

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE ALGUNAS
VARIETADES DE GUADUA DISPONIBLES EN VENEZUELA

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Presentado ante la

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

Como parte de los requisitos para optar por el título de

INGENIERO CIVIL

REALIZADO POR:

Lorena Angélica Carballo Fernández.

Gustavo Andrés Kosler Pérez.

PROFESOR GUÍA:

Ing. Yelitza Sirit.

Octubre de 2018.

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE ALGUNAS
VARIEDADES DE GUADUA DISPONIBLES EN VENEZUELA**

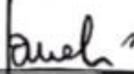
Este jurado; una vez realizado el examen del presente trabajo ha evaluado su contenido con el resultado:

.....VEINTE PUNTOS (20).....

JURADO EXAMINADOR

X 

Ing. María Barreiro.

X 

Ing. Vincenzo Bonadio.

TUTOR

X 

Ing. Yelitza Sirit.

REALIZADO POR:

Lorena Angélica Carballo Fernández.

Gustavo Andrés Kosler Pérez.

PROFESOR GUÍA:

Ing. Yelitza Sirit.

Octubre de 2018.



AGRADECIMIENTOS

Al finalizar este trabajo de grado, quiero utilizar este espacio para agradecer a mis padres, Rosa Fernández y Orlando Carballo, porque han sabido darme su ejemplo de trabajo y honradez, por guiarme en todo momento y no dejarme nunca sola, muy especialmente a mi padre quien fabricó los equipos necesarios para la medición de las deformaciones, por su apoyo incondicional y trabajo realizado en este trabajo de grado, sin su aporte, no habría sido posible lograrlo.

También quiero agradecer a mi hermana, Adriana Carballo por ser mi amiga y pilar en todo momento, a mi novio Joseph Albino, por su paciencia infinita y buenos consejos en los momentos más difíciles y a mi cuñado Paulo Da Camara por su apoyo incondicional.

A la Universidad Católica Andrés Bello, por ser la sede de todo el conocimiento adquirido en estos años.

Quiero agradecer a los ingenieros y profesores Guillermo Bonilla y Yelitza Sirit por su gran labor diaria, por enseñarnos el camino a seguir, formarnos como ingenieros y por los conocimientos impartidos, al profesor Heriberto Echezuría por seleccionarnos para llevar a cabo este proyecto.

Mis más sinceros agradecimientos a la empresa “Bambú Venezuela” por donarnos el material necesario para llevar a cabo este trabajo, al señor Pedro Linares por el traslado del material, al señor Manuel Dos Santos por su gran ayuda en el corte y nivelado de las probetas, a Egger Romero por brindarnos todo su apoyo en la realización de los ensayos, tampoco habría sido posible sin él.

Por último, a mi compañero de lucha, Gustavo Kosler, quien supo entenderme y ayudarme a lo largo del camino, fue indispensable para lograr esta meta.

Muchas gracias a todos.

Lorena A. Carballo F.

AGRADECIMIENTOS

A mi madre y hermana, por estar siempre presente, alentándome en los momentos más difíciles.

A mi padre (Q.E.P.D) y mi abuelo, por haberme inspirado a elegir la ingeniería civil como profesión y forma de vida.

Al Sr. Orlando Carballo, por su infinita ayuda y por ceder sus conocimientos durante el proceso de desarrollo de los equipos.

A los señores José Antonio Ferreira y Manuel Dos Santos, por brindarnos su apoyo, tiempo y conocimientos.

Al personal del laboratorio de materiales de construcción y tecnologías del concreto, Willson Gonzáles y Egger Romero, su tiempo y apoyo para la realización de los ensayos.

A todos mis amigos y compañeros que nos brindaron su apoyo en los momentos más difíciles.

Finalmente, a los ingenieros Yelitza Sirit y Guillermo Bonilla, por ceder su valioso tiempo, conocimientos, y por la paciencia que nos tuvieron durante el desarrollo de este trabajo especial de grado.

Gustavo A. Kosler P.

DEDICATORIAS

El presente trabajo de grado está dedicado a mi familia por haber sido mi apoyo a lo largo de toda mi carrera universitaria y mi vida. A todas las personas especiales que me acompañaron en esta etapa, aportando a mi formación tanto profesional como ser humano. **Lorena A. Carballo F.**

Dedico el presente trabajo a mi familia, en especial a mi padre (Q.E.P.D) y a mi abuelo, también, a todas mis amistades que brindaron su apoyo incondicional. **Gustavo A. Kosler P.**

ÍNDICE DE CONTENIDO

1.1. Planteamiento del problema.....	2
1.2. Antecedentes	3
1.2.1. Anavir, Padilla U.	3
Universidad Simón Bolívar, Sartenejas, Venezuela (2015).....	3
1.2.2. Ángela D. Orozco C.....	3
Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela (2009).	3
1.2.3. Styles W. Valero; Elio Reyes; Wilver Contreras.....	4
Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. (2005).	4
1.2.4. Jairo A. Osorio S.; Albeiro Espinoza B.; Eduard A. García G.	4
Universidad Nacional de Colombia (2008).	4
1.2.5. William A. Poveda M.	5
Instituto tecnológico de Costa Rica (2011).....	5
1.3. Justificación.....	5
1.4. Alcances y limitaciones.....	5
1.5. Objetivos	6
1.5.1. Objetivo General.....	6
1.5.2. Objetivos específicos	6
1.5.2.1. Desarrollo de equipos de registro de comportamiento mecánico para evaluación de deformaciones axiales y diametrales.....	6
1.5.2.2. Analizar el comportamiento mecánico de secciones de Bambú al ser sometido a tensiones de compresión.	6
1.5.2.3. Analizar el comportamiento mecánico de secciones de Bambú al ser sometido a tensiones de flexión.....	6
2.1. Bases teóricas	6
2.1.1. Guadua Angustifolia Kunth	6
2.1.2. Morfología de la Guadua:	7
2.1.2.1. Culmo	7
2.1.2.2. Fibras	7
2.1.3. Tratamientos de la Guadua	7
2.1.3.1. Curado	7
2.1.3.2. Inmunizado	8

2.1.4.	Propiedades físicas y mecánicas de la Guadua	8
2.1.4.1.	Anisotropía	8
2.1.4.2.	Límite de Proporcionalidad-Tensión a compresión.....	8
2.1.4.3.	Tensiones a compresión paralela a las fibras en Guadua.....	9
2.1.4.4.	Módulo de Elasticidad	9
2.1.5.	Tensiones a flexión en Guadua.....	10
2.1.5.1.	Módulo de Ruptura:.....	11
2.1.5.2.	Momento de Inercia.....	12
3.1	Naturaleza de la investigación.....	12
3.2	Población.....	13
3.3	Muestra.....	15
3.4	Recolección de datos	15
3.4.1	Equipos de aplicación de carga.....	15
3.4.2	Accesorios empleados:.....	15
3.4.3	Variables en el ensayo	15
3.4.3.1	Variables dependientes	15
3.4.3.2	Variables Independientes.....	16
3.4.3.3	Elementos a mantener constantes	16
3.5	Diseño experimental.....	16
3.6	Fases de Ejecución	17
3.7	Normas aplicadas	18
3.8	Preparación previa a los ensayos.....	18
3.8.1	Disposición e identificación de culmos y probetas.....	18
3.8.2	Preparación para ensayos de tensiones a compresión:.....	21
3.8.2.1	Espesor “efectivo”	23
3.8.3	Preparación para ensayos de tensiones a flexión:	24
3.8.4	Propiedades físicas de la Guadua.	27
3.8.4.1	Contenido de humedad.	27
3.8.4.2	Densidad	28
4.1	Diseño y construcción de equipos de medición.	29
4.1.1	Equipo para ensayo de tensiones a compresión, extensómetro - compresómetro: .	29
4.1.2	Apoyo hemisférico para ensayo a tensiones de compresión.....	32

4.1.3	Equipo para ensayo de tensiones a compresión, variación diametral:	32
4.1.4	Equipo para ensayo de tensiones a flexión:	34
4.2	Comportamiento mecánico. Tensiones a compresión axial y flexión.....	37
4.2.1	Comportamiento mecánico - Tensiones a compresión	38
4.2.1.1	Espesor “Efectivo”	38
4.2.1.2	Tensión última y Módulo de Elasticidad de tensiones a compresión paralela a las fibras.	
4.2.1.3	Tensión a compresión Vs Deformación Longitudinal	41
4.2.1.3.1	Zona Superior	41
4.2.1.3.2	Zona Media.....	43
4.2.1.3.3	Zona Inferior.....	44
4.2.1.4	Tensión a compresión Vs Deformación Diametral.....	47
4.2.1.4.1	Zona Superior	47
4.2.1.4.2	Zona Media.....	48
4.2.1.4.3	Zona Inferior	49
4.3	Comportamiento mecánico - Tensiones a flexión.....	49
4.3.1	Tensión última y Módulo de Rotura de tensiones a flexión.	49
5.1	Conclusiones	53
5.2	Recomendaciones.....	55
6.1	Referencias Bibliográficas	56
6.2	Referencias Electrónicas	56
6.3	Normas	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Caracterización de la población.....	14
Tabla 3.2 Diseño Experimental.....	16
Tabla 3.3 Cantidad de probetas para ensayos de tensiones a compresión.	22
Tabla 3.4 Resultados contenido de humedad.....	27
Tabla 3.5 Resultados de densidad-compresión.	28
Tabla 3.6 Resultados de densidad-flexión.	28
Tabla 4.1 Caracterización de las muestras – tensiones a compresión.....	37
Tabla 4.2 Caracterización de las muestras – tensiones a flexión.....	37
Tabla 4.3 Distribución de probetas ensayo mecánico.....	38
Tabla 4.4 Cantidad de probetas para ensayos de tensiones a compresión.	38
Tabla 4.5 Resultados de espesores “efectivos”.....	38
Tabla 4.6 Resultados Módulo de Elasticidad.....	39
Tabla 4.7 Resultados experimentales longitudinales; zona superior.	41
Tabla 4.8 Resultados experimentales longitudinales; Zona Media.	43
Tabla 4.9 Resultados experimentales longitudinales Inferiores.	44
Tabla 4.10 Resultados ensayos de tensiones a flexión.	49
Tabla 1.1 Resultados de Densidad Relativa / Peso Específico.	58
Tabla 1.2 Resultados Tensiones a Flexión.....	58
Tabla 1.3 Resultados Tensiones a compresión.	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 Fases de ejecución del trabajo,	17
Figura 3.2 Identificación de las probetas por tipo de ensayo.....	19
Figura 3.3 Identificación de probetas por tipo de ensayo.	20
Figura 3. 5 Dimensiones de probeta	21
Figura 3. 6 Probeta a tensiones de compresión.....	22
Figura 3. 7 Probeta a ser ensayada.....	23
Figura 3. 8 Sección transversal de una probeta de Guadua Angustifolia Kunth.	23
Figura 3. 9 Medición de espesores “efectivos”.....	24
Figura 3. 10 Método de aplicación carga y soporte de bambú, Ensayo de tensiones a flexión estática, IS 6874.....	24
Figura 3. 11 Montaje definitivo.	25
Figura 3. 12 Sistema de medición mediante regla graduada.	25
Figura 3. 13 Registro de deflexiones mediante el uso de la aguja y la regla graduada.	26
Figura 3.14 Ensayo – Tensiones a flexión.....	26
Figura 3. 16: Medición de muestra prismática.....	27
Figura 4.1: Boceto inicial para diseño y construcción de equipo.	29
Figura 4.2 Equipo para medición de deformaciones definitivo, vista lateral y vista en planta. ...	30
Figura 4.3 Equipo para medición de deformaciones definitivo, vista de perfil.....	30
Figura 4.2 Montaje definitivo en la probeta.....	30
Figura 4.6 Tornillo calibrador y soporte de potenciómetro	31
Figura 4.7 Vástagos macizos de acero (pistones), arandelas de precisión y tornillos.	31
Figura 4.5 Aros macizos de acero y tornillos de punta cónica.	31
Figura 4.3 Equipo para medición de deformaciones definitivo vista de perfil.....	31
Figura 4.4 Apoyo hemisférico.	32
Figura 4.5 Boceto inicial del equipo diametral.....	32
Figura 4.8 Montaje definitivo en la probeta de equipo medidor de variación diametral.....	33
Figura 4.8 Soporte con mecanismo mecánico	33
Figura 4.8 Soporte de madera fijo.....	33
Figura 4.9 Apoyo de madera de puy.....	34
Figura 4.10 Cilindros macizos de puy.	34
Figura 4.11 Apoyo definitivo.....	34

Figura 4.12 Soporte de madera de puy.	34
Figura 4.13 Montaje de apoyos, cilindros y viga en contacto con el cabezal.....	35
Figura 4.14 Montaje definitivo	35
Figura 4.15 Montaje para ensayo de tensiones a flexión.....	36
Figura 4.16 Proceso de elaboración de equipo de medición de deformaciones longitudinales....	36
Figura 4.17 Falla por corte, borde superior externo y falla por aplastamiento general de las fibras en dirección interna, borde inferior externo.....	40
Figura 4.18 Falla paralela a las fibras, borde superior interno y falla por aplastamiento, borde superior externo.	40
Figura 4.19 Falla por aplastamiento y falla por tensión de las fibras superior interna y externa.	41
Figura 4.20 Falla por tensión de las fibras superior interna y externa.....	41
Figura 4.21 Grietas existentes BC01I5.....	45
Figura 4.22 Fallas producto de perforación de insectos.	46
Figura 4.26 Falla por corte.....	51
Figura 4.26 Falla por aplastamiento en los puntos de apoyos.	51
Figura 4.26 Falla por corte.....	51
Figura 4.26 Falla por corte y fisuras longitudinales	51
Figura 4.30 Fallas por fisuras paralelas a las fibras.....	52
Figura 1.1 Planilla de elaboración de ensayos.....	58
Figura 1.2 Equipo – Tensiones a compresión.....	58
Figura 1.1 Culmos - longitud inicial	58
Figura 1.3 Ensayos – Tensiones a Flexión.....	58
Figura 1.4 Montaje ensayos.....	58
Figura 1.5 Desarrollo de apoyo hemisférico.....	58

SINOPSIS

El trabajo de grado, exhibe como título “Evaluación de las propiedades mecánicas de algunas variedades de Guadua disponibles en Venezuela”, el mismo tiene como objetivo, establecer las propiedades mecánicas de la Guadua Angustifolia Kunth para su aplicación en el diseño de estructuras, con la finalidad de generar información que permita elaborar futuras normas propias, dando cabida a este material para la construcción en general; pero en especial para viviendas.

La misma, forma parte de una línea de investigación del “Centro de Investigación de Ingeniería (CIDI)”, a cargo del Ing. Heriberto Echezuría. Fue desarrollada en la Universidad Católica Andrés Bello, específicamente en el Laboratorio de Materiales de Construcción y Tecnología del Concreto bajo la tutela de la Ing. Yelitza Sirit. Entre las actividades desarrolladas para la ejecución del trabajo, destaca el diseño y construcción de equipos necesarios para registrar mediciones de deformaciones axiales y diametrales, y la ejecución de ensayos a tensiones a compresión y flexión.

Los resultados obtenidos para un total de 26 muestras, correspondientes a las tensiones últimas para los ensayos de tensiones a compresión fue igual a 668 kgf / cm^2 , mientras que para los ensayos de tensiones a flexión fue igual a 1002 kgf / cm^2 . Siendo ambos valores, los mayores dentro de la población de los ensayos antes mencionados.

La capacidad de resistencia de la Guadua Angustifolia Kunth ante solicitaciones de carga, ya sea, paralela a las fibras o perpendiculares a ellas, depende de los espesores promedios de las probetas en estudio y condiciones físicas de las muestras (características de crecimiento o defectos naturales).

Palabras claves: Guadua Angustifolia Kunth, módulo de elasticidad, módulo de rotura, límite de proporcionalidad.

1. CAPÍTULO: El problema

1.1. Planteamiento del problema

La necesidad de homologación de criterios en el área de la Normalización y Certificación de la Calidad, lleva al Estado Venezolano a la creación de la Comisión Venezolana de Normas Industriales, COVENIN, gestionando el desarrollo de políticas en el ámbito de la normalización y control de calidad, estandarizando y a su vez, garantizando la aplicación correcta de los métodos constructivos a desarrollarse.

Por consiguiente, en Venezuela, la estandarización de forma metódica y clara de la Guadua Angustifolia Kunth, como sistema constructivo es parte de su condición. Para ello, es indispensable la elaboración de normas propias donde se expongan los procedimientos necesarios para el correcto uso de este material que, aunque se conoce son milenarios en distintos lugares del mundo, su utilización en el sector construcción venezolano no es habitual.

