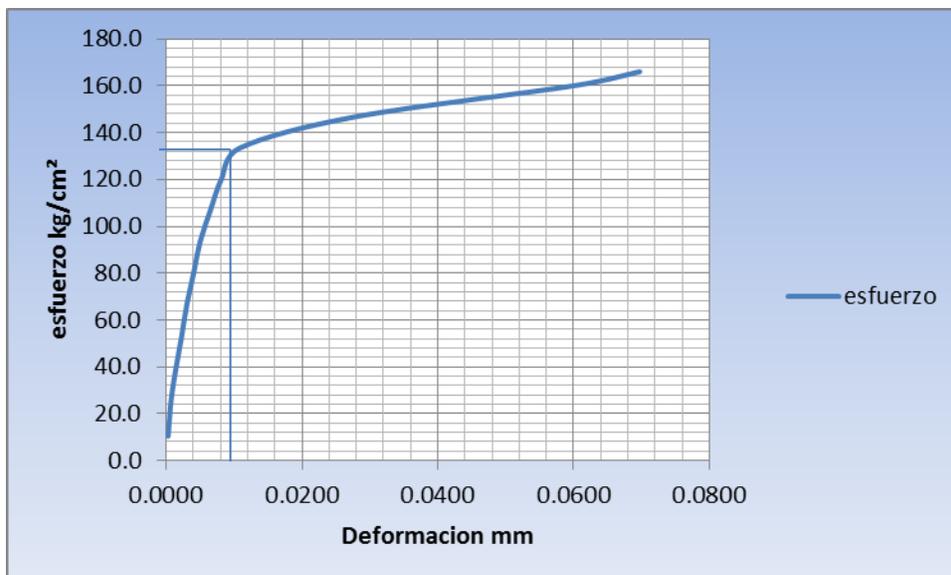


Figura B.2 Grafica esfuerzo Vs deformación muestra 2 ensaye a compresión para la determinación del módulo de elasticidad.

Capacidad de resistencia del bambú *Guadua Amplexifolia* para propósitos constructivos

Tabla B.5 Datos recolectados muestra 3.

Nº muestra	Diámetros (cm)				Espesores (cm)				Lec. Deformímetros		Carga (Kg)
	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	E ₁	E ₃	E ₃	E ₄	L. Izq	L. Der	
									1.2	1.6	500
									3.95	4.23	1000
									6.95	8.32	1500
									9.85	11.75	2000
									13.8	15	2500
									16.89	18.39	3000
									20.85	22.35	3500
4	7.9	7.7	7	7	1.1	1.2	1.4	1.3	30.24	33.84	4000
									63.8	65.8	4500

Tabla B.6 Resultados muestra 3.

Tablas de resultados de los ensayos de compresion											
Nº muestra	Longitud L (mm)	Diam. Prom cm	Esp.prom (m)	Area tran	carga kg	esfuerzo	lectprom	def.ε	limite de propor kg/cm²	modulo elasticidadkg/cm²	
4	36	6.9	1.25	22.19	500	22.535	0.014	0.0004	111.5367283	11487.865	
				22.19	1000	45.065	0.041	0.0012			
				22.19	1500	67.598	0.076	0.0023			
				22.19	2000	90.131	0.108	0.0033			
				22.19	2500	112.663	0.144	0.0044			
				22.19	3000	135.196	0.176	0.0053			
				22.19	3500	157.729	0.216	0.0065			
				22.19	4000	180.261	0.320	0.0097			
				22.19	4500	202.794	0.648	0.0196			

Capacidad de resistencia del bambú *Guadua Amplexifolia* para propósitos constructivos

- Grafica ensaye a compresión muestra 3.

