



UNIVERSIDAD ESTATAL
PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIA DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**INVESTIGACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS BÁSICAS DEL
BAMBÚ BAMBUSA VULGARIS PARA USO ECOLÓGICO.**

Autor:

DEL PEZO MONTENEGRO GEOVANNY DANIEL

La Libertad, Ecuador

2020



**UNIVERSIDAD ESTATAL
PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIA DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**INVESTIGACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS BÁSICAS DEL
BAMBÚ BAMBUSA VULGARIS PARA USO ECOLÓGICO.**

TRABAJO PRÁCTICO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO CIVIL

Autor:

DEL PEZO MONTENEGRO GEOVANNY DANIEL

Tutor:

ING. JAIME F. ARGUDO PhD.

La Libertad, Ecuador

2020

APROBACIÓN DE TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo del Componente Práctico, modalidad Examen de carácter Complexivo denominado "INVESTIGACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS BÁSICAS DEL BAMBÚ BAMBUSA VULGARIS PARA USO ECOLÓGICO." elaborado por el Sr. GEOVANNY DANIEL DEL PEZO MONTENEGRO, me permito declarar que luego de haberlo dirigido, estudiado y revisado, la apruebo en su totalidad.

TUTOR

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized loop followed by a long, sweeping stroke that extends to the right. The signature is written over a horizontal line.

Ing. Jaime F. Argudo, PhD.
La Libertad, a los 26 días del mes de Septiembre del 2020

DECLARACION DE AUTENTICIDAD

YO, GEOVANNY DANIEL DEL PEZO MONTENEGRO

DECLARO QUE:

El trabajo/ tarea integradora de grado denominado “INVESTIGACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS BÁSICAS DEL BAMBÚ BAMBUSA VULGARIS PARA USO ECOLÓGICO.”, ha sido desarrollada con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las referencias que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico de la tesis y/o proyecto de grado en mención.



Geovanny Daniel Del Pezo Montenegro

AUTOR

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a mis padres Hugo Giovanni Del Pezo Muñoz y Gladys Marlene Montenegro Morales, hermanos y amigos que han estado durante el proceso como cimientos para la construcción de mi vida profesional, siendo día a día el impulso para lograr el objetivo anhelado.

AGRADECIMIENTO

Al tener la dicha de tener a mis padres con salud y bienestar, agradezco a Dios por tan grato regalo siendo ellos la luz en tiempos de oscuridad dando ese apoyo incondicional antes y durante el proceso de obtención de este título.

A los docentes que han puesto un escalón de aprendizajes en el proceso de ir subiendo con conocimientos que servirán en nuestra vida profesional y con la grata confianza y amistad que se formó durante los periodos académicos, al Ing. Jaime Argudo PhD. por haber guiado este proyecto hasta la culminación dando todas las directrices necesarias en el desarrollo, a la Ing. Lucrecia Moreno Mg. por el apoyo antes y durante la elaboración de este proyecto y por los ensayos de las muestras realizados en su laboratorio.

INDICE GENERAL

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	¡Error! Marcador no definido.
DECLARACION DE AUTENTICIDAD.....	III
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VI
INDICE DE TABLAS	X
INDICE DE FIGURAS.....	XI
RESUMEN.....	XII
ABSTRACT.....	XIII
INTRODUCCION	1
UNIDAD I.....	2
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.3 OBJETIVOS	3
1.3.1 Objetivo General.	3
1.3.2 Objetivos Específicos.	3
1.2 JUSTIFICACION	4
UNIDAD II	5
MARCO TEORICO REFERENCIAL.....	5
2.1. Bambú Bambusa Vulgaris.....	5
2.1.2 Propiedades del Bambú Bambusa Vulgaris	5
UNIDAD III	6
PROPIEDADES MECANICAS DEL MATERIAL.....	6
(MARCO TEORICO).....	6
3.1. Propuesta de investigación	6
3.2. Descripción botánica	6

3.3.	Características para cultivo de bambú <i>Bambusa Vulgaris</i>	7
3.4.	Elementos Cargados Axialmente	9
3.5.	Pandeo Flexionante en columnas	10
3.5.1.	La fórmula de Euler	11
3.5.2.	Restricciones en los extremos y longitud efectiva de una columna.....	12
3.5.3.	Relaciones de esbeltez máximas	14
UNIDAD IV		15
DETERMINACION EXPERIMENTAL DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DEL MATERIAL		15
4.1	Proceso de extracción de muestras	15
4.2	Tests para determinación de resistencias.....	17
4.3	Compresión simple.....	18
4.4	Método de prueba estándar para resistencia a la rotura por tracción	19
4.5	Módulo de elasticidad.	20
4.6	Método modo de falla por pandeo flexionante.....	21
4.7	Área de cilindro hueco	22
4.7.1	Factor K para longitud efectiva según restricciones en apoyos	22
4.7.2	Inercia.....	23
4.7.3	Radio de giro	23
4.7.4	Relación del Esbeltez	23
4.7.5	Carga crítica por pandeo teórica.	24
4.7.6	Esfuerzo máximo de pandeo flexionante teórica.	24
4.7.7	Esfuerzo critico de pandeo flexionante experimental.	24
4.8	Análisis y Resultados	25
4.8.1	Ensayo de compresión simple.....	25