Por esta razón, con base a la realización de ensayos mecánicos en el Laboratorio de Materiales de Construcción y Tecnología del Concreto de la Universidad Católica Andrés Bello, se busca aportar información útil para el desarrollo de futuras normas relacionadas con las propiedades mecánicas de este material y de esta forma, lograr estar a la altura de los avances a nivel mundial en términos de investigación, construcción y desarrollo sostenible.

Por consiguiente se evidencia la necesidad, no solamente de adoptar prácticas y alternativas de construcción sostenibles que permitan la optimización de los recursos, sino además, es importante tener un conocimiento preciso de las propiedades de aquellos recursos naturales que suponen mayores ventajas ecológicas, para fomentar su uso a partir de la comprensión de su disponibilidad, adquisición, comportamiento físico y mecánico, teniendo en cuenta las necesidades de la comunidad y de los proyectos a desarrollarse.

1.2. Antecedentes

Existen publicaciones y estudios, afines al tema de investigación, que han contribuido en el conocimiento y aprovechamiento de la Guadua. A continuación, agrupadas por regiones, se resumen algunos de los aportes más significativos.

1.2.1. Anavir, Padilla U.

Universidad Simón Bolívar, Sartenejas, Venezuela (2015).

Título: “Estudio de la resistencia de flexión y compresión en bambú Guadua infiltrado con resina de poliéster.”

“En el proyecto se realizó el estudio de la resistencia de flexión y compresión en culmos de bambú guadua, infiltrados con resina de poliéster como refuerzo estructural, obteniendo el diseño y prueba de un dispositivo de infiltrado a presión, empleando una sustancia a base del polímero, que mejora dichas propiedades mecánicas. Se formuló una solución de resina de poliéster en proporción 1:1 Resina/Solvente (solvente empleado: 30% Glicerol/70% Thinner). Al infiltrar el fluido polimérico en las probetas de bambú y, finalizado el tiempo de curado del polímero, se reportó un aumento de la resistencia ante cargas de flexión en un 50% y de compresión en un 75%, (comparación versus probetas control sin infiltrar con el polímero). Se alcanzó una velocidad promedio de infiltrado de $0.42 \text{ cm/s} \pm 0.02 \text{ cm/s}$, a razón de $0.41 \text{ g/s} \pm 0.01 \text{ g/s}$ de solución.”

1.2.2. Ángela D. Orozco C.

Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela (2009).

Título: “El bambú como material alternativo en la construcción Arquitectónica.”

“La necesidad de preservar el medio, es crucial en los momentos actuales, dado a la contaminación ambiental, que ha incidido en un desequilibrio ambiental y en un extraño cambio climático, originado no solo alteraciones geográficas, sino también generado múltiples necesidades básicas para la sociedad, como la falta de vivienda y poniendo en peligro la biodiversidad en nuestro planeta. Ante esta situación en sistema de construcción no convencional de una vivienda de quincha mejorada con bambú, cumple con este propósito fundamental,

amparado sobre los tres pilares básicos de una arquitectura sostenible y sustentable: el respeto al medio ambiente, el bajo costo y el gran bienestar que brinda al ser humano”.

1.2.3. Styles W. Valero; Elio Reyes; Wilver Contreras.

Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. (2005).

Título: “Estudio de las Propiedades Físicas y Mecánicas del Bambú (*Bambusa vulgaris*), de tres años de edad y proveniente de las plantaciones ubicadas en la ribera de la margen derecha del Río Chama, Municipio Francisco Javier Pulgar, Estado Zulia, Venezuela”.

“El trabajo pretendió lograr, en el contexto del sector forestal y de la construcción venezolano, difundir las principales fortalezas y debilidades que pueda presentar el bambú (*Bambusa vulgaris*) como material constructivo confiable y seguro estructuralmente. Para alcanzar este objetivo se lograron determinar sus propiedades físicas y mecánicas, entre otras: sus esfuerzos de diseño; su variación de espesor; su estabilidad dimensional; y su densidad en condición de humedad seca al aire. Así, al final de la línea de producción se podrán obtener productos de excelente calidad. Los resultados determinaron lo siguiente: su propiedad física de densidad, y sus propiedades mecánicas, en condición verde, respecto a su resistencia a la flexión en su módulo de ruptura y la resistencia a la compresión, fueron ligeramente superiores”

1.2.4. Jairo A. Osorio S.; Albeiro Espinoza B.; Eduard A. García G.

Universidad Nacional de Colombia (2008).

Título: “Evaluación de las propiedades mecánicas de la estructura interna de la Guadua con un modelo matemático.”

“Se caracterizó la estructura interna del Bambú-Guadua *Angustifolia* Kunth (GAK), en su zona media, encontrando la composición interna de este material compuesto, como son el porcentaje de la matriz (parénquima) y de fibras (células de fibras y tejido conductivo). Se determinó las propiedades mecánicas como la resistencia a tensiones a tracción y a flexión en sentido tangencial, la Relación de Poisson del material y la resistencia de la fibra. Se validó un modelo matemático para materiales compuestos propuesto por Chandrupatla & Belegundu (1999), y se encontraron algunas ecuaciones que permiten predecir la resistencia del material

en función de la resistencia de la fibra, y también para realizar modelos computacionales útiles para la industria de laminados de pisos en Bambú-guadua. Los resultados experimentales no difirieron significativamente de los resultados obtenidos con los modelos matemáticos.”

1.2.5. William A. Poveda M.

Instituto tecnológico de Costa Rica (2011).

Título: “Comparación del bambú con el acero como material de refuerzo a flexión en concreto.”

“El presente estudio trató de evaluar la capacidad del bambú para ser utilizado como refuerzo en elementos de concreto. Este material, de origen natural, se procesó industrialmente para obtener de la caña tablillas de diferentes dimensiones, las cuales fueron probadas en ensayos por separado para determinar sus características físicas y mecánicas. Además de dichos análisis, se debió realizar una comparación entre el acero y el bambú como refuerzo al trabajar en conjunto con el concreto.”

1.3. Justificación

La investigación se justifica en la necesidad de continuar con los estudios necesarios para lograr una completa y adecuada caracterización de las cualidades y comportamientos mecánicos de la Guadua Angustifolia Kunth.

1.4. Alcances y limitaciones

La investigación desarrolla el estudio de la Guadua Angustifolia Kunth, proveniente de los alrededores de Curbatí; localidad del municipio Pedraza en el estado Barinas, mediante el estudio de tensiones a compresión y flexión.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Evaluar las propiedades mecánicas de la Guadua Angustifolia Kunth bajo tensiones de compresión y flexión.

1.5.2. Objetivos específicos

1.5.2.1. Desarrollo de equipos de registro de comportamiento mecánico para evaluación de deformaciones axiales y diametrales.

1.5.2.2. Analizar el comportamiento mecánico de secciones de Bambú al ser sometido a tensiones a compresión.

1.5.2.3. Analizar el comportamiento mecánico de secciones de Bambú al ser sometido a tensiones a flexión.

2. CAPÍTULO: Marco Teórico

Las investigaciones con Guadua Angustifolia Kunth como materia prima se han realizado desde décadas pasadas, pero los trabajos orientados a las propiedades mecánicas de este material tienen un enfoque relativamente nuevo en el país, lo que conlleva a que la cantidad de estudios desarrollados hasta el momento sean limitados a nivel nacional.

2.1. Bases teóricas

2.1.1. Guadua Angustifolia Kunth

La Guadua es una especie forestal representada por esbeltos y modulados tallos; es larga, recta, uniforme en su desarrollo, liviana, hueca, resistente, de rápido crecimiento y de culmos imperceptiblemente cónicos.

Esta planta, es uno de los materiales constructivos más utilizados en el continente americano desde la antigüedad, su utilización en la construcción de diferentes tipos de estructuras ha sido

representativa para agilizar el proceso de consolidación de distintas culturas. (Echezuría, 2018.). Aunque se tenga referencia sobre su uso, principalmente en territorios menos desarrollados, son cada vez más las construcciones sustentadas con este material natural y ecológico. Su uso se registra desde andamios hasta puentes, lo que lo convierte en un material versátil y de gran utilidad.

Este material, no sólo se caracteriza por su versatilidad sino también por su fácil desarrollo y crecimiento cuando se encuentra en condiciones ambientales favorables para este tipo de planta. William A. Poveda M, expuso en el año 2011 que todas las especies de bambú, tienen un crecimiento más rápido y de más alta productividad en comparación con los árboles. Este tipo de plantas (Guadua), crecen desde el suelo con un diámetro prácticamente constante, sin incrementos significativos del mismo con el tiempo, como sí ocurre con los árboles. Esto permite que la cantidad de plantas que se siembren por unidad de área sea mayor, ya que conforme esta crezca no ampliará considerablemente su tamaño diametralmente.

2.1.2. Morfología de la Guadua:

2.1.2.1. Culmo

Son varas o vástagos que emergen de las raíces, que alcanzan diferentes alturas y diámetros dependiendo de la especie. Una característica importante es que los culmos del bambú emergen del suelo con su máximo diámetro, esto quiere decir que no aumentan en grosor posteriormente y alcanzan su altura máxima normalmente en una temporada o período vegetativo. (Figuroa C. Verónica, & S Ardiña Z. Camila E., 2009).

2.1.2.2. Fibras

Células alargadas, agrupadas en haces, provistas de puntuaciones que facilitan el paso de nutrientes. Cumplen funciones de sostén del cuerpo leñoso. (Morales V. Aleyda & Herrera A. Zoila, 1994).

2.1.3. Tratamientos de la Guadua

2.1.3.1. Curado

Existen varios métodos de curado para la preservación de los culmos, particularmente para este trabajo de grado, el método aplicado por la empresa de suministro fue el “Avinagrado”, el cual

consiste en cortar el tallo en fase lunar cuarto menguante, antes de las 7:30 am; inmediatamente se deja apoyado contra otros bambúes vivos lo más vertical posible, y alejado del suelo para evitar cualquier tipo de absorción de humedad y para que las hojas transpiren, con la finalidad de lograr que el secado sea gradual y de adentro hacia fuera. El tallo cortado se deja en esta posición por un tiempo aproximado de 7 días, luego son cortadas sus ramas y hojas y se deja secar dentro de un área cubierta bien ventilada, alejado del suelo.

2.1.3.2. Inmunizado

La inmunización es un proceso que se le realiza a la Guadua con la finalidad de repeler posibles plagas de insectos que puedan atacarla y debilitar su estructura. Existen varios métodos de inmunización, para este trabajo de grado, se realizó un método elaborado por la empresa encargada del suministro de los culmos mediante la inmersión de los mismos en un insecticida conocido como “Fipronil” durante 10 horas aproximadamente, posteriormente se dejó secar a la sombra y alejado de la superficie del suelo.

2.1.4. Propiedades físicas y mecánicas de la Guadua

Es importante destacar que en todo momento fue considerada la Guadua como un material homogéneo y de sección constante a todo lo largo de su estructura para simplificación de los cálculos expuestos a continuación.

2.1.4.1. Anisotropía

La Anisotropía es la propiedad general de los materiales, según sus cualidades, varían dependiendo de la dirección en la que se esté estudiando. Se establecen tres planos de referencia o direcciones principales: longitudinal, tangencial y radial. Sus propiedades físicas y mecánicas dependen de la dirección del esfuerzo con relación a la orientación de las fibras. (Álvaro, 2014).

2.1.4.2. Límite de Proporcionalidad-Tensión a compresión

Límite superior de la tensión a compresión en la relación lineal es conocido como límite de proporcionalidad. Si la tensión excede un poco el límite de proporcionalidad, el material puede todavía responder elásticamente, todo esto ocurre hasta llegar al límite elástico. (R. C. Hibbeler, 2006).

$$f_{tp} = \frac{P_{tp}l}{6I}$$

Donde:

P_{tp} = Carga en el Límite de Proporcionalidad en kgf

l = longitud entre apoyos en cm

I = Momento de Inercia en cm^4

Ecuación 2. 1. Fuente: James M. Gere & Stephen Timoshenko (1974).

2.1.4.3. Tensiones a compresión paralela a las fibras en Guadua

La resistencia de la madera ante una carga axial en dirección paralela o perpendicular a la fibra tiende a acortar el cuerpo. Esta propiedad es mayor que la resistencia a compresión perpendicular a la fibra.

Bajo lo expuesto por Singer Ferdinand L, & Pytel Andrew (1982), conocida el área sobre la cual se aplica la carga durante el ensayo a compresión es posible determinar la tensión que resiste la probeta con la siguiente ecuación:

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Donde:

P = Carga en Kgf.

A = Área promedio probeta en cm^2

σ = Tensión de compresión en Kgf / cm^2

Ecuación 2. 4. Fuente: Singer Ferdinand L, & Pytel Andrew (1982).

2.1.4.4. Módulo de Elasticidad

Es definido como la relación lineal, conocida como Ley de Hooke, entre la tensión debida a la carga aplicada al material y su deformación.

En la madera la orientación de las fibras da lugar a la anisotropía de su estructura, por lo que a la hora de definir sus propiedades mecánicas hay que distinguir entre la dirección perpendicular, paralela y tangencial a la fibra.

$$E = \frac{\sigma}{t}$$

Donde:

σ = Tensiones de carga en kgf / cm².

t = Deformación.

E = Módulo de elasticidad Kgf / cm²

Ecuación 2. 5. Fuente: F.R. Shanley (1971).

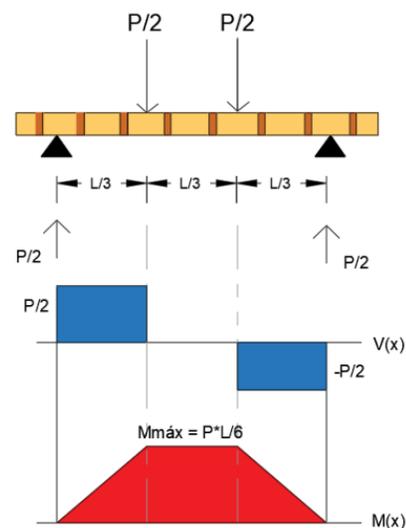
2.1.4.5. Tensiones a flexión en Guadua

El estudio del comportamiento de la Guadua puede ser descrito mediante curvas tensión-deflexión de distintos especímenes ensayados bajo las mismas condiciones. La carga es ejercida perpendicular a la fibra, distribuida uniformemente que a su vez es sostenida por puntos en contacto con el culmo, la deflexión es una medida que se obtiene por la acción de la carga sobre el espécimen.

Para el cálculo de la tensión última de especímenes en vigas de sección constante se hace uso de la siguiente ecuación:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{M}{S}$$

Donde:



M = Momento flexionante máximo en kgf-cm.

S = Módulo de Sección en cm^3 .

$\sigma_{\text{máx}}$ = Tensión Última en kgf / cm^2 .

Ecuación 2. 6. Fuente: Singer Ferdinand L, & Pytel Andrew (1982).

$$M = \frac{P_{\text{máx}} * L_{\text{efect}}}{6}$$

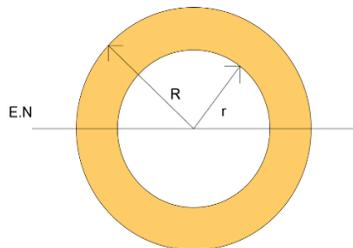
Donde:

M = Momento máximo flexionante en kgf-cm.

$P_{\text{máx}}$ = Carga máxima a tensiones a flexión en kgf.

L_{efect} = Longitud entre los apoyos en cm.

Ecuación 2. 6. Fuente: James M. Gere & Stephen Timoshenko (1974).



$$S = \frac{\pi}{4R} (R^4 - r^4)$$

Donde:

R = Radio externo promedio probeta en cm

r = Radio interno promedio probeta en cm

S = Módulo de sección en cm^3

Ecuación 2. 7. Fuente: Singer Ferdinand L, & Pytel Andrew (1982).

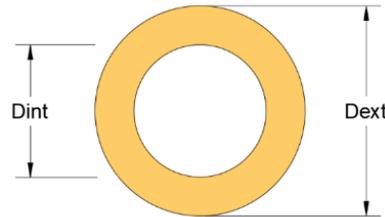
2.1.4.6. Módulo de Ruptura:

Corresponde a la resistencia calculada en las fibras superiores e inferiores de una viga cargada al máximo; medida a partir de la capacidad para soportar una carga aplicada lentamente y durante un tiempo corto. (Morales V. Aleyda; Herrera A. Zoila, 1994).

Puede ser determinada a través de la Ecuación 2.3 para determinar la tensión a flexión en una viga cargada hasta su ruptura en una máquina de ensayo. (Singer Ferdinand L, & Pytel Andrew, 1982).