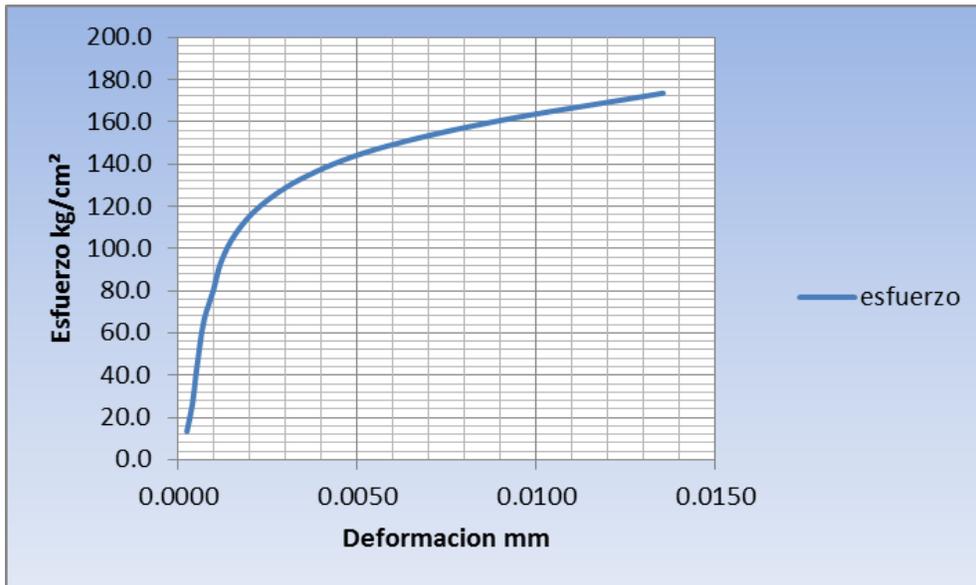


Figura B.3 Grafica esfuerzo Vs deformación muestra 3 ensaye a compresión para la determinación del módulo de elasticidad.

Tabla B.7 Datos recolectados muestra 4.

Nº	Diámetros (cm)				Espesores (cm)				Lec. Deformímetros		Carga (Kg)
	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	E ₁	E ₃	E ₃	E ₄	L. Izq	L. Der	
									1.53	1.57	500
									2.29	2.33	1000
									3.1	3.5	1,500
									4.27	4.31	2,000
									5.25	5.31	2,500
									6.4	6.8	3,000
									7.56	7.62	3,500
5	9.1	9.3	9.4	9.1	2.1	2	2.3	2	8.43	8.73	4,000
									9.48	10.32	4,500
									10.9	11.54	5,000
									12.34	12.74	5,500
									13.79	13.93	6,000
									15.3	16.38	6,500
									17.62	18.02	7,000
									20.85	22.05	7,500
									24.56	24.94	8,000
									27.55	27.89	8,500
									31.9	33.1	9,000
									37.8	38.2	9,500
								49.25	50.75	9,650	

Capacidad de resistencia del bambú *Guadua Amplexifolia* para propósitos constructivos

Tabla B.8 Resultados muestra 4.

Tablas de resultados de los ensayos de compresion										
Nº muestra	Longitud L(cm)	Diam. Prom cm	Esp.prom (mm)	Area trans.	carga kg	esfuerzo	lectprom	def.ε	limite de prop	modulo elasticidadkg/cm²
5	33	9.2	2.1	47.01	500	10.637	0.016	0.0005	112.9015103	43423.658
				47.01	1000	21.272	0.023	0.0007		
				47.01	1500	31.908	0.033	0.0010		
				47.01	2000	42.544	0.043	0.0013		
				47.01	2500	53.180	0.053	0.0016		
				47.01	3000	63.816	0.066	0.0020		
				47.01	3500	74.452	0.076	0.0023		
				47.01	4000	85.088	0.086	0.0026		
				47.01	4500	95.724	0.099	0.0030		
				47.01	5000	106.360	0.112	0.0034		
				47.01	5500	116.996	0.125	0.0038		
				47.01	6000	127.632	0.139	0.0042		
				47.01	6500	138.268	0.158	0.0048		
				47.01	7000	148.904	0.178	0.0054		
				47.01	7500	159.541	0.215	0.0065		
				47.01	8000	170.177	0.248	0.0075		
				47.01	8500	180.813	0.277	0.0084		
				47.01	9000	191.449	0.325	0.0098		
				47.01	9500	202.085	0.380	0.0115		
				47.01	9650	205.275	0.500	0.0152		

- Grafica ensaye a compresión muestra 5.