4.8.2	Ensayo de tracción	26
4.8.3	Ensayo de Modulo de elasticidad.....	27
4.8.4	Ensayo de falla por Pandeo Flexionante	28
4.8.5	Curva de Euler pandeo critico flexionante.....	29
CONCLUSIONES		31
RECOMENDACIONES.....		32
RECONOCIMIENTO.....		33
BIBLIOGRAFÍA		34
ANEXOS		35
Anexo 1: Detalles de compresión critica de pandeo muestras PLF1-PLF3.....		35
Anexo 2: Detalles de compresión critica de pandeo muestras PLF4-PLF5.....		36
Anexo 3: Detalles de compresión critica de pandeo muestras PLF6-PLF8.....		37
Anexo 4 Detalles de compresión critica de pandeo muestras PLF6-PLF8.....		38
Anexo 5 Detalles de ensayo de Tracción muestras Tr1-Tr6.....		39
Anexo 6: Detalles Modulo de elasticidad muestras E1-E3.....		40
Anexo 7: Detalles de compresión simple muestras C1-C7.....		42
Anexo 8: Detalles de compresión simple muestras C8-C9.....		43

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características y propiedades de la caña Bambusa Vulgaris.....	8
Tabla 2: Periodo de cultivos.....	8
Tabla 3: Tests realizados.....	17
Tabla 4: resultados de ensayo de compresión simple.....	25
Tabla 5: resultados de ensayo de tracción.....	26
Tabla 6: Resultados del ensayo de módulo de elasticidad.....	27
Tabla 7: Resultado de carga a compresión por pandeo.....	28
Tabla 8: Resultado de esfuerzo compresión critico al pandeo flexionante.....	29

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Grafica P_c/A vs L/r	10
Figura 2: Restricciones en los extremos y longitud efectiva de una columna.....	12
Figura 3: Grafica F_{cr} vs KL/r	13
Figura 4: Curva teórica de pandeo de Euler para Acero de baja fluencia sin esfuerzos residuales e imperfecciones de verticalidad.	14
Figura 5: Proceso de extracción de muestra	15
Figura 6: medición de muestras	
Figura 7: Ensayo de carga y deformación.....	16
Figura 8: ensayo de compresión axial por pandeo y	
Figura 9: ensayo de compresión axial.....	16
Figura 10: ensayo de compresión simple.....	18
Figura 11: Ensayo modo de falla por tracción.....	19
Figura 12: Ensayo para determinar Modulo de elasticidad.....	20
Figura 13: Ensayo pandeo flexionante tipo 1 y	
Figura 14: Ensayo pandeo flexionante tipo 2.....	21
Figura 15: Ensayo pandeo flexionante tipo 3 y	
Figura 16: Ensayo pandeo flexionante tipo 4.....	21
Figura 17: Ensayo para determinar módulo de elasticidad	27
Figura 18: Grafica experimental de Euler y datos de esfuerzo de compresión	29

RESUMEN

En esta tesina, se podrá observar muestras del bambú bambusa vulgaris que fueron recolectadas de la plantación en la Comuna de Olón de la provincia de Santa Elena, para medir la resistencia al esfuerzo de compresión crítico y la resistencia a la tracción (indirecta) en el laboratorio.

El análisis de los datos se llevó a cabo con los resultados de la prueba utilizando gráficos para el esfuerzo de compresión crítico σ_e versus la relación de esbeltez (KL / r), con los valores de la media y desviación estándar, donde se compararon para la resistencia a la compresión axial σ_c , la resistencia a la tracción de división T y el módulo de elasticidad (E) de las propiedades mecánicas del material que se determinaron en laboratorio y se utilizan para inclusión en el uso ecológico del material y potenciar el uso estructural en diseños futuros.

Los resultados de las pruebas se presentan en la Unidad IV, describiendo el procedimiento y análisis desarrollado.

Palabras Claves: Propiedades, Mecánicas, Bambusa, Vulgaris.

ABSTRACT

In this tesis, simples of bambusa vulgaris bambu gathered from the Olón Community Plantation in Santa Elena Province are tested to measure critical compressive stress strength and Splitting (indirect) tensile strength in laboratory

Data analysis was carried out with test results using plots for critical compressive stress σ_c versus slenderness ratio (KL/r), mean and standard desviation values were compated for axial σ_c compressive strength, T Splitting tensile strength and Modulus of elasticity (E) of mechanical properties the material are determined in laboratory and use to entrance ecological use of material to potential structural use in designs in future.

The results of the tests are presented in Unit IV, describing the procedure and analysis developed.

Keywords: Properties, Mechanical, Bambusa, Vulgaris.