2.1.4.7. Momento de Inercia

$$I = \frac{\pi}{64} (D_{ext}^4 - D_{int}^4)$$



Donde:

I = Momento de inercia de la sección transversal del espécimen cm^4

D_{ext} = Diámetro externo promedio de la probeta probeta en cm

D_{int} = Diámetro interno promedio de la probeta en cm

Ecuación 2. 8. Fuente: James M. Gere & Stephen Timoshenko (1974).

3. CAPÍTULO: Marco Metodológico

3.1 Naturaleza de la investigación

De carácter experimental, investigativa, evaluativa, exploratoria, descriptiva y aplicada a la proposición de desarrollo de equipos cuyos diseños simplifican el registro de deformación y deflexión, en las cuales se planteó someter probetas de Guadua a la acción de tensiones a compresión y flexión.

3.2 Población

La población conformada por un total de nueve (9) culmos de *Guadua Angustifolia* Kunth, con diámetros variables entre tres (3) y cinco (5) pulgadas y longitudes aproximadas a los seis (6) metros.

Tabla 3.1 Caracterización de la población.

Caracterización de la población																
N° Culmo	Longitud (m)	Diámetro inferior Externo (cm)			Diámetro medio Externo (cm)			Diámetro superior Externo (cm)			Diámetro inferior Interno (cm)			Diámetro superior Interno (cm)		
		Diámetro Vertical	Diámetro Horizontal	Diámetro Diagonal	Diámetro Vertical	Diámetro Horizontal	Diámetro Diagonal	Diámetro Vertical	Diámetro Horizontal	Diámetro Diagonal	Diámetro Vertical	Diámetro Horizontal	Diámetro Diagonal	Diámetro Vertical	Diámetro Horizontal	Diámetro Diagonal
1	6.54	11.1	10.81	10.71	10.1	9.6	-	8.75	8.4	8.7	6.6	7.05	7.15	4.9	5	4.9
2	6.25	10.35	10.6	11.36	9.3	9.2	-	8.25	8.35	8.5	6.55	5.83	5.8	6	5.3	5.8
3	6.36	11.55	11.6	11.5	10.85	10.96	-	10.75	10.55	10.75	5.9	5.85	5.9	5.8	6.3	6.3
4	5.76	9.75	9.92	9.85	10	10.1	-	9.5	9.9	9.85	3.15	3.15	3.35	5	5	5
5	5.9	10.23	10.5	10.4	9.45	9.66	-	8.8	9.05	8.85	5	4.52	3.9	5.95	5.6	5.55
6	6.37	10.36	10.55	10.41	10.44	10.56	-	10	9.55	9.82	4.1	7	4.1	4.8	4.9	5
7	6.31	10.85	10.7	10.9	10.82	10.8	-	10.45	10.65	10.5	4.9	4.95	4.95	7.35	7.3	7.5
8	5.66	8.65	8.38	8.55	8.3	8.82	-	8.26	8	8.2	3.6	3.55	3.45	5.1	5.5	5.7
9	5.71	8.4	8.31	8.25	8.5	8.4	-	7.55	7.84	7.7	2.75	2.8	2.9	4.8	4.7	4.92

3.3 Muestra

Las muestras están conformadas por un total de 26 probetas cilíndricas de Guagua Angustifolia Kunth, caracterizadas según el ensayo a realizar.

3.4 Recolección de datos

Los datos experimentales reportados se tomaron mediante el uso de medidores lineales LVDT, para los ensayos de tensiones a compresión, captados de forma electrónica, a través del programa ANDISOFT.

También hubo registro manual en deflexiones, tiempo de ensayo, masa de las probetas, contenido de humedad, volumen, densidad, temperatura, rotulado de probetas, entre otras.

3.4.1 Equipos de aplicación de carga

- Máquina de Ensayo Universal marca Baldwin Capacidad 100 T.

3.4.2 Accesorios empleados:

- Potenciómetro lineal, “AEP Transducers TLDT 25mm”.
- Cámara de Alta definición.
- Regla calibrada.
- Equipo de medición de deformación axial (compresómetro-extensómetro).
- Instrumento de medición diametral.
- Soportes y apoyos de madera de Puy.

3.4.3 Variables en el ensayo

3.4.3.1 Variables dependientes

- Deformación paralela a las fibras de la Guadua.
- Deformación perpendicular a la fibra de la Guadua.

3.4.3.2 Variables Independientes

- Carga aplicada al miembro.
- Resistencia de tensiones a flexión y compresión de la Guadua Angustifolia Kunth.

3.4.3.3 Elementos a mantener constantes

- Velocidad de aplicación de carga.
- Relación en las dimensiones de las probetas.
- Posición de los equipos de medición.

3.5 Diseño experimental

Tabla 3.2 Diseño Experimental.

Diseño Experimental		
Tipo de ensayo	Denominación Probeta	Sección
COMPRESIÓN	BC01I1	Cilíndrica
	BC01I2	Cilíndrica
	BC01I3	Cilíndrica
	BC01I4	Cilíndrica
	BC01I5	Cilíndrica
	BC01I8	Cilíndrica
	BC01M2	Cilíndrica
	BC01M3	Cilíndrica
	BC01M8	Cilíndrica
	BC01S1	Cilíndrica
	BC01S2	Cilíndrica
	BC01S3	Cilíndrica
	BC01S4	Cilíndrica
	BC02I2	Cilíndrica
	BC01S8	Cilíndrica
	BC02I1	Cilíndrica
	BC02S1	Cilíndrica
BC03I1	Cilíndrica	
FLEXIÓN	BF01M5	Cilíndrica
	BF01M4	Cilíndrica
	BF01M3	Cilíndrica
	BF01M8	Cilíndrica
	BF01M2	Cilíndrica
	BF01M6	Cilíndrica
	BF01M7	Cilíndrica
BF01M9	Cilíndrica	

3.6 Fases de Ejecución

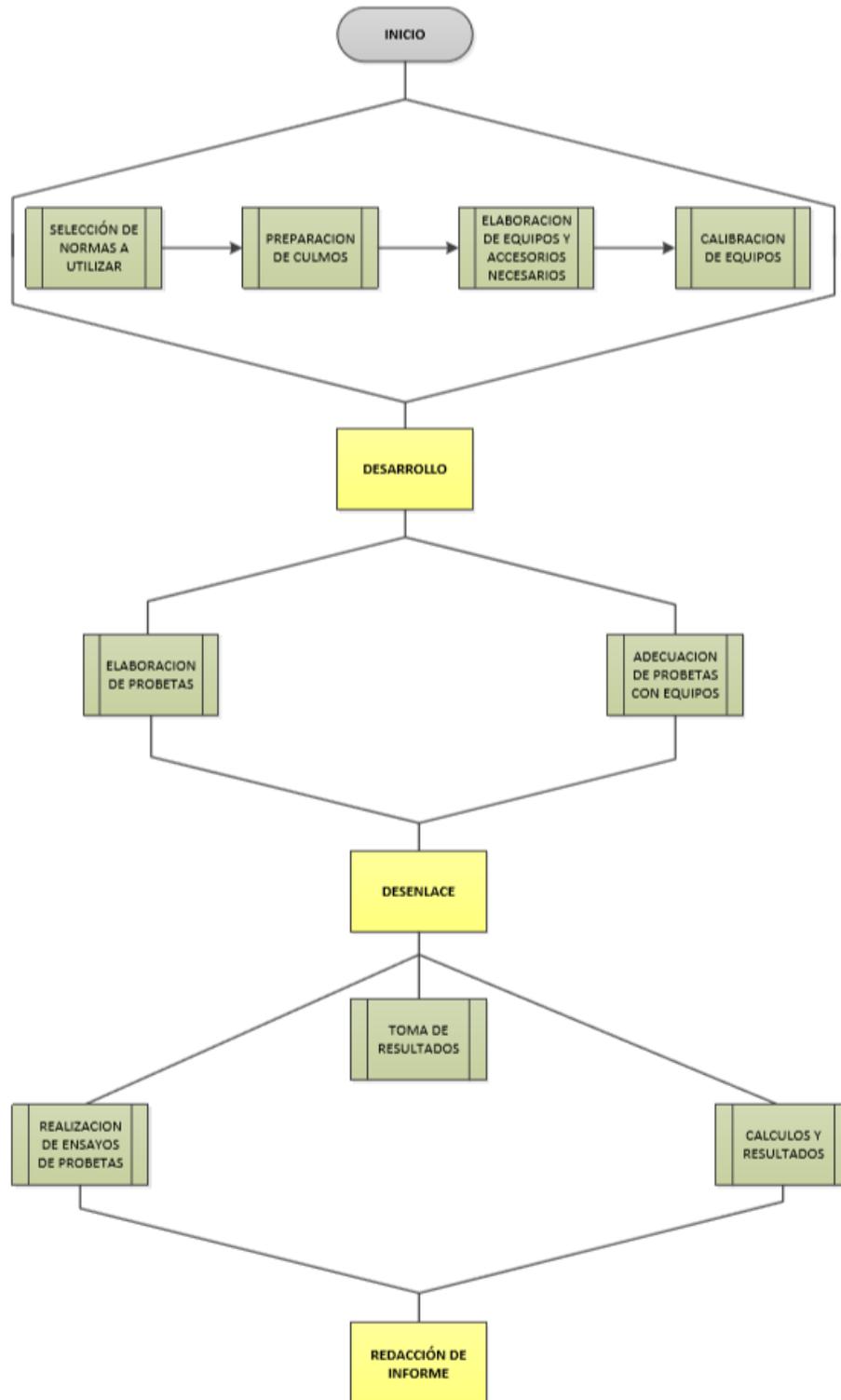


Figura 3.1 Fases de ejecución del trabajo.

3.7 Normas aplicadas

Con base a otros trabajos de investigación realizados en países que poseen más experiencia en el desarrollo de técnicas constructivas a partir de la Guadua y la literatura existente, se hizo una búsqueda profunda de las estandarizaciones actuales utilizadas a nivel mundial para el uso y aplicación de dichas fibras naturales como material estructural. Entre los hallazgos, encontramos que países como la República de Colombia o la República de la India, poseen una norma específica desarrollada para la determinación de las propiedades físicas y mecánicas de la Guadua *Angustifolia* Kunth, ambas utilizando como referencia la norma ISO 22157-1:2000. *Determination of Physical and Mechanical Properties of Bamboo*. (2000).

Las normas referidas fueron:

- NTC 5525. *Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la Guadua Angustifolia Kunth*. (2007).
- IS 6874:2008. *Indian Standard Method of test for Bamboo (First Revision)*. (2008).

3.8 Preparación previa a los ensayos

Fue realizada una caracterización de cada culmo recibido para elaborar los esquemas de corte que definieron las probetas. Este procedimiento se describe a continuación:

3.8.1 Disposición e identificación de culmos y probetas

- Almacenamiento del material protegiéndolo del sol, la lluvia y sin contacto con el suelo.
- Identificación de las distintas partes del culmo —Inferior, media y superior—.
- Medición de los diámetros y espesores perpendiculares y diagonales tanto para la sección transversal inferior como para la sección superior del culmo, identificadas a partir del sentido del crecimiento de la Guadua.

- Identificación de defectos presentes (rajaduras, curvas pronunciadas, perforaciones).
- Digitalización de toda la información recolectada en las etapas anteriores, consignada en el formato de campo que se observa en la figura 3.3.
- Rotulado en los diferentes culmos, como se observa en la figura 3.2, según los esquemas de corte realizados en la etapa anterior (figura 3.3), identificando correctamente la posición y nombre de cada probeta de acuerdo a la nomenclatura.

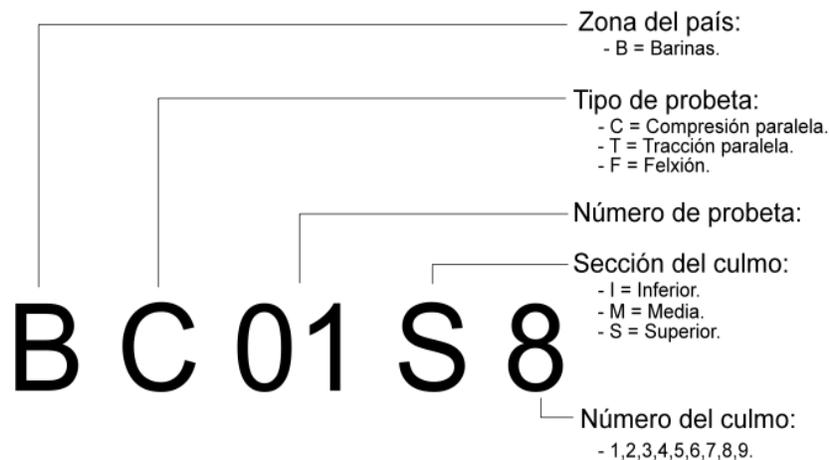


Figura 3.2 Identificación de las probetas por tipo de ensayo.

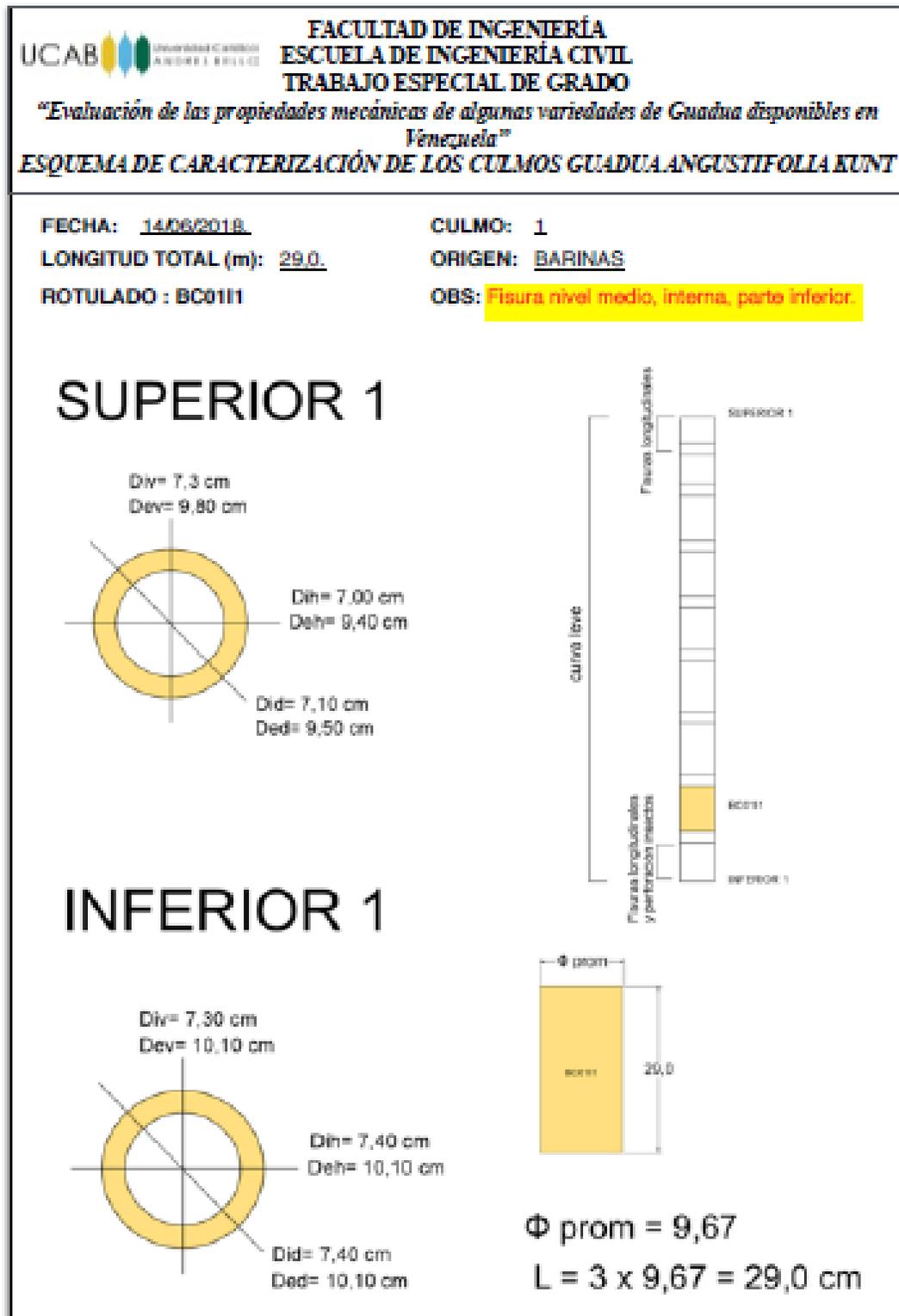


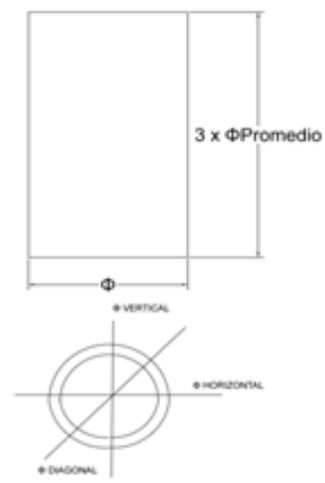
Figura 3.3 Identificación de probetas por tipo de ensayo.