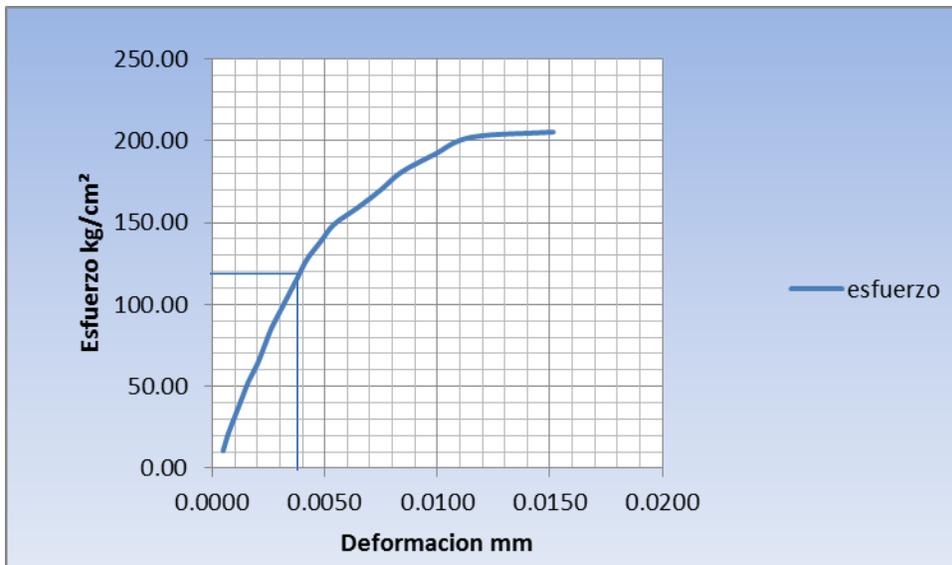


Figura B.4 Grafica esfuerzo Vs deformación muestra 4 ensaye a compresión para la determinación del módulo de elasticidad.

Capacidad de resistencia del bambú *Guadua Amplexifolia* para propósitos constructivos

Tabla B.9 Datos recolectados muestra 5.

Nº muestra	Diámetros (cm)				Espesores (cm)				Lec. Deformímetros		Carga (Kg)
	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	E ₁	E ₃	E ₃	E ₄	L. Izq	L. Der	
									0.9	1.1	500
									1.8	2.4	1000
									2.5	3.8	1,500
									4.2	4.9	2,000
									5.2	6.7	2,500
									6.3	8.4	3,000
									8.3	9.2	3,500
6	7.5	7.5	8.1	6.9	2.5	2.1	2.2	2.6	9.6	10.7	4,000
									11.5	12.3	4,500
									12.5	14.1	5,000
									13.8	15.6	5,500
									15.6	16.6	6,000
									17.5	18.9	6,500
									19.1	22.9	7,000
									25.9	26.1	7,500
								33.4	33.6	8,000	

Tabla B.10 Resultados muestra 5.

Tablas de resultados de los ensayos de compresion											
Nº muestra	Longitud L(mm)	Diam.Prom cm	Esp.prom (mm)	Area trans.	carga kg	esfuerzo	lectprom	def.ε	limite de prop	modulo elasticidad kg/cm	
6	35	7.5	2.35	38.02	500	13.151		0.010	0.0003	115.7285639	39906.401
				38.02	1000	26.302		0.021	0.0006		
				38.02	1500	39.453		0.032	0.0009		
				38.02	2000	52.604		0.046	0.0013		
				38.02	2500	65.755		0.060	0.0017		
				38.02	3000	78.906		0.074	0.0021		
				38.02	3500	92.057		0.088	0.0025		
				38.02	4000	105.208		0.102	0.0029		
				38.02	4500	118.359		0.119	0.0034		
				38.02	5000	131.510		0.133	0.0038		
				38.02	5500	144.661		0.147	0.0042		
				38.02	6000	157.812		0.161	0.0046		
				38.02	6500	170.963		0.182	0.0052		
				38.02	7000	184.114		0.210	0.0060		
				38.02	7500	197.265		0.260	0.0074		
38.02	8000	210.416		0.335	0.0096						

- Grafica ensaye a compresión muestra 6.