INTRODUCCION

(Mercedes, 2006) El bambú es una planta de gran importancia para los pobladores de las zonas rurales de varias regiones del mundo. Se usa para la construcción de casas, antenas de televisión, postes de tendido eléctrico, escaleras, envases, juguetes, muebles, manualidades y para otros artículos de uso diario, incluyendo la producción de pulpa para la fabricación de papel.

La Corporación Noble Guadúa, desde hace 10 años fabrica muebles, sillas, camas, artesanías con esa variedad de flora. Desde el 2016 emplearon también la especie de bambú introducida de Indonesia “*Bambusa Vulgaris*”, que tiene los troncos más pequeños, para producir 3.000 sorbetes al mes.

(Estrada Barahona & García Echever, 2013) La Guadua en comparación a la madera tradicional se desarrolla con mayor afluencia, es decir más veloz en carácter reproductivo. Su crecimiento diario se da rápidamente, y de forma científica se conoce que crece de 2 a 4 centímetros diariamente y por eso resulta muy fácil de cultivar ya que genera un producto efectivo en un corto plazo.

(GISD, 2020) *B. vulgaris* es el miembro más extendido de su género y ha sido cultivada en los trópicos y subtrópicos. Es comúnmente naturalizada, formando masas monoespecíficas a lo largo de la orilla de ríos, bordes de caminos y suelo abierto. A pesar de ser taxonómicamente una hierba sus tallos crecen muy altos, por lo que se le usa para la construcción, elaboración de pasta para papel o como forraje para el ganado.

Algunos restaurantes y hoteles de Montañita, Quito, Guayaquil y Cuenca usan la caña *Bambusa Vulgaris* y la reutilizan por su característica de material biodegradable, debido a que puede ser hervido con vinagre, mediante esta técnica puede ser reutilizada. Este trabajo consiste en estudiar el comportamiento de muestras de *bambusa vulgaris* obtenidas a partir de sorbetes para su ensayo a compresión y tracción, desarrollando pruebas de laboratorio determinando la eficacia y durabilidad de la *Bambusa Vulgaris* para próximos usos ecológicos y que sean eco amigables con el ambiente.

UNIDAD I

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad, la caña Bambú es conocida por ser utilizada en diversos tipos de elementos ecológicos dentro de la Provincia de Santa Elena. En la comuna Olón se están utilizando la “Guadua Angustifolia Kun” tradicionalmente conocida como caña brava y caña noble para construcciones de casas, chozas, muebles, centros recreativos entre otras estructuras de uso renovable. No obstante, se han ampliado al uso de la caña Bambusa Vulgaris proveniente de la comuna “La Entrada”.

La Bambusa Vulgaris ha servido para realizar diseños para uso ecológico con pequeñas a grandes dimensiones como: sorbetes, gafas, cubiertos, muebles con una amplia gama de variedades. Estas actividades han tenido como iniciativa la innovación y poder brindar más opciones a los consumidores que les guste lo rústico y sobre todo que reutilicen estos materiales ecológicos.

Se plantea estudiar la caña bambusa vulgaris para ampliar su uso en diseños estructurales donde se necesita conocer sus propiedades mecánicas: resistencia a compresión, tracción y pandeo flexionante.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General.

Determinar las propiedades mecánicas básicas (resistencia a tracción y compresión) de la Bambusa Vulgaris mediante ensayos de laboratorio, ejecutados sobre muestras de sorbetes de uso ecológico.

1.3.2 Objetivos Específicos.

1. Seleccionar muestras en el sitio debidamente curadas y tratadas previo la aplicación de carga de los ensayos.
2. Ensayar las muestras en el laboratorio tomando en consideración los distintos modos de falla que servirán para el desarrollo y conocimiento de las propiedades mecánicas básicas de la caña bambusa vulgaris.
3. Calcular las resistencias a compresión, tensión y pandeo flexionante, usando las ecuaciones pertinentes a cada mecanismo y la geometría de las muestras.
4. Analizar estadísticamente los resultados validos de las muestras de cada modo de falla y describir los resultados promedios de las propiedades mecánicas básicas de la caña Bambú Bambusa Vulgaris.

1.2 JUSTIFICACION

En el Ecuador, la Caña “Bambusa Vulgaris” desde su introducción ha logrado tener buena acogida, lo que ha permitido extender su uso ecológico, por lo que esta investigación se podrá observar el análisis de resultados adquiridos en laboratorio de la capacidad que tiene el material para su posible incursión en nuevos elementos.

La actividad visionaria de estudiar este material que está siendo producido en la comuna Olón ha permitido generar la iniciativa de analizar las propiedades mecánicas básicas que tiene este nuevo material, por lo que se tomaron muestras en sitio que permitieron desarrollar la investigación con 3 tipos de fallas: resistencia a la compresión, pandeo flexionante y tracción, detallando un análisis estadístico y técnico de los resultados válidos.