3.8.2 Preparación para ensayos de tensiones a compresión:



Una etapa esencial en el proceso, era probar los equipos elaborados con la finalidad de garantizar que los mismos cumplieran con los requerimientos necesarios. Para ello se realizaron 13 ensayos de prueba de tensiones a compresión, manteniendo velocidad constante.

Para efectos de esta investigación, se tomaron muestras del culmo sin nudos, así como también, con nudos en la luz media; una magnitud longitudinal estandarizada igual a tres (3) veces el diámetro promedio externo, producto de ciertas restricciones generadas por las dimensiones del equipo elaborado, asegurando los cortes y nivelados de las probetas, como fue mencionado anteriormente.



$$\Phi \text{ PROMEDIO} = (\Phi_{\text{VER}} + \Phi_{\text{HOR}} + \Phi_{\text{DIA}}) / 3$$

Figura 3. 1 Dimensiones de probeta.



Figura 3. 2 Probeta a tensiones a compresión.

A continuación, se muestra la cantidad de probetas pertenecientes a los tres (3) segmentos de los culmos, parte inferior, media y superior, distribuidas de la forma indicada en la tabla 3.3.

Tabla 3.3 Cantidad de probetas para ensayos de tensiones a compresión.

Ensayo a tensiones de compresión	
Ubicación probeta	Cantidad probetas
Superior	8
Media	3
Inferior	7
TOTAL	18

En cuanto a la determinación del módulo de elasticidad (E) para este ensayo, cada una de las probetas fue instrumentada con dos potenciómetros lineales, colocados en dos posiciones distintas (perpendiculares entre sí), para medir acortamiento en la dirección de las fibras y expansiones por variación diametral, como se muestra en la figura 3.3.

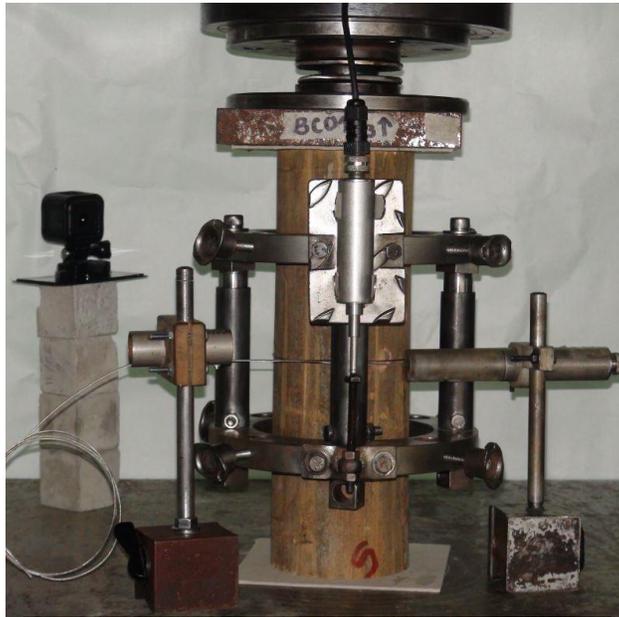


Figura 3. 3 Probeta a ser ensayada.

3.8.2.1 Espesor “efectivo”

Debido a que la guadua es un material compuesto por varias secciones unidas, cada una con propiedades diferentes, como lo expresa Londoño, (2002), el material está conformado por tres secciones: externa, media e interna, como se muestra en la Figura 3.4.

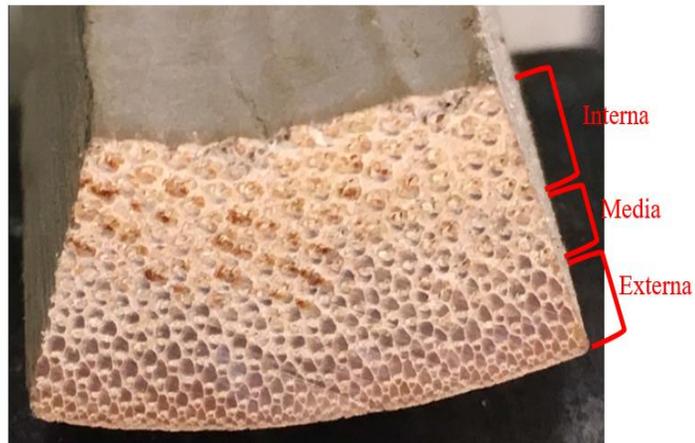


Figura 3. 4 Sección transversal de una probeta de Guadua *Angustifolia Kunth*.

Con referencia a lo anterior, se partió de la teoría de que la sección externa es la que soporta la mayor parte de las solicitaciones de carga, teniendo como principio que, en su sección más interna, las fibras se encuentran dispersas, produciendo que sea una zona blanda y dúctil, por el contrario, mientras más cerca del perímetro externo, las fibras se encuentran más aglomeradas, generando altos grados de cohesión entre ellas.

Se procedió a la medición de los “espesores efectivos” mediante el uso de un amplificador de grietas, donde se pudo evidenciar las distintas zonas que constituyen al material, como se muestra en la figura 3.5.

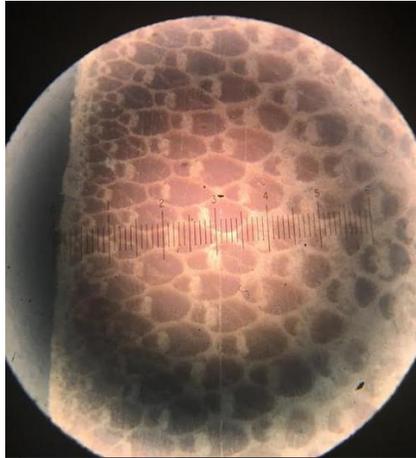


Figura 3. 5 Medición de espesores “efectivos”.

3.8.3 Preparación para ensayos de tensiones a flexión:

Para determinar la tensión última ante solicitaciones a tensiones a flexión, se ensayaron ocho (8) probetas.

Puesto que los culmos se dividieron en tres segmentos, parte inferior, parte media y parte superior para los otros ensayos mecánicos, teniendo en cuenta la disponibilidad del material y la restricción de longitud establecida en las normas, las probetas sólo fueron tomadas de la parte media del culmo para este ensayo, ya que el material no era lo suficientemente largo y representativo.

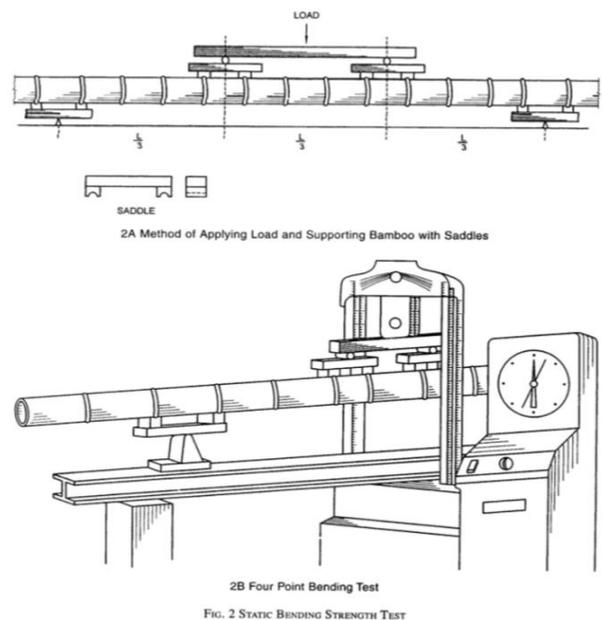


Figura 3. 6 Método de aplicación carga y soporte de bambú, Ensayo de tensiones a flexión estática. Fuente: IS 6874.

Tal como se ha visto, para la realización de este ensayo se diseñó un montaje según lo establecido en las bases legales anteriormente expuestas (figura 3.6). Consiste en la aplicación de una carga constante en la luz media de la probeta, como se muestra en la figura 3.7.



Figura 3. 7 Montaje definitivo.

Con el objetivo de cuantificar las deflexiones generadas, se hizo uso de un sistema de medición a partir de una regla calibrada de 60 cm, una guía (aguja) adherida a la probeta en su eje neutro y una cámara de alta definición, utilizada para captar todo el proceso de deflexión por el que atraviesa el culmo hasta la falla, figura 3.8.

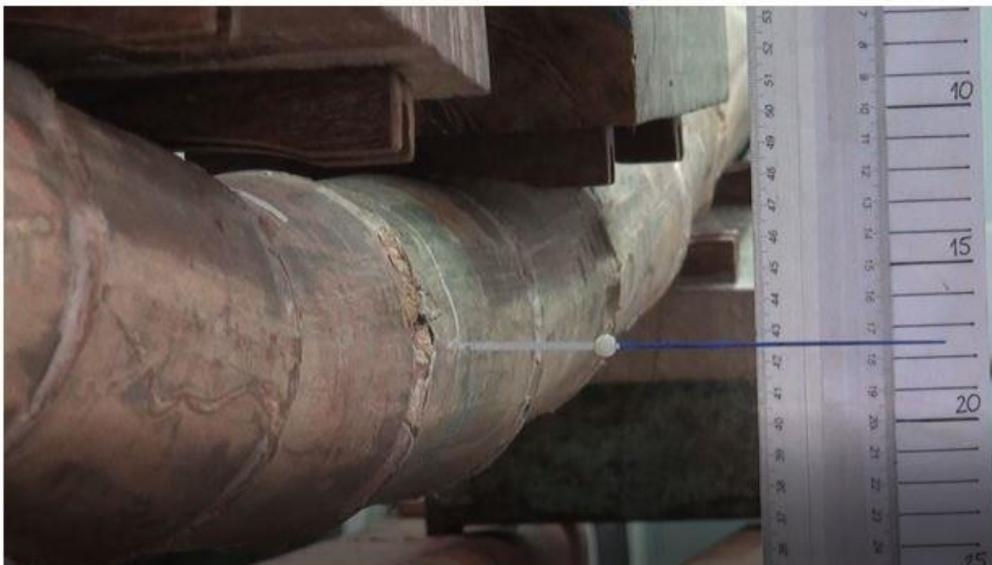


Figura 3. 8 Sistema de medición mediante regla calibrada.



Figura 3.9 Registro de deflexiones mediante el uso de la aguja y la regla calibrada.



Figura 3.14 Ensayo – Tensiones a flexión.

3.8.4 Propiedades físicas de la Guadua.

3.8.4.1 Contenido de humedad.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos en la determinación del contenido de humedad, bajo los procedimientos expuestos en las normas:

Tabla 3.4 Resultados contenido de humedad.

Contenido de Humedad							
Tipo de Ensayo	Denominación Probeta	Dimensiones de la muestra			Masa muestra húmeda (g)	Masa muestra Anhidra (Kg)	CONTENIDO DE HUMEDAD CH
		Anchura (cm)	Altura (cm)	Espesor (cm)			
COMPRESIÓN	BC01S1	2.50	2.50	1.05	6.20	5.50	12.73
	BC01S2	2.50	2.50	0.90	5.40	4.80	12.50
	BC01S3	2.50	2.50	1.94	6.70	5.70	17.54
	BC01S4	2.50	2.50	2.90	7.10	6.10	16.39
	BC02I2	2.50	2.50	1.60	5.90	5.20	13.46
	BC01S8	2.50	2.50	1.40	4.70	4.10	14.63
	BC01M2	2.50	2.50	1.05	5.40	4.80	12.50
	BC01M3	2.50	2.50	1.31	5.60	4.90	14.29
	BC01M8	2.50	2.50	1.83	5.80	5.10	13.73
	BC02S1	2.50	2.50	1.10	6.10	5.40	12.96
	BC01I1	2.50	2.50	1.22	7.00	6.10	14.75
	BC01I2	2.50	2.50	1.25	6.00	5.30	13.21
	BC01I3	2.50	2.50	1.30	4.20	3.60	16.67
	BC01I4	2.50	2.50	1.45	5.50	4.80	14.58
	BC01I5	2.50	2.50	1.20	9.20	7.80	17.95
	BC01I8	2.50	2.50	1.96	7.10	6.10	16.39
BC02I1	2.50	2.50	1.15	6.70	5.90	13.56	
BC03I1	2.50	2.50	1.12	6.50	5.80	12.07	
FLEXIÓN	BF01M2	2.50	2.50	1.26	4.60	4.00	15.00
	BF01M3	2.50	2.50	1.79	6.00	5.10	17.65
	BF01M4	2.50	2.50	1.89	6.60	5.70	15.79
	BF01M5	2.50	2.50	1.98	9.20	8.00	15.00
	BF01M6	2.50	2.50	2.16	8.30	7.20	15.28
	BF01M7	2.50	2.50	2.46	10.20	9.00	13.33
	BF01M8	2.50	2.50	1.52	5.80	5.00	16.00
	BF01M9	2.50	2.50	1.87	8.60	7.60	13.16

3.8.4.2 Densidad

Con base al principio de Arquímedes, se determinó el volumen y la masa mediante el pesaje, para el cálculo de la masa por unidad de volumen, como se muestra en la siguiente tabla, bajo los procedimientos expuestos en las normas:

Tabla 3.5 Resultados de densidad-compresión.

Ensayo a tensiones de compresión						
# Culmo	Probeta	Tensión Última (kgf/cm ²)	Carga de falla (kgf)	Masa probeta Anhidra (grs)	Volumen probeta (cm ³)	Densidad (grs / cm ³)
1	BC01S1	669	16355.2	5.5	7.0	0.79
	BC02S1	546	16919.3	5.4	6.0	0.90
	BC01I1	582	18634.8	6.1	9.0	0.68
	BC02I1	433	14481.3	5.9	9.0	0.66
	BC03I1	607	19894.4	5.8	8.0	0.73
2	BC01S2	531	12839.2	4.8	6.0	0.80
	BC01M2	550	13449.6	4.8	8.0	0.60
	BC01I2	324	16061.5	5.3	9.0	0.59
	BCC02I2	276	11583.5	5.2	10.0	0.52
3	BC01S3	329	16648.8	5.7	14.0	0.41
	BC01M3	379	14346.0	4.9	9.0	0.54
	BC01I3	385	14550.8	3.6	6.0	0.60
4	BC01S4	291	17267.0	6.1	20.0	0.31
	BC01I4	317	12580.3	4.8	8.0	0.60
5	BC01I5	323	19871.2	7.8	15.0	0.52
8	BC01S8	361	13758.7	4.1	6.0	0.68
	BC01M8	289	15493.6	5.1	9.0	0.57
	BC01I8	311	16683.6	6.1	12.0	0.51

Tabla 3.6 Resultados de densidad-flexión.

Densidad - tensiones a flexión						
# Culmo	Probeta	Tensión Última (kgf / cm ²)	Carga de falla (kgf)	Masa probeta Anhidra (grs)	Volumen probeta (cm ³)	Densidad (grs / cm ³)
2	BF01M2	1002	1464.4	4.0	5.0	0.80
3	BF01M3	553	1101.2	5.1	10.0	0.51
4	BF01M4	591	996.8	5.7	10.0	0.57
5	BF01M5	487	768.9	8.0	15.0	0.53
6	BF01M6	269	370.9	7.2	11.0	0.65
7	BF01M7	708	1533.9	9.0	20.0	0.45
8	BF01M8	574	1108.9	5.0	9.0	0.56
9	BF01M9	724	985.3	7.6	13.0	0.58

4. CAPÍTULO: Análisis y Resultados

4.1 Diseño y construcción de equipos de medición.

Se parte de la necesidad de diseñar y construir equipos que permitan desarrollar el trabajo de investigación, asegurando precisión en la toma de mediciones, a tal fin se llevaron a cabo reuniones con el Ing. Guillermo Bonilla, quien estableció los parámetros iniciales.

4.1.1 Equipo para ensayo de tensiones a compresión, extensómetro - compresómetro:

El equipo permite medir la variación longitudinal de una probeta cilíndrica de Guadua, al ser sometida a una carga axial variable a compresión.

Para ello, fue necesario construir un equipo capaz de adaptarse a la variedad de diámetros existentes en la población, por lo cual, se eligieron dos aros de acero macizo de sección circular (A y B) y con diámetro mayor a las muestras existentes.

El principal criterio de diseño fue el de mantener ambos aros totalmente paralelos entre sí y con libre desplazamiento vertical al aproximarse el anillo A hacia el B, permitiendo al transductor, registrar la deformación de la probeta cilíndrica, por consiguiente, fueron dispuestos verticalmente cuatro guías y cuatro pistones que permiten un desplazamiento concéntrico.