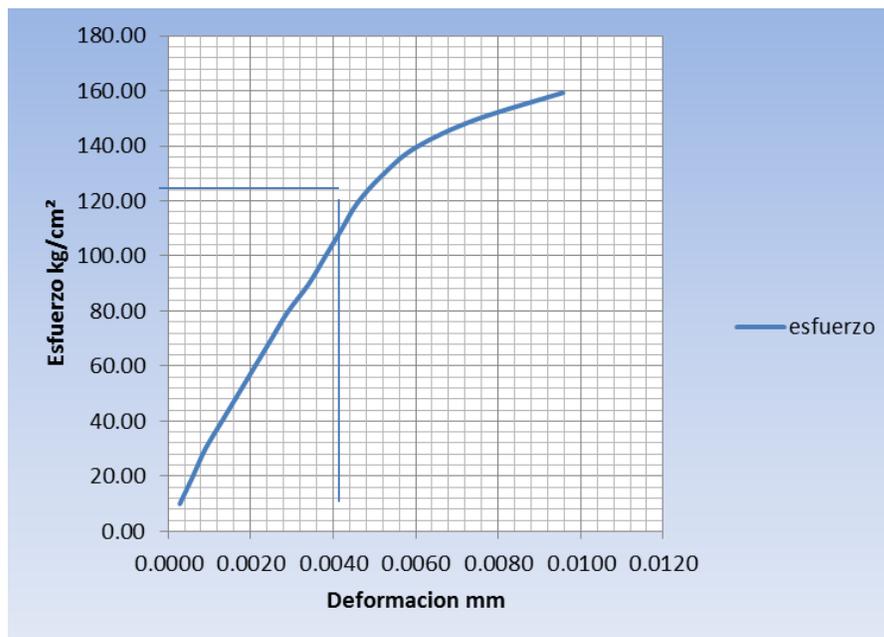


Figura B.5 Grafica esfuerzo Vs deformación muestra 5 ensaye a compresión para la determinación del módulo de elasticidad.

Tabla B.11 Resultados de compresión y módulo de elasticidad obtenido en el ensaye a compresión.

Nº	esfuerzo kg/cm ²	Modulo de elasticidad kg/cm ²
1	302.176	43735.95
2	203.667	12875.52
3	237.834	81755.40
4	202.794	11487.87
5	205.275	43423.66
6	210.416	39906.40

ANEXO C. Contenido de humedad.

C-1. Determinación del contenido de humedad al espécimen de bambú *Guadua Amplexifolia*.

El contenido de humedad del material se define como la relación, expresada en porcentaje, entre la masa de agua libre y la masa de las partículas sólidas de material. El contenido de humedad es una de las propiedades índices más significativas, que se emplea para establecer una correlación entre el comportamiento de la guadua y sus propiedades mecánicas.

Para determinar la humedad, tenemos que saber que en el momento en el que el valor de humedad supere el 15%, se considera que el bambú *Guadua Amplexifolia* está demasiado húmeda, lo cual disminuye su resistencia mecánica y aumenta el riesgo de ataques por hongos o insectos xilófagos que finalmente acabaría dañando la estructura de la madera o alterando la calidad de la madera disminuyendo su resistencia.

C-1.1 Equipo a utilizar.

- a. Horno, controlado termostáticamente, preferiblemente del tipo de corriente de aire y que mantenga una temperatura uniforme en toda la cámara de secado.
- b. Balanzas, con una división de escala de ± 0.1 g para muestras que tengan un peso de 500 g o menos.

C-1.2. Selección de muestras.

Se tomarán las probetas ensayadas de cada uno de los diferentes ensayos cuando su longitud sea menor de 0.3 m o un segmento del culmo (cuando sea posible se cortarán cilindros de longitud igual a 7cm.) que contenga parte del nudo

y parte de las paredes del material. Se tomaran 3 probetas por ensayo de igual dimensiones.

C-1.3. Procedimiento.