Los resultados de esta investigación sirven para establecer el comportamiento del material ante los efectos producidos en cada ensayo realizado. Se ha optado por ejecutar ensayos básicos de laboratorio, para obtener datos válidos y calcular con las ecuaciones pertinentes la resistencia a la compresión, resistencia a la tracción, resistencia la pandeo flexionante y el módulo de elasticidad del material. Estos resultados tendrán como finalidad generar nuevas ideas y proyecciones en las que pueda ser utilizada la caña bambusa vulgaris para su uso ecológico y estructural en nuevas investigaciones.

UNIDAD II

MARCO TEORICO REFERENCIAL

2.1. Bambú *Bambusa Vulgaris*

De acuerdo con El Instituto de Ciencias Naturales (2016), la clasificación taxonómica del material objeto de estudio, es la siguiente:

- Nombre Científico: *Bambusa vulgaris*;
- Reino: Plantae;
- Phylum: Magnoliophyta;
- Clase: Liliopsida;
- Orden: Cyperales;
- Familia: Poaceae;
- Género: *Bambusa*
- Epíteto Específico: *vulgaris*

“El bambú es biosustentable, lo que quiere decir que su regeneración es muy rápida. Es una planta que captura CO₂ (dióxido de carbono) en su desarrollo. Los tallos crecen absorbiendo agua de la lluvia y en verano esta es devuelta a la tierra”

(Sánchez Martínez, 2017)

2.1.2 Propiedades del Bambú *Bambusa Vulgaris*

La *Bambusa vulgaris* desarrolla unos tallos muy macizos que pueden alcanzar una altura de hasta 15 metros y un grosor de entre 5 y 9 cm, rectos y erectos en su base y ligeramente caídos en el ápice. Los internudos tienen una longitud 20 a 30 cm, presentan estriación longitudinal y un color verde intenso en las poblaciones naturales.

A partir de los nudos desarrolla las hojas y las inflorescencias en grupos compactos. Las hojas son lanceoladas y glabras tanto en el haz como en el envés, esta tiene una longitud entre 10-30 cm; con 1,3-2,5 cm de ancho. Las inflorescencias son piguillas lanceoladas y bífidas de entre 2 y 3,5 mm de longitud y entre 0,4 y 0,5 mm de anchura. (Palacios Guerrero, 2018)

UNIDAD III
PROPIEDADES MECANICAS DEL MATERIAL
(MARCO TEORICO)

3.1. Propuesta de investigación

La utilización de la caña bambú como elemento estructural ha incrementado en los últimos años en la industria de la construcción. Debido al notable impacto ambiental positivo que provee la utilización del Bambú para la conservación de nuestros recursos naturales, y es un elemento eco amigable muy atractivo para los diseñadores. (Rodríguez Borbolla, 2018)

En este trabajo se presentarán los resultados que se determinaron en laboratorio, para establecer las propiedades mecánicas básicas de la Bambusa Vulgaris, las muestras fueron recolectadas en la comuna Olón de la Provincia de Santa Elena, en las que se pudieron realizar test con cargas a compresión, tracción y pandeo flexionante, demostrando su comportamiento en los diferentes modos de falla y realizar los cálculos pertinentes para describir de su capacidad de resistencia máxima.

3.2. Descripción botánica

Según el diario el Universo (2018), en la comuna Olón suelen cortar la parte más delgada en la fase cuarto menguante (cuando se ve la mitad de la luna) siguiendo el conocimiento ancestral. “Hacerlo en ese tiempo garantiza la calidad del producto, hay casas con cañas cortadas en ese periodo que tienen más de cien años con cero polillas. Se usa la variedad introducida (en el caso de los sorbetes) porque vienen con el agujero natural.

(Palacios Guerrero, 2018) indica: “Es un tipo de bambú alto, sin espinas que forma macizos que comparten rizomas simpódicos gruesos y firmes. La especie sobresale dentro del género por sus propiedades físico-mecánicas y por el tamaño de sus culmos erectos o inclinados en la mitad superior, que alcanzan de 10 hasta 20 metros de altura, con un diámetro de 5, 0 a 15 centímetros (cm), de color verde, y desnudos en la mitad inferior; nudos basales enraizados; entrenudos huecos hasta 45 cm de largo, paredes de siete 7, 0 a 15 mm de grosor.

Hojas de las ramas con limbos linear lanceolados articulados a la vaina, acuminados, vainas vellosas hacia el ápice. Florecen los 80-90 años, puede presentar floración esporádica estéril durante su desarrollo. Después de completado el ciclo fenológico, las plantas muere junto a toda su línea clonal”.

Esta especie de bambú es originaria de Asia tropical; no obstante, actualmente está ampliamente distribuido en el mundo desde Asia hasta América, Brasil tiene la mayor diversidad con 141 especies de bambúes, Colombia con 72 especies, Venezuela con 60, luego está Ecuador con 44.