En cuanto a la sujeción del equipo a la probeta, era necesario lograrlo sin que se generaran fisuras en el sentido de las fibras al momento de entrar en contacto con la Guadua, así como que el equipo se mantuviese centrado y estable al momento de aplicar la carga, sin que se produjera deslizamiento, para lo cual se hizo uso de cuatro (4) pernos con punta cónica en cada aro.

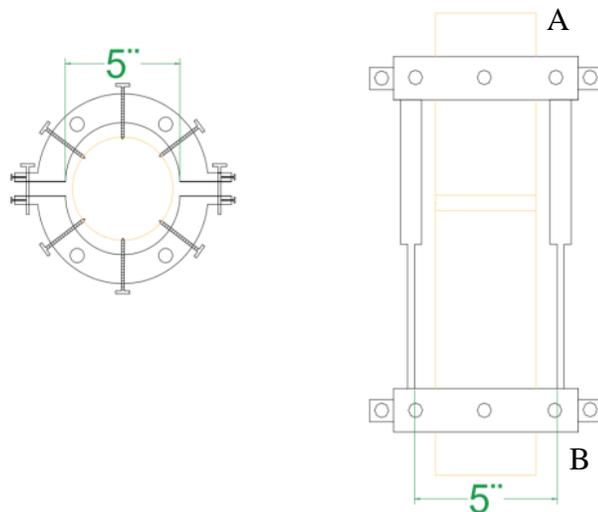


Figura 4.1: Boceto inicial para diseño y construcción de equipo.

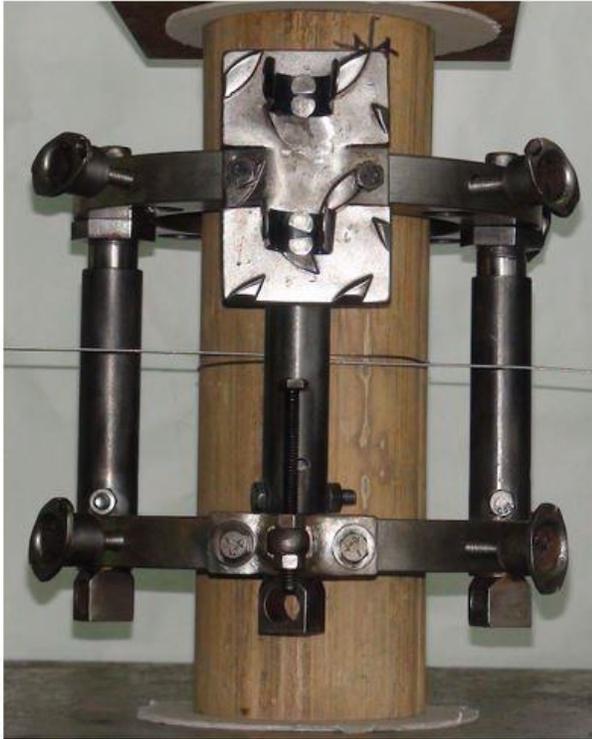


Figura 4.2 Montaje definitivo en la probeta.



Figura 4.3 Equipo para medición de deformaciones definitivo, vista de perfil.

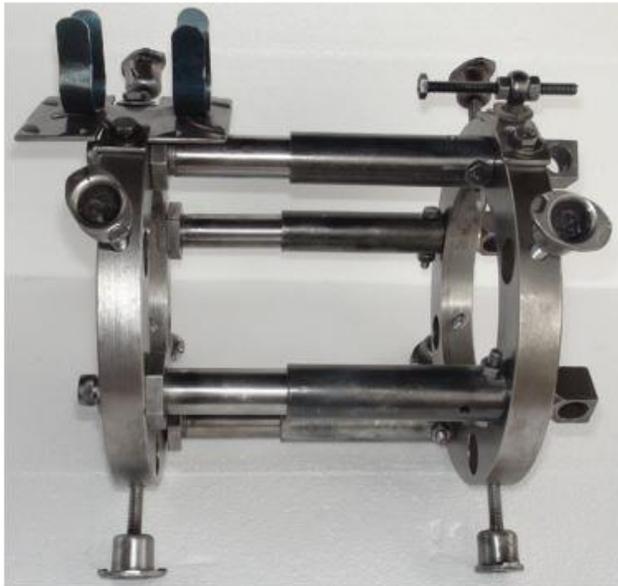


Figura 4.2 Equipo para medición de deformaciones definitivo, vista lateral y vista en planta.

“Evaluación de las propiedades mecánicas de algunas variedades de Guadua disponibles en Venezuela”

Este equipo fue elaborado a partir de una serie de materiales que hicieron posible la fabricación del mismo:



Figura 4.5 Aros macizos de acero y tornillos de punta cónica.



Figura 4.6 Tornillo calibrador y soporte de potenciómetro



Figura 4.7 Vástagos macizos de acero (pistones), arandelas de precisión y tornillos.

4.1.2 Apoyo hemisférico para ensayo a tensiones a compresión

Para obtener una distribución uniforme de la carga en los extremos de la probeta, fue desarrollado un apoyo hemisférico (rótula de acero), a partir de dos láminas circulares, que a su vez albergan una esfera del mismo material, logrando que la carga en acción se encuentre siempre perpendicular a la cara de la probeta, por su capacidad de adaptación a la posible desviación que exista entre las caras de la misma.



Figura 4.4 Apoyo hemisférico.

4.1.3 Equipo para ensayo de tensiones a compresión, variación diametral:

Debido a que se trabaja con una fibra natural, no existe homogeneidad, es decir, las deformaciones de la periferia de la probeta no son simétricas en cualquier punto de medición. Por esta razón, se ha elegido una guaya de acero, colocada alrededor del perímetro externo de la probeta, lo cual permite al TLDT registrar la deformación diametral de la zona central de la misma, producto de la aplicación de una carga axial.

Para obtener las mediciones de deformación de forma precisa se diseñaron y fabricaron dos soportes, uno que permite sostener el TLDT y albergar el mecanismo que mantiene la guaya en contacto con la probeta, y otro que permite fijar la guaya de acero a un punto inmóvil. Ambos soportes se sujetan a bases magnéticas, lo que

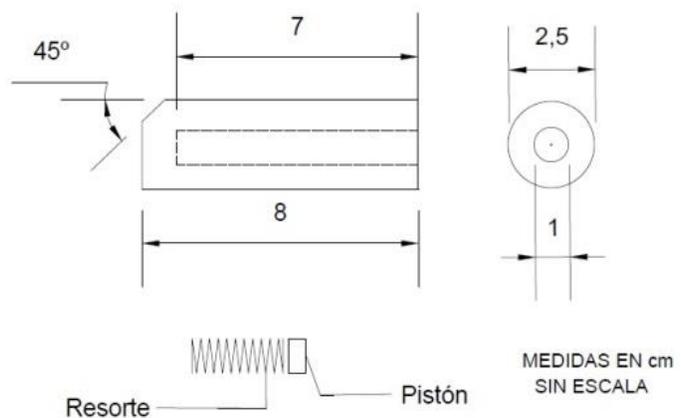


Figura 4.5 Boceto inicial del equipo diametral.

“Evaluación de las propiedades mecánicas de algunas variedades de Guadua disponibles en Venezuela”

permite realizar ensayos con probetas de diámetros variables y garantizar que la medición siempre sea tangencial a la misma.

Los soportes se han fabricados con material acrílico y madera, materiales elegidos por ser livianos y versátiles, los cuales han sido torneados hasta lograr los requerimientos de diseño.



Figura 4.8 Soporte con mecanismo mecánico

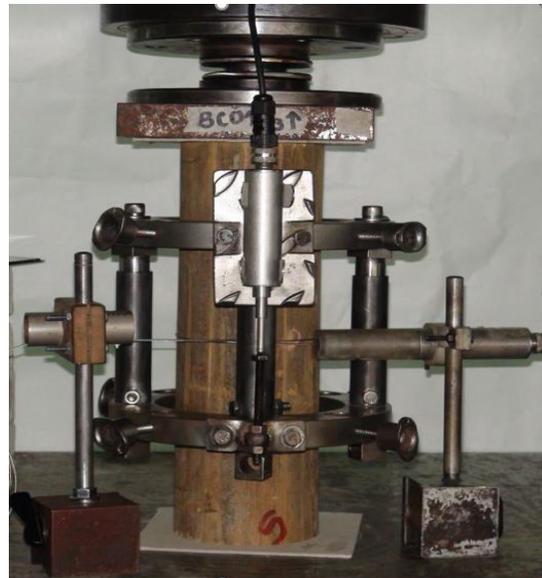


Figura 4.8 Montaje definitivo en la probeta de equipo medidor de variación diametral.



Figura 4.8 Soporte de madera fijo.

4.1.4 Equipo para ensayo de tensiones a flexión:

Siguiendo las especificaciones plasmadas en las normas, fueron desarrollados una serie de apoyos y accesorios realizados a base de madera de Puy.

Era necesario que los culmos descansaran sobre los nudos o lo más cercano a ellos para evitar generar fallas producidas por los apoyos fabricados, por lo que se desarrollaron ocho (8) de ellos, con una mueca que permite la libre rotación de la probeta tras la acción de las cargas.

Adicionalmente, se han elaborado dos cilindros macizos del mismo material, que permiten el desplazamiento lateral sobre los apoyos bajo la acción de las cargas.



Figura 4.9 Apoyo de madera de puy.



Figura 4.10 Cilindros macizos de puy.



Figura 4.12 Soporte de madera de puy.



Figura 4.11 Apoyo definitivo.



Figura 4.13 Montaje de apoyos, cilindros y viga en contacto con el cabezal



Figura 4.14 Montaje definitivo



Figura 4.15 Montaje para ensayo de tensiones a flexión.

Los instrumentos fueron desarrollados mediante equipos de metalmecánica, por medio de un proceso de torneado en acero, por ser el material a disposición.



Figura 4.16 Proceso de elaboración de equipo de medición de deformaciones longitudinales.

4.2 Comportamiento mecánico. Tensiones a compresión axial y flexión.

La distribución de probetas para cada tipo de ensayo fue realizada bajo las siguientes cantidades:

Tabla 4.1 Caracterización de las muestras – tensiones a compresión

Ensayo a tensiones de compresión					
Denominación Probeta	Sección	Dimensiones			Nudo
		Longitud (cm)	Diámetro Promedio (cm)	Espesor Promedio (cm)	
BC01I1	Cilíndrica	29	9.67	2.43	NO
BC01I2	Cilíndrica	27	10.53	3.61	NO
BC01I3	Cilíndrica	32	10.3	2.68	NO
BC01I4	Cilíndrica	30	9.84	3.11	NO
BC01I5	Cilíndrica	30.5	10.1	5.27	SI
BC01I8	Cilíndrica	30	10.03	4.35	SI
BC01M2	Cilíndrica	27	9.00	2.63	NO
BC01M3	Cilíndrica	31	10.33	2.83	NO
BC01M8	Cilíndrica	30	10.0	3.20	NO
BC01S1	Cilíndrica	29.5	9.83	2.48	NO
BC01S2	Cilíndrica	24	7.88	2.30	NO
BC01S3	Cilíndrica	31.5	10.47	3.80	SI
BC01S4	Cilíndrica	28	9.25	5.47	SI
BC02I2	Cilíndrica	29.5	10.30	1.60	NO
BC01S8	Cilíndrica	31	9.82	2.90	NO
BC02I1	Cilíndrica	29	9.67	2.45	NO
BC02S1	Cilíndrica	28	9.33	2.48	NO
BC03I1	Cilíndrica	29.5	9.85	2.43	NO

Tabla 4.2 Caracterización de las muestras – tensiones a flexión

Ensayo a tensiones de flexión							
Denominación Probeta	Sección	Dimensiones					Norma referencial
		Diámetro ext. Prom (cm)	Diámetro int. Prom (cm)	Longitud 30°Dext (cm)	Longitud efectiva (cm)	Espesores prom (cm)	
BF01M5	Cilíndrica	9.4	5.06	313	284	1.98	IS 6874:2008 India
BF01M4	Cilíndrica	9.66	5.83	305	273	1.89	IS 6874:2008 India
BF01M3	Cilíndrica	10.31	6.46	315	274	1.79	IS 6874:2008 India
BF01M8	Cilíndrica	10.04	6.18	300	267	1.52	IS 6874:2008 India
BF01M2	Cilíndrica	9.08	6.63	307	216	1.26	NTC 5525 Colombia
BF01M6	Cilíndrica	8.175	4.05	6.37	219	2.163	NTC 5525 Colombia
BF01M7	Cilíndrica	10.675	5.98	6.31	249	2.456	NTC 5525 Colombia
BF01M9	Cilíndrica	8.475	4.108	5.71	298	1.875	NTC 5525 Colombia

Tabla 4.3 Distribución de probetas ensayo mecánico.

Ensayo	Cantidad de Probetas
Compresión paralela entrenado	14
Compresión paralela con nudo	4
Felxión	8
TOTAL	26

4.2.1 Comportamiento mecánico - Tensiones a compresión

Fueron ensayadas 18 probetas en los tres (3) segmentos de los culmos, parte inferior, media y superior, distribuidas de la forma indicada en la tabla 4.4.

Tabla 4.4 Cantidad de probetas para ensayos de tensiones a compresión.

Ensayo a tensiones de compresión	
Ubicación probeta	Cantidad probetas
Superior	8
Media	3
Inferior	7
TOTAL	18

4.2.1.1 Espesor “Efectivo”

La tabla a continuación muestra los resultados obtenidos de la medición de los espesores “efectivos”:

Tabla 4.5 Resultados de espesores “efectivos”.

Resultados espesores "efectivos"				
Culmo	Probeta	Espesor "efectivo" (cm)	Espesor promedio (cm)	% Espesor (efectivo/promedio)
1	BC 01 I1	0.53	2.43	0.22
	BC 02 I1	0.58	2.45	0.24
	BC 03 I1	0.57	2.43	0.23
	BC 01 S1	0.33	2.84	0.12
	BC 02 S1	0.52	2.48	0.21
2	BC 01 I2	0.55	3.61	0.15
	BC 02 I2	0.52	1.60	0.32
	BC 01 M2	0.48	2.63	0.18
	BC 01 S2	0.35	2.30	0.15
3	BC 01 I3	0.33	2.68	0.12
	BC 01 M3	0.42	2.83	0.15
	BC 01 S3	0.57	3.80	0.15
4	BC 01 I4	0.67	3.11	0.21
	BC 01 S4	0.49	5.47	0.09
5	BC 01 I5	0.47	5.27	0.09
8	BC 01 I8	0.47	4.35	0.11
	BC 01 M8	0.43	3.20	0.14
	BC 01 S8	0.48	2.90	0.17

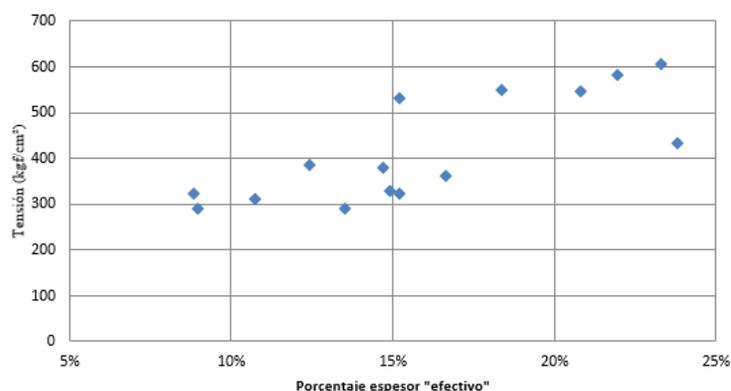


Gráfico 4.1 Tensión a compresión Vs porcentaje de espesor “efectivo”.

En el gráfico 4.1, se puede observar que existe una relación directa entre la capacidad de resistencia máxima de las probetas y el porcentaje que representa el espesor efectivo respecto al espesor promedio, bajo la acción de sollicitaciones de cargas axiales, donde se evidencia que, a medida que aumenta el porcentaje, su capacidad de resistencia incrementa.

4.2.1.2 Tensión última y Módulo de Elasticidad de tensiones a compresión paralela a las fibras.

Con los datos de carga y deformación obtenidos experimentalmente, se han realizado gráficas para la determinación del módulo de elasticidad a compresión paralela a las fibras. El módulo de elasticidad equivale a las pendientes obtenidas con las lecturas del deformímetro, dicha pendiente se tomó en los tramos de las gráficas comprendido entre el 10% y 60% de la tensión última.

Tabla 4.6 Resultados Módulo de Elasticidad.