- a. Determinar el peso de la muestra antes de colocarla al horno.
- b. Después que el material se haya secado a peso constante (24 horas a 110oC), retirar la probeta del horno, permitir que el material disipe la energía calórica hasta que pueda ser manipulada sin riesgo, evitando que absorba humedad del ambiente y pésese el material.
- c. Determínese el peso de la muestra seca al horno, usando la misma balanza que usó para determinar el peso húmedo.

C-1.4. Cálculos.

Calcúlese el contenido de agua de la muestra así:

$$CH = ((P1-P2)/(P2)) \times 100$$

Dónde:

CH = Contenido de agua %.

P1= Peso del espécimen húmedo, g.

P2= Peso del espécimen seco, g.

Tabla de resultados.

Tabla C.1 Resultados de humedad de muestras de ensaye a compresión.

nombre de ensaye		compresion	
Nº muestras	peso humedo	peso seco	% de humedad
1	425	393.5	0.08
2	436	400.0	0.09
3	405	368.2	0.1
%de humedad			9%

Tabla C.2 Resultados de humedad de muestras de ensaye a cortante.

nombre de ensaye		Cortante	
Nº muestras	peso húmedo	peso seco	% de humedad
1	385	350	0.1
2	396	370.09	0.07
3	355	328.70	0.08
%de humedad			8.3%

Tabla C.3 Resultados de humedad de muestras de ensaye a tracción perpendicular a la fibra.

nombre de ensaye		tracción perpendicular	
Nº muestras	peso húmedo	peso seco	% de humedad
1	365.5	335.32	0.09
2	376	348.15	0.08
3	362.8	335.93	0.08
%de humedad			8.3%

Capacidad de resistencia del bambú *Guadua Amplexifolia* para propósitos constructivos

Tabla C.4 Resultados de humedad de muestras de ensaye a tracción paralela a la fibra.

nombre de ensaye		tracción paralela	
Nº muestras	peso húmedo	peso seco	% de humedad
1	256	237.04	0.08
2	258	234.5	0.1
3	248	225.5	0.1
%de humedad			9%

Anexo D. Imagen representativo de lugares existentes del bambú en Nicaragua.