Mientras que los bosques de madera demoran cientos de años en formarse, los bosques de bambú crecen muy rápido y pueden producir plantas enteramente maduras, cuyos tallos llegan a una altura de 25 a 30 metros, dentro de 3 a 8 años. La razón principal es que no pertenece a la familia de los árboles, sino es un tipo de hierba gigante. (Palacios Guerrero, 2018)

3.3. Características para cultivo de bambú *Bambusa Vulgaris*

(Palacios Guerrero, 2018) en su artículo “Ecuador Forestal” define las pautas generales de selección de bambúes a cortar, cuando son:

- A. Brillo. En el caso de *Bambusa vulgaris* es importante para reconocer su maduración o edad, el brillo lustroso de las cañas.
- B. Color. Preferir las de color más apagado, y en general, las que tienen brillo ceroso (similar a que se le hubiese aplicado una mano de cera), son cañas de más edad y de mejor densidad de fibra. Descartar las cañas que exhibe un color brillante e intenso y que al secar son más blanquecinas y opacas.
- C. Rectitud. Seleccionar las cañas más rectas. Para tener una dimensión de la rectitud, se coloca la caña vertical, con una plomada igual a su longitud en la punta. La distancia lateral de esta plomada a la base marcará que tan ‘fuera de plomo’ es dicha caña. Conviene expresarlo en un porcentaje sobre el largo total. Por ejemplo, si en 4 metros la plomada está a 40 cm del eje, tiene una desviación del 10%.

- D. Diámetro y regularidad (conicidad). El diámetro conviene medirlo, contando desde la base, a la altura de la vista. La conicidad es la diferencia entre el diámetro mayor y el menor medido en el mismo sitio. Las cañas nunca son perfectamente cilíndricas, pero a veces son muy aproximadas a esa forma.
- E. Distancia de nudos (entrenado). Los bambúes tienen menos distancia entre nudos en su base que en las puntas.
- F. Espesor de pared. Todos los bambúes tienen más pared cerca de la base que en la punta. Hay cañas que tienen pared irregular, esto es que la pared no tiene un espesor constante en su circunferencia. Es medido en milímetros.

Tabla 1: Características y propiedades de la caña Bambusa Vulgaris

Crecimiento				
especie	crecimiento diario(cm)	numero de brotes	supervivencia (%)	Profundidad de Raíces (cm)
Bambusa Vulgarum	6.2	75	98	51

Origen			
Nombre científico	Nombre popular	origen	Medidas
Bambusa vulgaris vitatta	bambú amarillo	sur de china	40 a 120mm

Especificaciones de Sembrado			
Tamaño de bambú	Especie	Distancia entre plantas	Distancia entre líneas
Mediano	Bambusa Vulgaris	6	6 y 7

Fuente: Vicente Velazco (2002) Elaborado por: Vicente Velazco

Tabla 2: Periodo de cultivos

PERIODO DE CULTIVO	USO
De 21 a 40 días	Durante este periodo de crecimiento es apto para el consumo humano
De 6 meses a 1 año	Debido a su flexibilidad y poco desarrollo, esta etapa es

	aprovechada por los artesanos para elaborar canastas, sombreros, etc.
Entre 2 y 3 años	Más resistente para elaboración de tablas, cables, sogas.
De 3 a más años	Estructuras más fuertes, para la elaboración de baldosas, pisos, celulosa, papel, muebles, fármacos.
Entre 4 y 8 años	Baldosas y parkets

Fuente: Vicente Velazco (2002) Elaborado por: Vicente Velazco

3.4. Elementos Cargados Axialmente

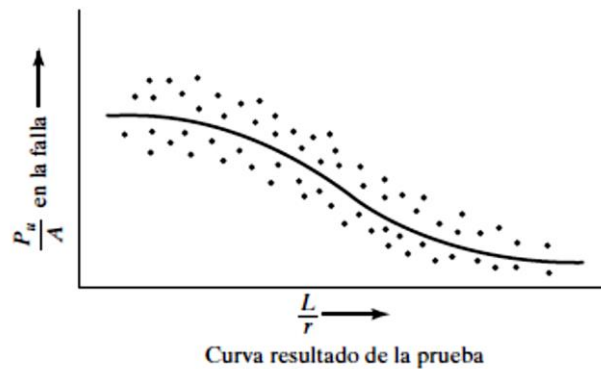
Las columnas son elementos posicionados verticalmente con longitudes que se estiman mayores que el ancho. Los elementos verticales de longitudes cortas están sujetos a cargas de compresión axial o, simplemente, miembros a compresión. (McCORMAC, 2012)

Las columnas al ser cargadas axialmente pueden fallar de la siguiente manera:

1. Por aplastamiento axial: cuando la columna es corta de altura y puede alcanzar su resistencia a la compresión sin fallar por flexión o torsión.
2. El pandeo flexionante: cuando la columna por su esbeltez se vuelve inestable lateralmente y se pandea en flexión al alcanzar un esfuerzo crítico de compresión.
3. El pandeo local: sucede cuando en un punto o puntos de la sección transversal se pandea localmente a compresión antes que los otros modos de pandeo puedan suceder, la susceptibilidad de un elemento al pandeo local se mide según sus relaciones ancho a espesor de las partes de su sección transversal.
4. El pandeo torsionante y flexionante: este proceso se muestra en columnas que tienen escasa rigidez a torsión en su sección transversal. Estas columnas suelen fallar por torsión o por una combinación de pandeo torsional y flexionante.