Resultados experimentales de ensayos a tensiones de Compresión					
N. culmo	Denominación probeta	Tensión última (kgf/cm²)	Módulo Elasticidad E (kgf/cm²)	Carga en el Límite de Proporcionalidad (kgf)	Límite de Proporcionalidad
1	BC01S1	669	757456	12607	144
	BC02S1	546	151558	14941	197
	BC01I1	582	199008	15474	186
	BC02I1	433	165155	2619	31
	BC03I1	607	396524	14037	160
2	BC01S2	531	725746	7512	164
	BC01M2	550	235887	10559	152
	BC01I2	324	587958	9512	72
	BC02I2	276	587958	8292	95
3	BC01S3	329	2679752	10421	93
	BC01M3	379	1248062	4644	45
	BC01I3	385	328072	8848	90
4	BC01S4	291	153807	12738	166
	BC01I4	317	83563	7580	84
5	BC01I5	323	3904868	17085	170
8	BC01S8	361	688800	10114	118
	BC01M8	289	130809	13868	144
	BC01I8	311	119878	9308	94

“Evaluación de las propiedades mecánicas de algunas variedades de Guadua disponibles en Venezuela”

Las figuras presentadas a continuación, evidencian las fallas típicas para el ensayo a tensiones a compresión paralela a las fibras, las cuales consisten en: aplastamiento en el borde inferior y/o superior, aplastamientos al interior o exterior de la probeta, y fisuras paralelas a las fibras.



Figura 4.17 Falla por corte, borde superior externo y falla por aplastamiento general de las fibras en dirección interna, borde inferior externo.

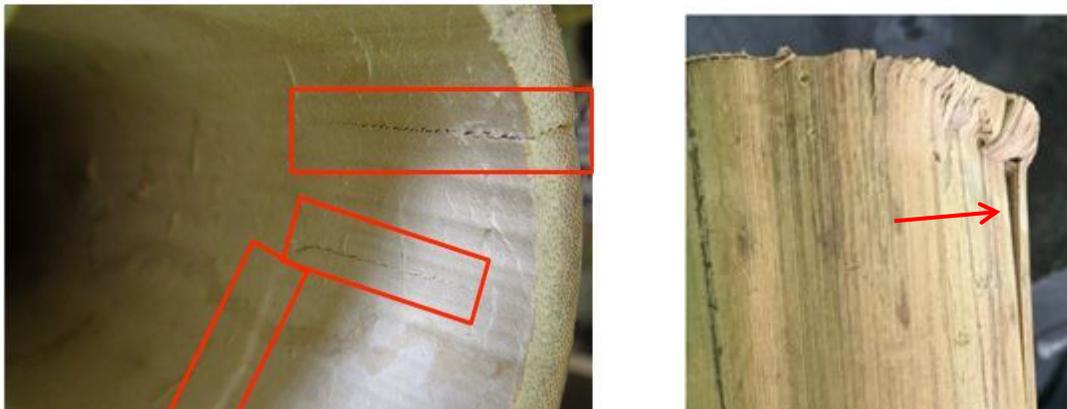


Figura 4.18 Falla paralela a las fibras, borde superior interno y falla por aplastamiento, borde superior externo.

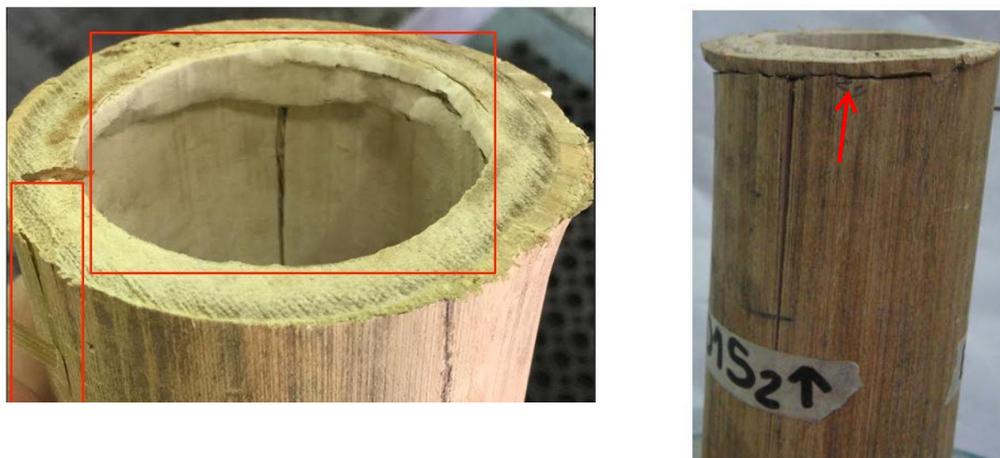


Figura 4.19 Falla por aplastamiento y falla por tensión de las fibras superior interna y externa.



Figura 4.20 Falla por tensión de las fibras superior interna y externa.

4.2.1.3 Tensión a compresión Vs Deformación Longitudinal

4.2.1.3.1 Zona Superior

Con base a los datos obtenidos experimentalmente, se determinó el módulo de elasticidad de tensiones a compresión paralela a las fibras, los resultados se muestran en la tabla 4.7.

Tabla 4.7 Resultados experimentales longitudinales; zona superior.

Resultados experimentales longitudinales superiores				
Denominación probeta	Tensión última (kgf/cm ²)	Módulo Elasticidad E (kgf/cm ²)	Tensión Límite de Proporcionalidad	Contenido de Humedad CH (%)
BC01S1	669	757456	515	12.7
BC02S1	546	151558	482	12.5
BC01S2	531	725746	310	14.6
BC01S3	329	2679752	206	13.0
BC01S4	291	153807	214	16.7
BC01S8	361	688800	265	16.4

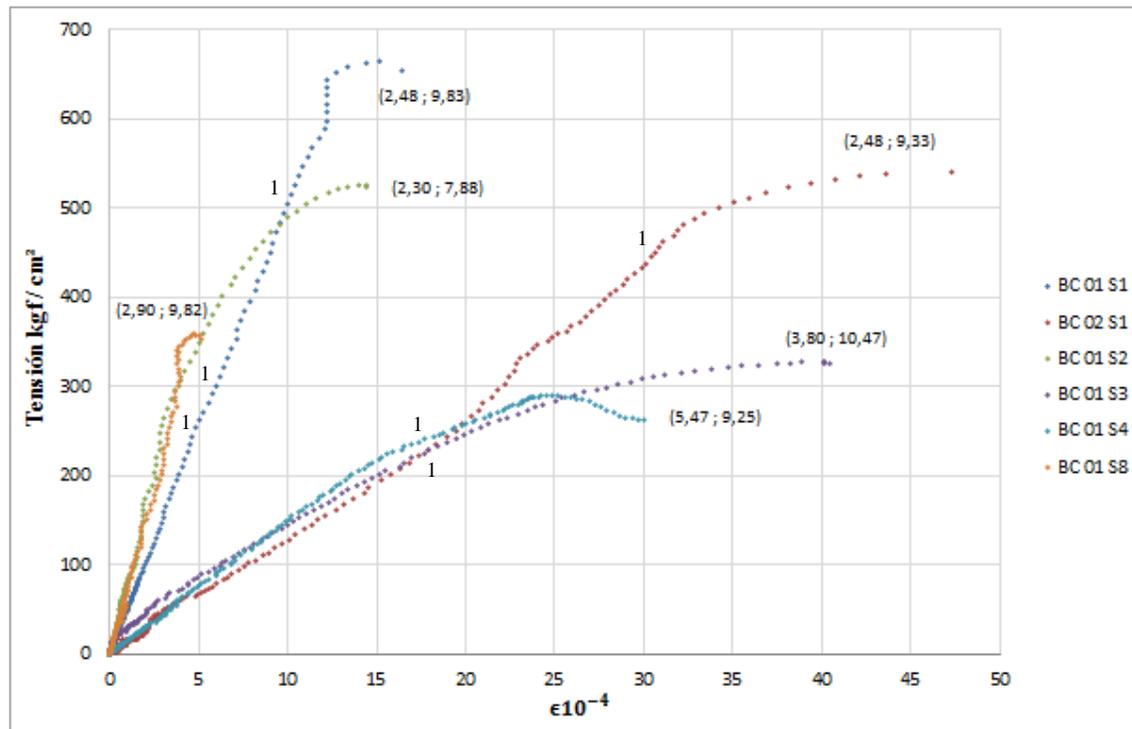


Gráfico 4.2 Tensión a Compresión Vs Deformación Longitudinal; Zona Superior.

Al observar el gráfico 4.1, se evidencia gran variabilidad en las diferentes curvas, producto de la heterogeneidad del material en estudio. Esta zona del culmo presenta una resistencia última promedio de 454 kgf/cm².

Respecto al comportamiento, en general, se observa que las probetas inician con un comportamiento lineal, hasta el punto 1, que corresponde al límite de proporcionalidad. A partir de allí, su comportamiento se podría asociar a la generación de grietas internas y/o externas, así como también, por el reacomodo de las fibras bajo el efecto de las sollicitaciones de cargas axiales a las cuales se ven sometidas.

Adicionalmente, se reportan diversos intervalos elásticos y tensiones últimas para cada estudio, con módulos de elasticidad variado. Dicho comportamiento se presume son producidos por las características de crecimiento, defectos naturales y espesores medios, ya que, a mayor valor, menor es la pendiente y, por tanto, reduce su capacidad de resistencia.

Para las probetas mostradas en el gráfico 4.2, es importante destacar que las probetas BC01S4, BC01S8 y BC01S3 poseían fisuras paralelas a las fibras previas a la realización de los ensayos.

4.2.1.3.2 Zona Media

Con respecto a las muestras extraídas de la zona media de los culmos, se descartó la probeta BC01M3, por presentar un comportamiento atípico.

Con base en los datos obtenidos experimentalmente, se determinó el módulo de elasticidad de tensiones a compresión paralela a las fibras, los resultados se muestran en la tabla 4.8.

Tabla 4.8 Resultados experimentales longitudinales; Zona Media.

Resultados experimentales longitudinales Medias				
Denominación probeta	Tensión última (kgf/cm ²)	Módulo Elasticidad E (kgf/cm ²)	Tensión Límite de Proporcionalidad	Contenido de Humedad CH (%)
Bc01M2	550	235887	432	12.5
BC01M8	289	130809	258	13.6

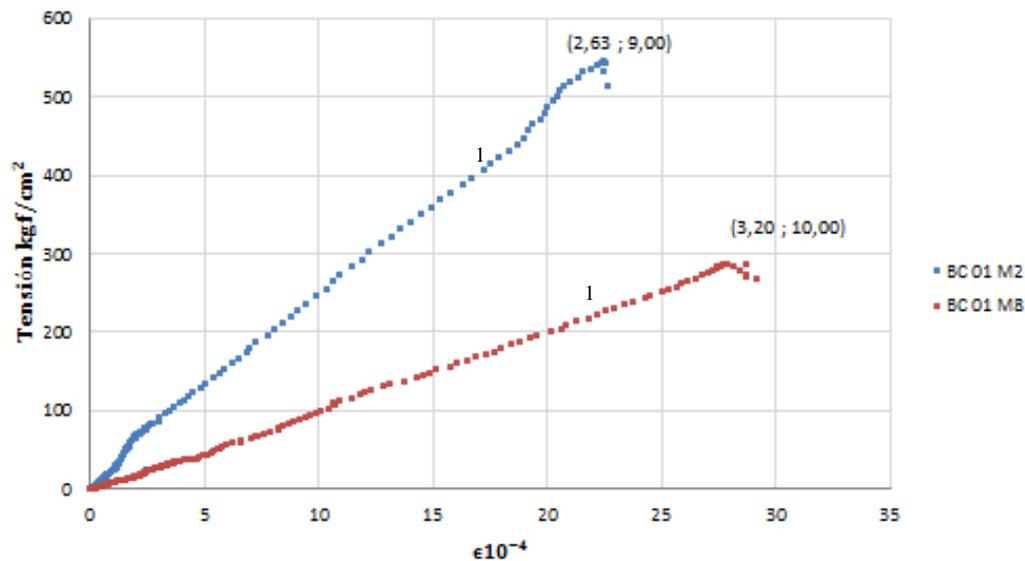


Gráfico 4.3 Tensión a Compresión Vs Deformación Longitudinal; Zona Media.

Como se puede observar en el gráfico 4.3, existe una variación importante en las pendientes correspondientes a los módulos de elasticidad y la capacidad máxima de resistencia de las probetas pertenecientes a distintos culmos.

Se evidencia que las probetas inician con un comportamiento lineal, hasta el punto 1, el cual, corresponde al límite de proporcionalidad, donde experimenta cambios en sus pendientes. Esta variación se podría ver asociada a la generación y propagación de grietas internas y/o externas, así como también, por el reacomodo de las fibras bajo el efecto de las sollicitaciones de cargas axiales a las cuales se ven sometidas.

Cabe destacar que la diferencia asociada en la capacidad de resistencia última entre los elementos en estudio se debe, no sólo a las características de crecimiento, sino también, a que la probeta BC01M8 presentaba pequeñas grietas internas, lo que pudo haber inducido a una falla prematura.

4.2.1.3.3 Zona Inferior

Con base a los datos obtenidos, se ha determinado el módulo de elasticidad de tensiones a compresión paralela a las fibras, los resultados se muestran en la tabla 4.9.

Tabla 4.9 Resultados experimentales longitudinales Inferiores.

Resultados experimentales longitudinales Inferiores				
Denominación probeta	Tensión última (kgf/cm²)	Módulo Elasticidad E (kgf/cm²)	Tensión Límite de Proporcionalidad	Contenido de Humedad CH (%)
BC0111	582	199008	449.1	17.544
BC0211	433	165155	359.3	16.393
BC0311	607	396524	519.7	13.462
BC0112	324	587958	290.2	14.286
BC0212	276	587958	244.2	13.725
BC0113	385	328072	313.1	13.208
BC0114	317	83563	244.3	14.583
BC0118	311	119878	227.7	12.069

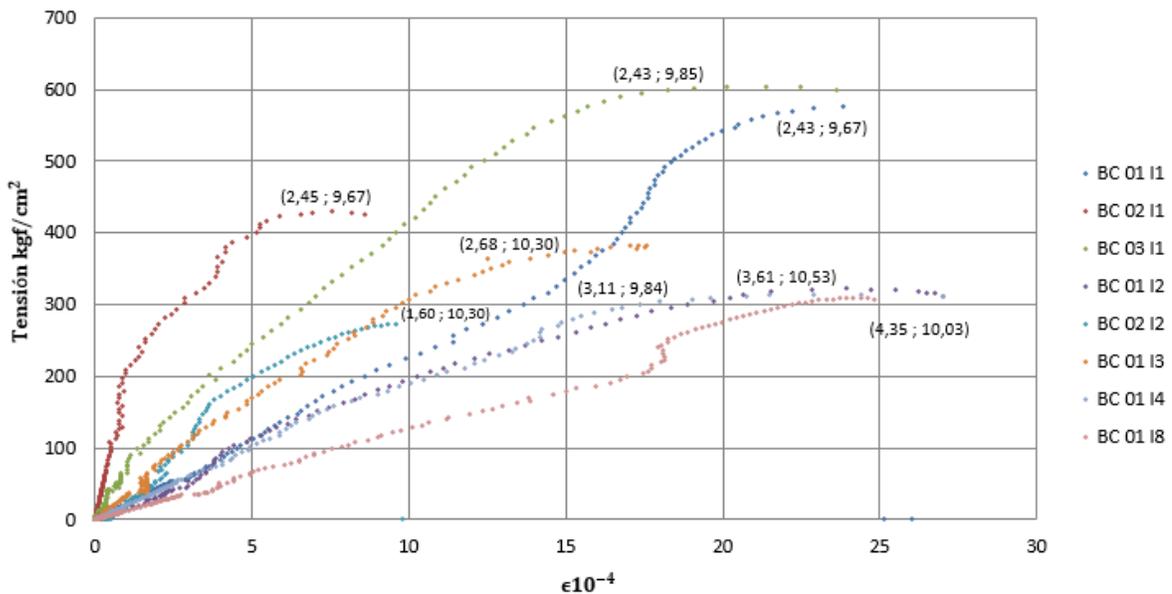


Gráfico 4.4 Tensión a Compresión Vs Deformación Longitudinal; Zona Inferior.

De las muestras extraídas de la zona inferior de los culmos, se ha descartado la probeta BC01I5, por presentar un comportamiento atípico asociado a grandes grietas en su superficie interna, previas al ensayo. (Figura 4.21).

Al observar el gráfico 4.4, se evidencia gran variabilidad en las diferentes curvas, producto de la heterogeneidad del material en estudio. Esta zona del culmo presenta una resistencia última promedio de 404 kgf / cm².