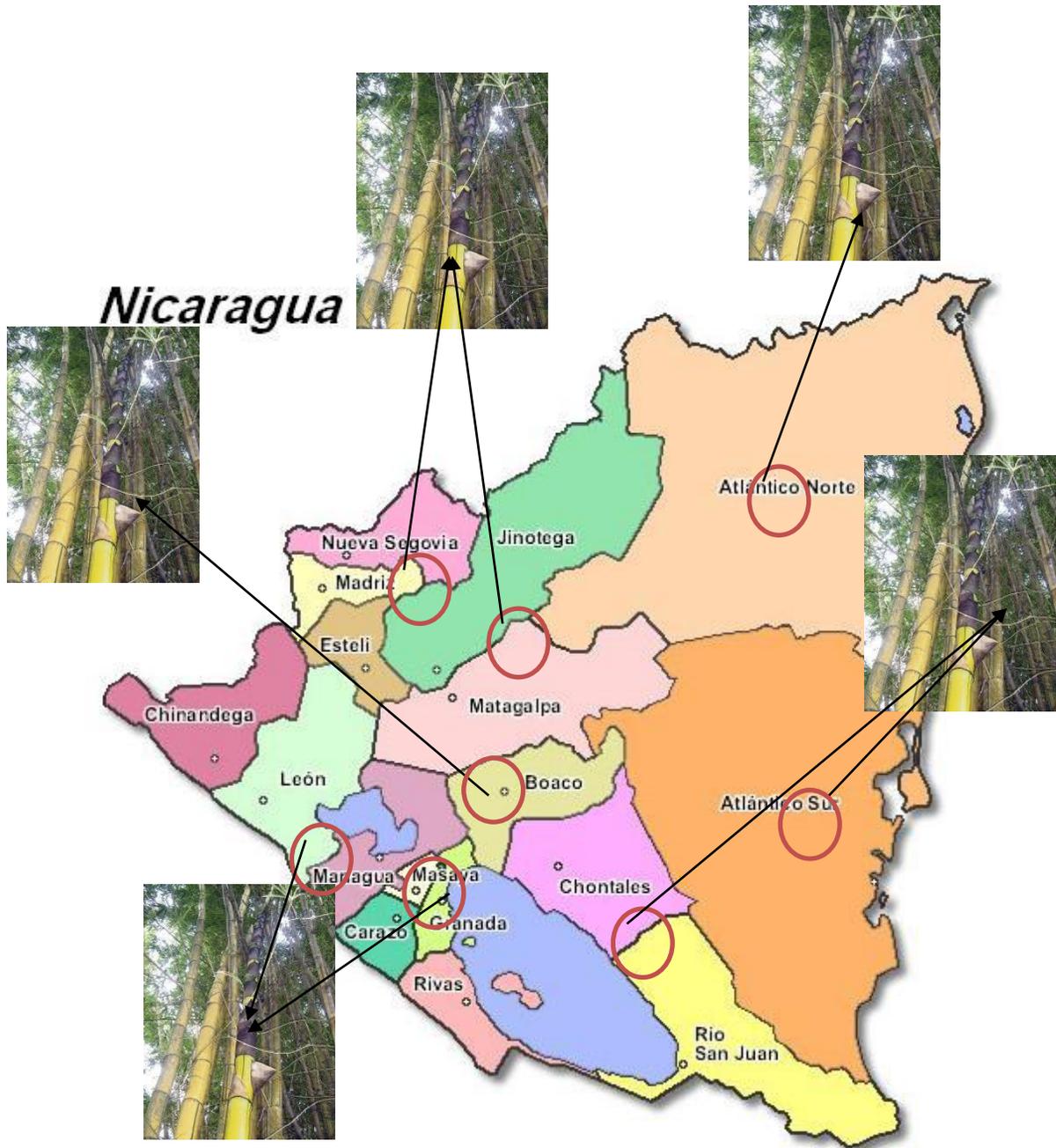


Figura D.1. Ubicación de lugares en los que se puede encontrar bambú en Nicaragua. (Imagen recuperada de <http://edatel.com.ni/nicaragua.html>)

11. GLOSARIO.

Tensión: Se denomina tensión. A la prueba de ensayo que permite conocer las características de un material cuando se somete a un esfuerzo de tracción.

Flexión: Se denomina flexión a la prueba de ensayo que consiste en someter a una deformación ya sea una probeta recta de sección plana, circular, prismática o poligonal mediante el pliegue de ésta, sometidas a partes iguales y opuesto en sus extremos.

Compresión: Se denomina compresión a la prueba de ensayo técnico para determinar la resistencia de un material o su deformación ante un esfuerzo de compresión. Este ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a los especímenes a una velocidad de carga prescrita, hasta que se presente la falla.

Cortante: Se denomina cortante al ensayo que se realiza para determinar la resistencia al corte. Consiste en aplicar cargas de compresión a los cilindros a una velocidad de carga prescrita hasta que la probeta presente una ruptura o también conocida como falla.

Módulo de Elasticidad o Young: Se designa usualmente por E . Está asociado directamente con los cambios de longitud que experimenta un material etc. cuando está sometido a la acción de tensiones de tracción o de compresión. Por esa razón se le llama también módulo elástico longitudinal.

Módulo de compresibilidad: Se designa usualmente por K . Está asociado con los cambios de volumen que experimenta un material bajo la acción de esfuerzos (generalmente compresores) que actúan perpendicularmente a su superficie. No implica cambio de forma, tan solo de volumen.

Módulo elástico transversal: Se designa usualmente por G . Está asociado con el cambio de forma que experimenta un material bajo la acción de esfuerzos cortantes. No implica cambios de volumen, tan solo de forma. También se le llama módulo elástico tangencial y módulo elástico cortante.

Área: El área (abreviado con el símbolo a) es una medida de la extensión de una superficie, expresada en unidades de medida denominadas Unidades de superficie. Para superficies planas el concepto es más intuitivo. Cualquier superficie plana de lados rectos puede triangularse y se puede calcular su área como suma de las áreas de dichos triángulos.

Fuerza: La fuerza es una magnitud física que mide la intensidad del intercambio de momento lineal entre dos partículas o sistemas de partículas (en lenguaje de la física de partículas se habla de interacción). Según una definición clásica, fuerza es todo agente capaz de modificar la cantidad de movimiento o la forma de los cuerpos materiales.