Si la longitud de una columna es mayor para una misma sección transversal, aumenta su tendencia a pandearse y disminuirá su capacidad de resistencia a cargas axiales. La tendencia de un miembro a pandearse se puede determinar por su relación de esbeltez, tomando en cuenta la relación entre la longitud del miembro y su radio de giro mínimo.

3.5. Pandeo Flexionante en columnas



*Figura 1: Grafica P_c/A vs L/r
Fuente: McCormac (2012)
Elaborado por: McCormac*

Las pruebas de columnas con diferentes resultados de relaciones de esbeltez (figura 1) producen una serie de valores dispersos como los representados por la banda ancha de puntos en la figura, la práctica común consiste en desarrollar fórmulas que den resultados representados por un promedio aproximado de los resultados de las pruebas.

Los esfuerzos de fluencia de las secciones ensayadas son relevantes en las columnas cortas, debido a que sus esfuerzos de falla tienen valores cercanos a los de fluencia. Para columnas con relaciones de esbeltez intermedias, los esfuerzos de fluencia tienen menor importancia en sus efectos sobre los esfuerzos de falla, y no tienen ninguna importancia en las columnas largas y esbeltas. (McCORMAC, 2012)

Para columnas en el rango intermedio, en el caso de la caña su comportamiento no lineal anisotrópico puede tener influencia en los resultados de los test, en tanto que los esfuerzos

de falla de columnas largas y esbeltas son muy sensibles a las condiciones de apoyo en los extremos. Otro factor dominante en su efecto sobre la resistencia de las columnas, además de la no linealidad de los materiales, es la falta de rectitud axial.

3.5.1. La fórmula de Euler

El esfuerzo que produce que una columna se pandee, disminuye conforme la columna aumenta su longitud, después de que ésta alcanza una magnitud ese esfuerzo se habrá reducido al límite proporcional, para esa longitud y longitudes mayores, el esfuerzo de pandeo será elástico, para que una columna se pandee elásticamente, deberá ser larga y esbelta. Su carga de pandeo P se puede calcular con la fórmula de Euler siguiente:

$$P = \frac{\pi^2 EI}{L^2}$$

Esta fórmula se escribe usualmente de un modo un poco diferente que implica la relación

de esbeltez de la columna siendo $r = \sqrt{\frac{I}{A}}$, Sustituyendo este valor en la fórmula de Euler, y dividiendo ambos lados por el área de la sección transversal, se obtiene el esfuerzo de pandeo de Euler:

$$\frac{P}{A} = \frac{\pi^2 E I/A}{L^2} = \frac{\pi^2 E r^2}{L^2} ; \text{ luego:}$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}$$

La ecuación de Euler debe ajustarse para las condiciones de apoyo de los extremos de la columna.

3.5.2. Restricciones en los extremos y longitud efectiva de una columna

Para una columna articulada en sus extremos, los puntos de inflexión o de momento nulo se localizan en los extremos, separados por una distancia L . En columnas con diferentes condiciones de apoyo, las longitudes efectivas serán totalmente distintas.

La longitud efectiva de una columna se denomina KL , en donde K es el factor de longitud efectiva (Figura 2).

Tabla 5.1 Valores aproximados del factor de longitud efectiva, K .						
Las líneas punteadas muestran la forma pandeada de la columna	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Valor K teórico	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Valores recomendados de diseño cuando las condiciones reales son aproximadas	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0
Símbolos para las condiciones de extremo						
		<i>Rotación y traslación impedidas</i>	<i>Rotación libre y traslación impedida</i>	<i>Rotación impedida y traslación libre</i>	<i>Rotación y traslación libres</i>	

Figura 2: Restricciones en los extremos y longitud efectiva de una columna

Fuente: McCormac (2012)

Elaborado por: McCormac

La longitud efectiva de una columna sea menor será el peligro de que se pandee y mayor su capacidad de carga de pandeo F_e será mayor.

En el caso del acero material estudiado por otros, los esfuerzos residuales ocasionan que $F_{cr} \rightarrow F_y$ solamente cuando $\frac{KL}{r} \rightarrow 0$. Las siguientes expresiones muestran cómo puede determinarse F_{cr} , el esfuerzo de pandeo por flexión de una columna.

$$\text{a) Si } \frac{KL}{r} \leq 4.71\sqrt{\frac{E}{F_y}} \left(\text{o } \frac{F_y}{F_e} \leq 2.25 \right)$$

$$F_{cr} = \left[0.658 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y \quad (\text{Ecuación E3-2 del AISC})$$

$$\text{b) Si } \frac{KL}{r} > 4.71\sqrt{\frac{E}{F_y}} \left(\text{o } \frac{F_y}{F_e} \leq 2.25 \right)$$

$$F_{cr} = 0.877 F_e \quad (\text{Ecuación E3-3 del AISC})$$

Ajustando el esfuerzo de pandeo crítico elástico F_e con el factor de esbeltez K —es decir, el esfuerzo.