En general, se observa que las probetas inician con un comportamiento lineal, con ciertas distorsiones a lo largo de algunas curvas, donde experimenta cambios en sus pendientes. Esta variación se podría ver asociada a la generación de grietas internas y/o externas, así como también, por el reacomodo de las fibras bajo el efecto de las sollicitaciones de cargas axiales a las cuales se ven sometidas.

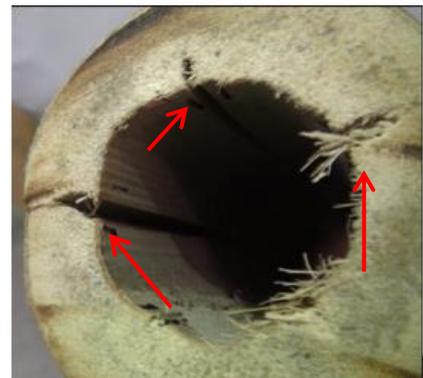


Figura 4.21 Grietas existentes BC01I5.

Adicionalmente, se reportan diversos intervalos elásticos y tensiones últimas para cada estudio, con módulos de elasticidad variado. Dichos comportamientos, se presume, son producidos por las características de crecimiento, defectos naturales y espesores medios, ya que, a mayor valor, menor es la pendiente y, por tanto, reduce su capacidad de resistencia

Es necesario mencionar la presencia de grietas en las probetas BC02I1, BC01I4, BC01I2, BC01I3 y BC01I8, cuyos resultados corresponden a los de menor capacidad de resistencia obtenida.

Las probetas BC01I2 y BC01I4 presentaban perforaciones de insectos en toda su superficie, lo que indujo a fallas prematuras, como se muestra en la figura 4.22.



Figura 4.22 Fallas producto de perforación de insectos.

4.2.1.4 Tensión a compresión Vs Deformación Diametral

4.2.1.4.1 Zona Superior

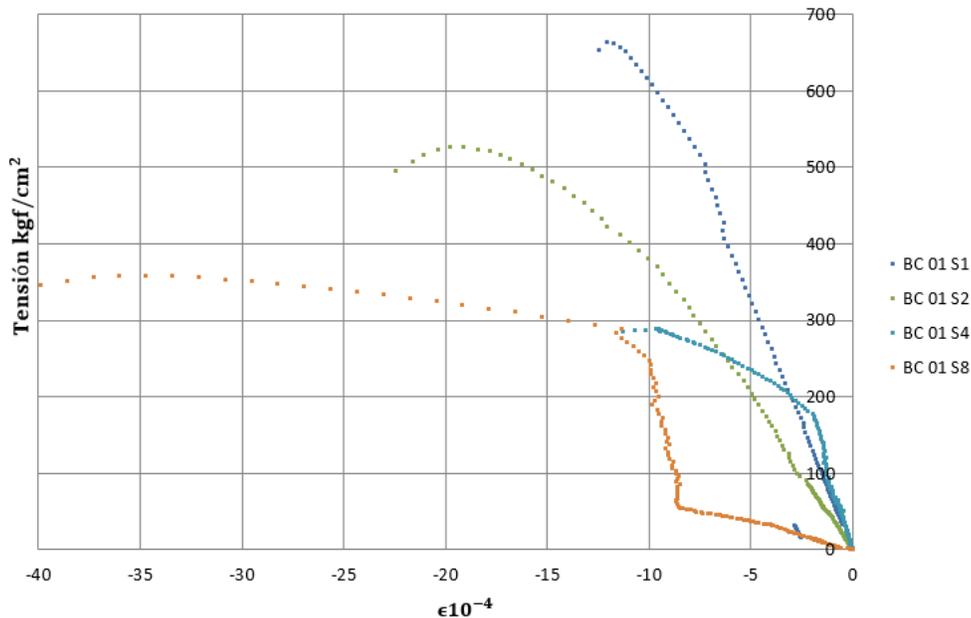


Gráfico 4.5 Tensión a Compresión Vs Deformación Diametral; Zona Superior.

Al observar las curvas tensión-deformación diametral que resultan de los ensayos realizados para la zona superior de los culmos (grafico 4.5), se puede observar el comportamiento de cada probeta ante sollicitaciones de cargas axiales.

Para las deformaciones tangenciales a las fibras, en las primeras etapas, responde según lo esperado, inicia su comportamiento resistiendo el incremento de carga. Sin embargo, en las probetas BC01S4 y BC01S8, se evidencian comportamientos distintos al resto, ese comportamiento podría verse asociado al reacomodo y adaptación del equipo de medición para las cargas iniciales.

4.2.1.4.2 Zona Media

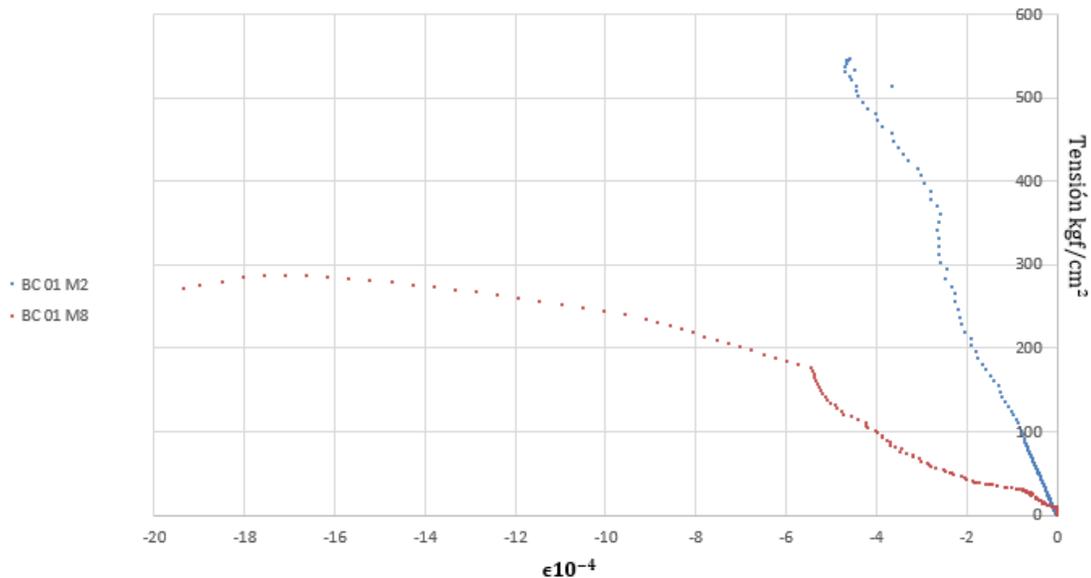


Gráfico 4.6 Tensión a Compresión Vs Deformación Diametral; Zona Media.

La probeta BC01M3 fue descartada del análisis, por presentar un comportamiento atípico respecto al resto.

En el comportamiento de estas gráficas se puede observar que la probeta BC01M8 sufre un cambio brusco en la pendiente de la curva, lo cual se podría asociar a la generación de grietas internas y/o externas, así como al reacomodo de las fibras bajo el efecto de las sollicitaciones de cargas axiales a las cuales se ven sometidas.

Con respecto a la diferencia de capacidad de resistencia, se puede alegar que existe una gran diferencia en los espesores de cada probeta.

4.2.1.4.3 Zona Inferior

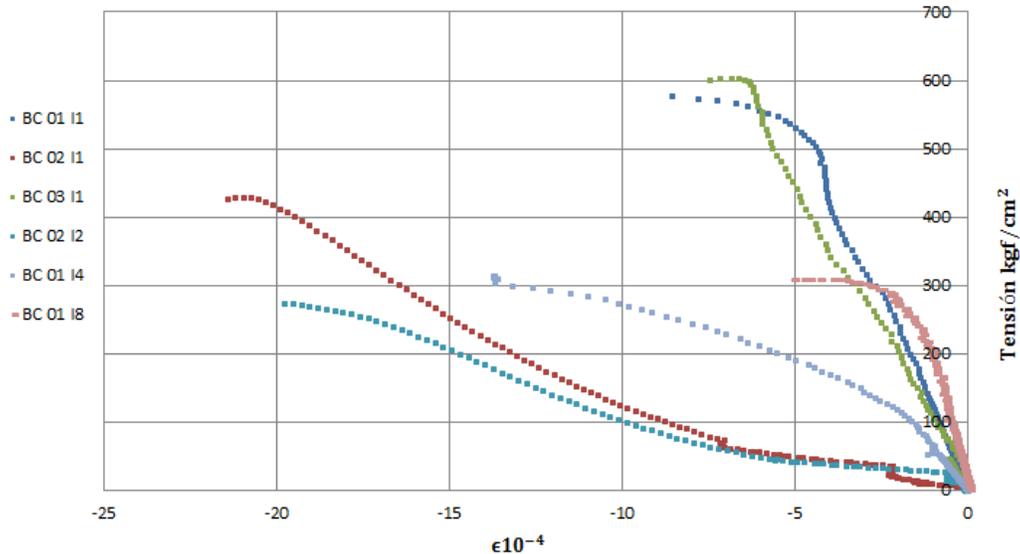


Gráfico 4.7 Tensión a Compresión Vs Deformación Diametral; Zona Inferior.

El comportamiento de las curvas mostradas en el gráfico 4.7 corresponde a la misma descripción para deformaciones longitudinales. Tomando en cuenta que, para ambos casos, las de mayor capacidad fueron las probetas BC03I1 y BC01I1 respectivamente, asumiendo que para los tramos iniciales de las curvas que poseen distorsiones, son producto del reacomodo de las fibras tras ser sometidas a sollicitaciones de cargas variables

4.3 Comportamiento mecánico - Tensiones a flexión

4.3.1 Tensión última y Módulo de Rotura de tensiones a flexión.

En la siguiente tabla se muestran los resultados de tensión última y módulo de rotura:

Tabla 4.10 Resultados ensayos de tensiones a flexión.

Resultados experimentales de ensayos a tensiones de Flexión			
Denominación probeta	Tensión última (kgf/cm ²)	Módulo de Rotura E (kgf/cm ²)	Límite de Proporcionalidad
BF01M2	1002	221	165
BF01M3	553	107	71
BF01M4	591	122	86
BF01M5	487	104	81
BF01M6	269	66	40
BF01M7	708	133	41
BF01M8	574	116	84
BF01M9	724	171	70

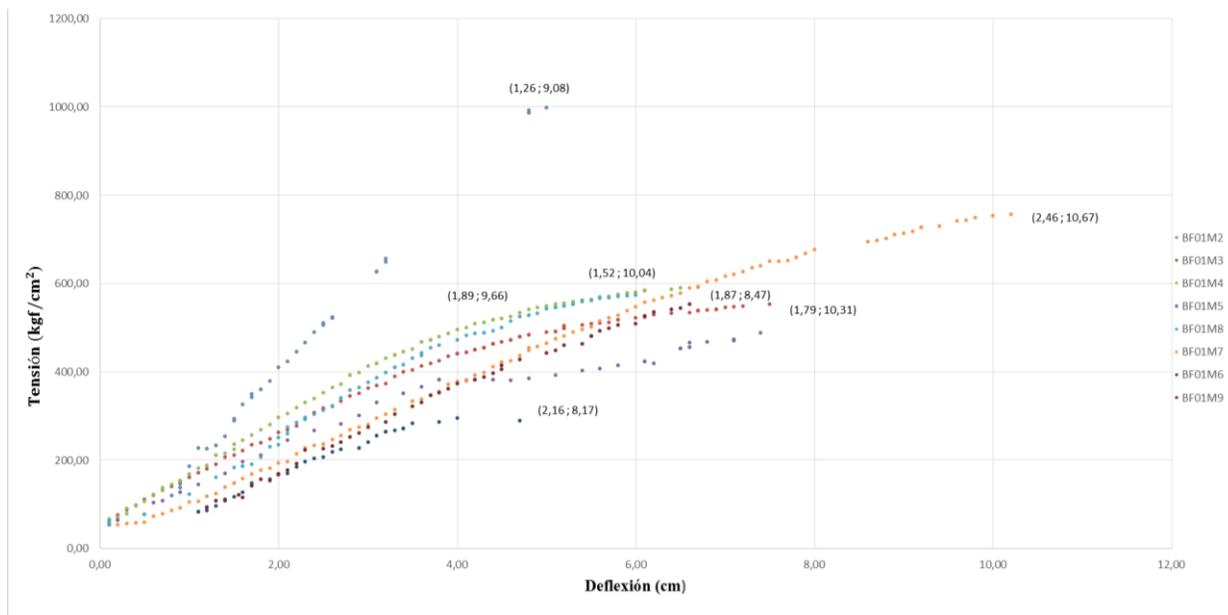


Gráfico 4.8 Tensiones a flexión Vs Deflexión.

Al observar las curvas Tensión-Deflexión se visualiza en general, que el material tiene un patrón de comportamiento similar entre las distintas probetas. En las primeras etapas, inicia su comportamiento resistiendo el incremento de carga con elevadas deflexiones, ya que se trata de un material dúctil; generando módulos de rotura parecidos entre esos valores. Sin embargo, existen tres probetas (BF01M2, BF01M6 y BF01M7) que tuvieron comportamientos distintos respecto al resto, con módulos de rotura muy distantes entre ellas.

Estos comportamientos vienen asociados a los tipos de fallas adquiridos: en el caso de BF01M2, fue el primer ensayo realizado bajo lo expuesto en la norma colombiana, en el cual se pudo evidenciar que las fallas ocurrieron por corte en los puntos de apoyo, por lo que se realizaron tres ensayos más para verificar si existía algún tipo de error en los criterios de la norma. En el caso de BF01M6, la falla se produjo muy rápidamente, posiblemente por ser la probeta de menor diámetro.

Por último, la BF01M7, tuvo el mejor de los desempeños, ya que fue una probeta que se llevó hasta el colapso, mientras que las demás sólo se llevaron a la falla.

Se pudo observar, en las probetas estudiadas, que las fallas tuvieron una deformación permanente aproximada del 9%, aunque se ha evidenciado la capacidad de recuperación del material al momento de la falla, logrando soportar solicitaciones de carga del 88% de la máxima resistida.

Las figuras presentadas a continuación, evidencian las fallas obtenidas para el ensayo a tensiones a flexión, las cuales consisten en: aplastamientos en los puntos de apoyo, fisuras paralelas a las fibras y fallas en las fibras sometidas a compresión por corte y aplastamiento.

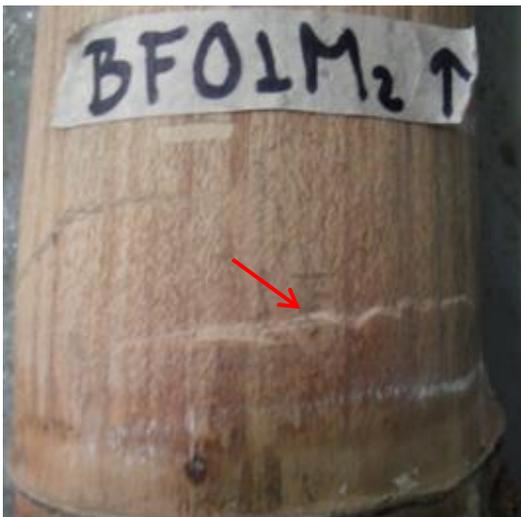


Figura 4.26 Falla por aplastamiento en los puntos de apoyos.



Figura 4.26 Falla por corte.



Figura 4.26 Falla por corte.



Figura 4.26 Falla por corte y fisuras longitudinales



Figura 4.30 Fallas por fisuras paralelas a las fibras.

5. CAPÍTULO: Conclusiones y Recomendaciones.

5.1 Conclusiones

- ✓ Tomando como referencia las normas anteriormente expuestas, se obtuvieron módulos de elasticidad tomados a partir de la pendiente correspondida entre el 10% y el 60% de la tensión última de cada probeta. Resultando un valor promedio de 356.000 kgf / cm².
- ✓ Los comportamientos de tensiones a compresión paralela a las fibras de los elementos en estudio, arrojaron como principal característica que poseen capacidad de recuperación al momento de la falla, logrando soportar solicitaciones de carga de hasta el 79,5% de la tensión máxima resistida. Este comportamiento se ve asociado a la generación de fisuras internas y posterior reacomodo de las fibras que contribuyen al incremento de resistencia, observando deformaciones permanentes.
- ✓ Las fallas características del material al ser sometida a tensiones a compresión comprenden fallas locales dúctiles por aplastamiento en las caras de las probetas y grietas longitudinales en el exterior e interior de las mismas. Además, esta variedad de Guadua tiende a mantener su integridad estructural sin presentar un colapso repentino luego de haber desarrollado su capacidad de resistencia última de tensiones a compresión.
- ✓ La zona del culmo en la cual se extrajo la probeta a ser ensayada, es una variable a considerar, ya que la zona superior posee una capacidad de resistencia a tensiones a compresión de un 11% mayor que la zona media, y 13% mayor que la zona inferior; así como también, entre la zona media y la zona superior es de 22 %. Esta diferencia es más notable en el módulo de elasticidad, debido a que en la zona superior el promedio del módulo de elasticidad es de 495.473 kgf/cm², mientras que el de la zona inferior fue de 263.260 kgf/cm², alrededor de un 43% de diferencia.
- ✓ Los nudos no aportan resistencia estructural adicional, ya que la resistencia máxima a tensiones a compresión en probetas con nudos, fue un 26% menor a la resistencia obtenida en probetas sin nudos.