Deformación: La deformación es el cambio en el tamaño o forma de un cuerpo debido a esfuerzos internos producidos por una o más fuerzas aplicadas sobre el mismo o la ocurrencia de dilatación térmica.

Perpendicular: La condición de perpendicularidad, se da entre dos entes geométricos que se cortan formando un ángulo recto. La perpendicularidad es una propiedad fundamental estudiada en geometría y trigonometría.

Límite de proporcionalidad: El mayor esfuerzo en el que el éste es directamente proporcional a la deformación. Es el mayor esfuerzo en el cual la curva en un diagrama esfuerzo-deformación es una línea recta. El límite proporcional es igual al límite elástico para materiales.

Límite de fluencia (s): Tensión a la cual se produce el primer alargamiento permanente de la probeta, sin aumento o con disminución de carga.

Esfuerzo: Las fuerzas internas de un elemento están ubicadas dentro del material por lo que se distribuyen en toda el área; justamente se denomina esfuerzo a la fuerza por unidad de área, la cual se denota con la letra griega sigma (σ) y es un parámetro que permite comparar la resistencia de dos materiales, ya que establece una base común de referencia.

Esfuerzo de fluencia: El esfuerzo de fluencia es el valor mínimo de esfuerzo para el cual el elemento comienza a deformarse plásticamente.

Esfuerzo de Fluencia o Punto Cedente: En este punto el material desarrolla un marcado incremento de la deformación sin aumentar el esfuerzo. En la figura el punto cedente está determinado por las ordenadas de (B y C), de los cuales B es el punto cedente superior y C el punto cedente inferior.

Esfuerzo Último: Es el mayor esfuerzo basado en el área original que puede desarrollar un material así que es la máxima ordenada de un diagrama Esfuerzo/Deformación.

Esfuerzo de Rotura: Es el esfuerzo en un material basado en el área original en el instante en que se rompe.

Esfuerzo Admisible: Es el máximo esfuerzo al que puede ser sometido un material con cierto grado de seguridad.

Factor de Seguridad: Relación entre el esfuerzo último y el esfuerzo admisible. Lo cual genera un parámetro para un respectivo diseño.

Ductilidad: Es la habilidad de un material para deformarse plásticamente ante la fractura bajo esfuerzo de tracción.

Maleabilidad: Es el mismo concepto de ductilidad pero bajo un efecto de compresión.

Factor de duración de carga: Coeficiente que se emplea para elevar los valores ajustados según el factor dimensional siempre y cuando las cargas sean de poca duración; ya que la madera soporta mayores cargas durante períodos cortos de tiempo.

Lumen: es la unidad del Sistema Internacional de Medidas para medir el flujo luminoso, una medida de la potencia luminosa emitida por la fuente. El flujo luminoso se diferencia del flujo radiante en que el primero contempla la sensibilidad variable del ojo humano a las diferentes longitudes de onda de la luz.

Rizoma: Es un tallo modificado, subterráneo, que conforma el soporte de la planta. Es el lugar por donde la guadua absorbe los nutrientes. Se ha utilizado en estabilización de las laderas y prevención de la erosión producida por escorrentía, vientos fuertes y desmoronamiento.

Culmo: El culmo es el eje aéreo segmentado que emerge del rizoma y es la porción más útil del bambú. Los tallos de bambú se caracterizan por tener forma cilíndrica y entrenudos huecos, separados transversalmente por tabiques o nudos que le proporcionan mayor rigidez, flexibilidad y resistencia.

Rolliza: Estado cilíndrico natural de los tallos de bambú.

Secado: Proceso natural o artificial mediante el cual se reduce el contenido de humedad de la madera o bambú.

Resistencia: Oposición a la acción de una fuerza, capacidad para soportar un esfuerzo o un peso.

Extensómetro: Para la medición de las deformaciones en las probetas se usa un instrumento denominado extensómetro, el cual se fija por sus propios medios a las probetas.

Deformímetro: Son dispositivos que se adaptan a los especímenes y sirven para medir la deformación cuando la carga es aplicada.