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \quad (\text{Ecuación E3-4 del AISC})$$

Estas ecuaciones se representan gráficamente en la figura 3.

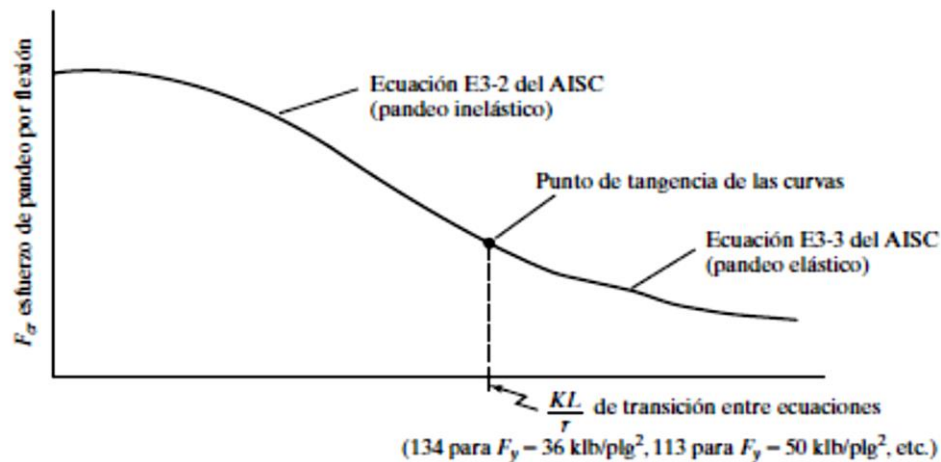


Figura 3: Gráfica F_{cr} vs KL/r
 Fuente: McCormac 2012
 Elaborado por: McCormac

3.5.3. Relaciones de esbeltez máximas

Según (García & de Marco Mendivil, 2017) La teoría de Euler solo es válida cuando la carga de compresión da lugar a tensiones inferiores al límite de estricta proporcionalidad del acero F_p . Llamando tensión crítica de Euler σ_E , a la tensión crítica correspondiente a la carga de pandeo de Euler, P_e Será:

$$\sigma_E = \frac{P_E}{A} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} \quad ; \text{ siendo } \lambda = \frac{kL}{r}$$

$$\left(\frac{kL}{r}\right)^2 = \frac{\pi^2 E}{\sigma_E} = \frac{\pi^2 E}{F_e}$$

$$\lambda = \pi \left(\sqrt{\frac{E}{F_e}} \right)$$

E: módulo de elasticidad.

F_e : Resistencia a la compresión del acero a la carga de pandeo de Euler.

σ_E : esfuerzo de compresión de la caña a la carga de pandeo de Euler.

En las ecuaciones anteriores la nomenclatura usada para expresar el esfuerzo compresivo crítico a pandeo del acero “ F_e ” es equivalente a la nomenclatura usada para expresar el mismo esfuerzo “ σ_E ” en la caña. la Figura 4, el esfuerzo crítico admisible es el representado por la línea continua, la parte punteada de la curva Euler no es aplicable.

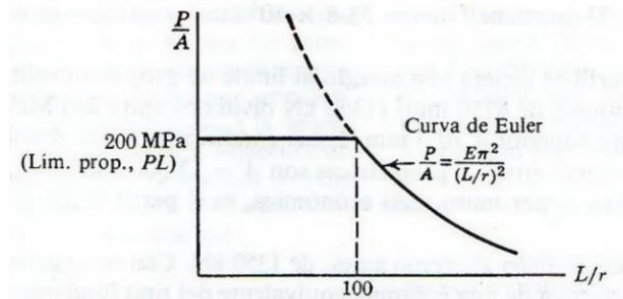


Figura 4: Curva teórica de pandeo de Euler para Acero de baja fluencia sin esfuerzos residuales e imperfecciones de verticalidad.

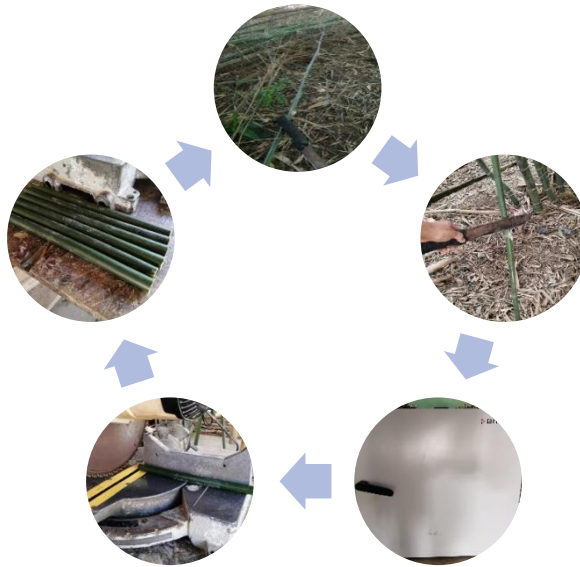
Fuente: Signer, 2008
Elaborado por: Singer

UNIDAD IV

DETERMINACION EXPERIMENTAL DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DEL MATERIAL

4.1 Proceso de extracción de muestras

En la obtención de información para el desarrollo del proyecto se tomaron en consideración artículos de revistas, tesis, portales web, que permitirán el avance del tema.