- ✓ Los comportamientos asociados a las tensiones a flexión de los elementos en estudio, arrojaron como principal característica que poseen capacidad de recuperación del material al momento de la falla, logrando soportar solicitaciones de carga del 88% de la máxima resistida. Este comportamiento se ve asociado a la generación de fisuras internas y posterior reacomodo de las fibras que contribuyen al incremento de resistencia, obteniendo deformaciones permanentes aproximadas de 1cm a 1,5cm de deflexión.
- ✓ Las fallas generadas en los ensayos de tensiones a flexión, se desarrollaron en su totalidad en las fibras que se encontraban a tensiones a compresión, este comportamiento corrobora la hipótesis de que la capacidad de resistencia del material a tensiones a tracción es mayor que a tensiones a compresión.
- ✓ La presencia de perforaciones realizadas durante el proceso de inmunización y/o perforaciones hechas por insectos, antes del inmunizado, fomenta la aparición de grietas longitudinales y fallas locales por aplastamiento durante la aplicación de la carga axial del ensayo a tensiones a compresión.
- ✓ Los diámetros externos y espesores disminuyen con la altura de los culmos, es decir, que estos son menores en la zona superior que en la zona inferior del mismo.
- ✓ El coeficiente de correlación entre la tensión última y los espesores promedios, dio como resultado que las tensiones últimas disminuyen al aumentar el espesor de la probeta.

5.2 Recomendaciones.

- ✓ Para la realización de futuros ensayos de tensiones a compresión paralela a las fibras y flexión perpendiculares a la misma, incrementar la población de probetas para poder emplear análisis estadísticos más exhaustivos.
- ✓ Realizar ensayos de tensiones a compresión paralela a la fibra y flexión, variando la velocidad de aplicación de la carga, con el fin de determinar si existe alguna variación en el módulo de elasticidad y capacidad de resistencia última.
- ✓ Realizar estudios de ensayos de fatiga.
- ✓ Para la realización de ensayos de tensiones a compresión, se recomienda efectuar un estudio en el cual se estandaricen los diámetros, retirando el material más interno, para evaluar directamente las propiedades de la sección externa.
- ✓ Se recomienda la realización del proceso de inmunizado mediante otro tipo de ejecución, evitando la perforación de los culmos.
- ✓ Se considera apropiado evaluar las propiedades mecánicas en diferentes variedades de Guadua.

6. BIBLIOGRAFÍA

6.1 Referencias Bibliográficas

- **Hibbeler, R.C., (2006)**, Mecánica de Materiales, Editorial Pearson, Distrito Federal, México.
- **James M. Gere & Stephen Timoshenko (1974)**, Mecánica de los materiales, Editorial Hispano-Americana, México.
- **Singer Ferdinand L, & Pytel Andrew (1982)**, Resistencia de los Materiales, Editorial Hispano-Americana, Distrito Federal, México.
- **Robles F., Francisco & Echenique M., Ramón (1983)**, Estructuras de Madera, Editorial Limusa, Distrito Federal, México.

6.2 Referencias Electrónicas

- **Echezuría H., (2018)**. *El Bambú como Recurso Sustentable para Construcción de Viviendas de Bajo Costo*. Recuperado de: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=7&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiJmM7MopDeAhVKrlkKHc_4BGoQFjAGegQIBxAC&url=http%3A%2F%2Frevistasenlinea.saber.ucab.edu.ve%2Ftemas%2Findex.php%2Ftekhne%2Farticle%2Fdownload%2F3673%2F3150&usg=AOvVaw3WOFn1qGxI3QIh7m0KLpzs
- **Poveda M., William A., (2011)**. *Comparación del bambú con el acero como material de refuerzo a flexión en concreto*. Recuperado de: https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6165/Comparaci%F3n_bamb%FA_acero_material_%20refuerzo_flexi%F3n_concreto.pdf?sequence=1

- **Figueroa C. Verónica, & S Ardiña Z. Camila E., (2009).** *Bambú en Chile Posibilidades de industrialización y estandarización del cultivo.* Recuperado de: http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2009/aq-figueroa_v/html/index.html
- **Morales V. Aleyda; Herrera A. Zoila, (1994).** *Estudio Tecnológico de la Madera en tres especies de Magle.* Recuperado de: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwIjqOefpZDeAhVDvFkKHx3QCJ0QFjABegQICBAB&url=https%3A%2F%2Fvdocuments.site%2Fbasededatosintegraltesisypracticass0pdf.html&usg=AOvVaw0lsqpsWLSBsHXCCO_8UaVD
- **Pérez O. Álvaro, (2014).** *Comparación de ensayos a compresión de madera estructural mediante norma UNE y norma ASTM.* Recuperado de: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=2ahUKEwik8qLFpZDeAhWuslkKHakiDsoQFjABegQICBAC&url=https%3A%2F%2Fcore.ac.uk%2Fdownload%2Fpdf%2F61519912.pdf&usg=AOvVaw0QHOTEyYGGuMz0GwEofE nf>
- **Londoño X., Camayo G. C., Riaño N. M. and López Y., (2002).** *Characterization of the anatomy of guadua angustifolia (Poaceae: Bambusoideae) culms Bamboo Science and Culture.* Recuperado de: The Journal of the American Bamboo Society.
- **Salazar J., Álvaro A.; Quintero S., Carlos M. & Fonthal, Gerardo, (2016).** *Revisión de la norma ISO-N314-22157 para estandarizar los ensayos de compresión paralela en la guadua angustifolia Kunth.* Recuperado de: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702016000200002

6.3 Normas

- **NTC 5525:2007.** “Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la Guadua Angustifolia Kunth”
- **IS 6874:2008.** “Indian Standard Method of test for Bamboo (First Revision)”.

ANEXOS

1. Densidad Relativa

Tabla 1.1 Resultados de Densidad Relativa / Peso Específico.

Densidad relativa / Peso Específico						
Ensayo	Probeta	Masa probeta Anhidra (grs)	Volumen probeta (cm ³)	Densidad (grs / cm ³)	Densidad del agua (grs / cm ³)	Densidad Relativa
COMPRESIÓN	BC01S1	5,5	7,0	0,79	1	0,79
	BC02S1	5,4	6,0	0,90		0,90
	BC01H1	6,1	9,0	0,68		0,68
	BC02H1	5,9	9,0	0,66		0,66
	BC03H1	5,8	8,0	0,73		0,73
	BC01S2	4,8	6,0	0,80		0,80
	BC01M2	4,8	8,0	0,60		0,60
	BC01H2	5,3	9,0	0,59		0,59
	BCC02I2	5,2	10,0	0,52		0,52
	BC01S3	5,7	14,0	0,41		0,41
	BC01M3	4,9	9,0	0,54		0,54
	BC01H3	3,6	6,0	0,60		0,60
	BC01S4	6,1	20,0	0,31		0,31
	BC01H4	4,8	8,0	0,60		0,60
	BC01H5	7,8	15,0	0,52		0,52
	BC01S8	4,1	6,0	0,68		0,68
BC01M8	5,1	9,0	0,57		0,57	
BC01H8	6,1	12,0	0,51		0,51	
FLEXIÓN	BF01M2	4,0	5,0	0,80	1	0,80
	BF01M3	5,1	10,0	0,51		0,51
	BF01M4	5,7	10,0	0,57		0,57
	BF01M5	8,0	15,0	0,53		0,53
	BF01M6	7,2	11,0	0,65		0,65
	BF01M7	9,0	20,0	0,45		0,45
	BF01M8	5,0	9,0	0,56		0,56
	BF01M9	7,6	13,0	0,58		0,58

2. Resultados – Tensiones a Flexión.

Tabla 1.2 Resultados Tensiones a Flexión

Resultados experimentales de ensayos a tensiones de Flexión					
Denominación probeta	Tensión última (kgf/cm ²)	Módulo de Rotura E (kgf/cm ²)	Límite de Proporcionalidad (kgf/cm ³)	Contenido de Humedad CH (%)	Densidad (grs/ml)
BF01M2	1002	221	165	15.00	0.80
BF01M3	553	107	71	17.65	0.51
BF01M4	591	122	86	15.79	0.57
BF01M5	487	104	81	15.00	0.53
BF01M6	269	66	40	15.28	0.65
BF01M7	708	133	41	13.33	0.45
BF01M8	574	116	84	16.00	0.56
BF01M9	724	171	70	13.16	0.58

3. Resultados – Tensiones a Compresión.

Tabla 1.3 Resultados Tensiones a compresión.

Resultados experimentales de ensayos a tensiones de Compresión											
N. culmo	Denominación probeta	Tensión última (kgf/cm ²)	Módulo Elasticidad E (kgf/cm ²)	Espesores promedios (cm)	Area Sección Transversal (cm ²)	Carga en el Límite de Proporcionalidad (kgf)	Altura probeta (cm)	Diámetro externo prom. (cm)	Momento de Inercia cm ⁴	Límite de Proporcionalidad (kgf/cm ³)	Contenido de Humedad CH (%)
1	BC01S1	669	757456	2.480	24.460	12607	29.500	9.830	430.725	144	12.727
	BC02S1	546	151558	2.480	31.010	14941	28.000	9.330	354.058	197	12.500
	BC01I1	582	199008	2.430	32.023	15474	29.000	9.670	402.940	186	17.544
	BC02I1	433	165155	2.450	33.458	2619	29.000	9.670	403.804	31	16.393
	BC03I1	607	396524	2.430	32.770	14037	29.500	9.850	431.643	160	13.462
2	BC01S2	531	725746	2.300	24.200	7512	24.000	7.880	183.585	164	14.634
	BC01M2	550	235887	2.630	24.460	10559	27.000	9.000	312.458	152	12.500
	BC01I2	324	587958	3.610	49.560	9512	27.000	10.530	597.616	72	14.286
	BC02I2	276	587958	1.600	42.010	8292	29.500	10.300	427.744	95	13.725
3	BC01S3	329	2679752	3.800	50.610	10421	31.500	10.470	586.540	93	12.963
	BC01M3	379	1248062	2.830	37.880	4644	31.000	10.330	535.600	45	14.754
	BC01I3	385	328072	2.680	37.830	8848	32.000	10.300	523.250	90	13.208
4	BC01S4	291	153807	5.470	59.410	12738	28.000	9.250	358.965	166	16.667
	BC01I4	317	83563	3.110	39.690	7580	30.000	9.840	451.774	84	14.583
5	BC01I5	323	3904868	5.270	61.490	17085	30.500	10.100	510.803	170	17.949
8	BC01S8	361	688800	2.900	38.110	10114	31.000	9.820	443.654	118	16.393
	BC01M8	289	130809	3.200	53.670	13868	30.000	10.000	482.629	144	13.559
	BC01I8	311	119878	4.350	53.670	9308	30.000	10.030	496.637	94	12.069

Figura 1.1 Planilla de elaboración de ensayos.

Planilla de elaboración de ensayos						
Laboratorio de Materiales de construcción y tecnología del concreto						
"Evaluación de las propiedades mecánicas de algunas variedades de Guadua disponibles en Venezuela"						
Tesistas:	Lorena Carballo y Gustavo Kosler			Tutor:	Yelitza Sirit	
Nombre y dirección del laboratorio	Laboratorio de Materiales de Construcción y tecnología del Concreto			Director del laboratorio:	Guillermo Bonilla	
	Universidad Católica Andrés Bello, Sede Montalban, Caracas, Venezuela			Ensayos a cargo de:	Egger Romero	
Nombre Botánico (Especie)	GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH			Fecha de Ensayo	20/09/2018	
Nombre de la localidad	Curbati, Estado Barinas, Venezuela			Normativa utilizada	N/A	
CARACTERÍSTICAS DEL CULMO Y PROBETA						
Número de culmo	1	Denominación de la probeta	BC0111		Criterio para dimensiones probeta	3°D
Longitud del culmo (cm)	654	Longitud de la probeta (cm)	29		Diámetro / Anchura promedio probeta (cm)	9.67
Espesor promedio probeta (cm)	2.43	Masa probeta (g)	788		Temperatura y humedad relativa del ensayo	25 / 70%
Curvatura probeta:	Pronunciada <input type="checkbox"/>	Media <input type="checkbox"/>	Baja <input type="checkbox"/>	X <input checked="" type="checkbox"/>	ACORTAMIENTO	2 mm
OBSERVACIONES Y DETALLES:						
CONTENIDO DE HUMEDAD						
Dimensiones:	Anchura (cm): 2.5	Altura (cm): 2.5	Espesor (cm): 1.3	Denominación de la muestra: CHC0111		
Masa muestra (g):	7.00	Temperatura del horno (°C): 100	Tiempo en el horno (hrs): 38			
Registro de masa:	Intervalos de tiempo (hrs): 2	Masa (g):		Desviación definitiva: 6.1		
		1) 6.2				
		2) 6.1				
		3) 6.1				
DENSIDAD						
Dimensiones:	Anchura (cm): 2.5	Altura (cm): 2.5	Espesor (cm): 1.3	Denominación de la muestra: CHC0111		
Contenido de humedad	14.75%	Masa (g):				
Volumen (cm³):	9	1) 6.2				
		2) 6.1				
		3) 6.1		Desviación definitiva: 6.1		
DATOS ENSAYO						
Velocidad de aplicación de carga (mm/s):	0.01	Tipo de ensayo:	COMPRESIÓN		Denominación de la probeta: BC0111	
Marca del equipo de ensayo	Baldwin de Capacidad 100 T					
Tipo de medición de deformación:	Potenciómetro <input checked="" type="checkbox"/>	Vídeo <input type="checkbox"/>	Cinta métrica: <input type="checkbox"/>	Tiempo de Ensayo (min): 5.83		
Carga máxima a la falla (Kg):	18634.8	Deformación a la falla (mm):	0.346	Tensión última (Kg/mm²): 582		
DESCRIPCIÓN DEL TIPO DE FALLA:	FALLA POR APLASTAMIENTO, CARA SUPERIOR.					
SOLO PARA USO A TENSIONES DE FLEXIÓN	Separaciones entre apoyos (cm):		Diámetro externo promedio post ensayo (cm):		Espesor promedio post ensayo (cm):	
SOLO PARA USO A TENSIONES DE COMPRESIÓN	Nudo en la luz media: NO		Desviación angulo entre caras (mm):		N/A	

4. Evidencia



Figura 1.1 Culmos - longitud inicial



Figura 1.2 Equipo – Tensiones a compresión.

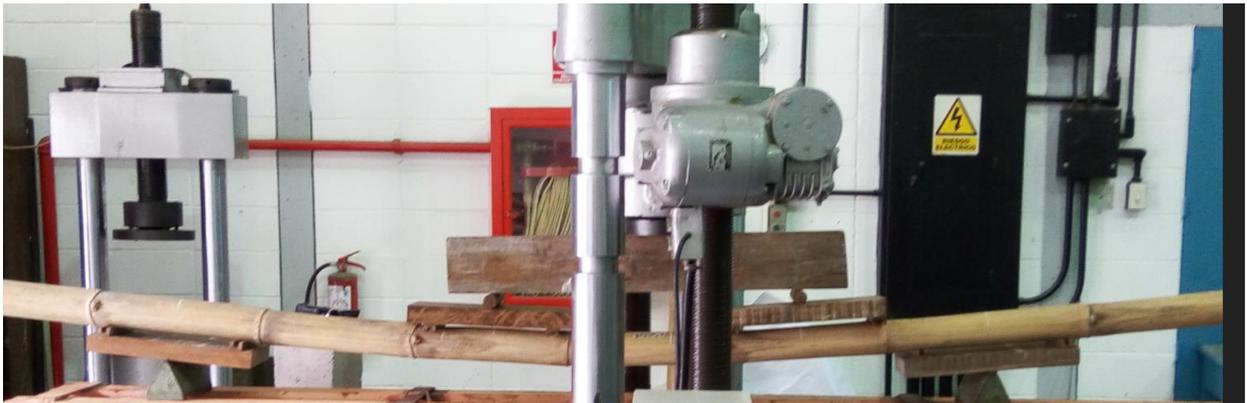


Figura 1.3 Ensayos – Tensiones a Flexión.



Figura 1.4 Montaje ensayos.



Figura 1.5 Desarrollo de apoyo hemisférico.