*Figura 5: Proceso de extracción de muestra
Fuente: fotografías de Olón
Elaborado por: Daniel del Pezo*

En el proceso de fabricación de los sorbetes se empieza cortando los palillos, luego se los hierva con vinagre y finalmente se los seca a 40° centígrados durante 4 días, para el acabado final se realiza el lijado y pulido (Figura 5).

El trabajo en laboratorio permite determinar valores que han servido en el desarrollo para establecer las propiedades mecánicas básicas que tiene la caña *Bambusa Vulgaris*, en donde se aplicaron distintas ecuaciones para establecer los resultados mecánicos de la *Bambusa Vulgaris*.



Figura 6: medición de muestras
Fuente: Laboratorio Ingeotop 2020
Elaborado por: Daniel del Pezo



Figura 7: Ensayo de carga y deformación
Fuente: Laboratorio Ingeotop 2020
Elaborado por: Daniel del Pezo



Figura 8: ensayo de compresión axial por pandeo
Fuente: Laboratorio Ingeotop 2020
Elaborado por: Daniel del Pezo



Figura 9: ensayo de compresión axial
Fuente: Laboratorio Ingeotop 2020
Elaborado por: Daniel del Pezo

La preparación de las muestras antes y después de los ensayos son esenciales para que los resultados sean válidos y específicos.

4.2 Tests para determinación de resistencias

Las muestras ensayadas en cada uno de los cuatro tipos de test se detallan en la Tabla 3.

Tabla 3: Tests realizados.

Tipo de Test	Código de la muestra	Muestras descartadas	Descripción
1.- Esfuerzo Resistencia a Compresión (C)	C1	3 (C5, C6 Y C7)	6 muestras con falla concéntrica y 3 con falla excéntrica (descartadas)
	C2		
	C3		
	C4		
	C5		
	C6		
	C7		
	C8		
	C9		
2.- Esfuerzo Resistencia a la Tracción (Tr)	Tr1	0	Todas las muestras fallaron por aplastamiento longitudinal
	Tr2		
	Tr3		
	Tr4		
	Tr5		
	Tr6		
3.- Módulo de Elasticidad (E)	E1	1 (E3)	2 muestras con falla concéntrica y 1 con falla excéntrica (descartada)
	E2		
	E3		
4.- Esfuerzo Crítico Pandeo Flexionante (PLF)	PLF1	0	Todas las muestras estuvieron expuestas a falla por pandeo lateral flexionante, con cuatro relaciones de esbeltez (KL/r) diferentes, donde: $[KL/r = 28]^1$ (PLF1 a PLF3); $[KL/r = 44]^2$ (PLF4 a PLF5); $[KL/r = 40]^3$ (PLF6 a PLF8) y $[KL/r = 45]^4$ (PLF9 a PLF11)
	PLF2		
	PLF3		
	PLF4		
	PLF5		
	PLF6		
	PLF7		
	PLF8		
	PLF9		
	PLF10		
	PLF11		

Elaborado por: Daniel Del pezo.
fuente: Daniel Del pezo

4.3 Compresión simple.



*Figura 10: ensayo de compresión simple.
Fuente: Laboratorio Ingeotop 2020
Elaborado por: Daniel del Pezo*

Este método de prueba consiste en aplicar una carga axial de compresión a cilindros moldeados o núcleos a una velocidad que está dentro un rango prescrito hasta que ocurra la falla, la resistencia a la compresión de la muestra se calcula dividiendo la carga axial máxima alcanzada durante la prueba entre el área de la sección transversal del espécimen. (ASTMD198, 2000).

$$\sigma_c = \frac{P_c}{A}$$

σ_c = esfuerzo máximo a compresión (kg/cm²) equivalente a la resistencia a la compresión del material

P_c = carga ultima. (kg)

A = Área. (cm²)

Para el ensayo a compresión simple se prepararon 9 muestras C1 a C9 de diámetros entre 0.4 a 1.9 cm y longitudes del doble de su diámetro exterior (Figura 10). La Bambusa Vulgaris estuvo sometida a una carga axial que generó un modo de falla por aplastamiento en toda su sección en 6 muestras. No todas las muestras generaron ese fallo, de las 9 muestras ensayadas, 3 exhibieron una falla excéntrica con resultados detallados en la tabla 4.

El miembro estructural se somete a una fuerza uniformemente distribuidos en la superficie de contacto de la muestra en una dirección generalmente paralela al eje longitudinal de las fibras de la madera (dirección de la menor resistencia del material), y la fuerza

generalmente se distribuye uniformemente a lo largo la muestra durante la carga hasta la rotura sin flexión a lo largo de su longitud. (ASTMD198, 2000).

4.4 Método de prueba estándar para resistencia a la rotura por tracción



*Figura 11: Ensayo modo de falla por tracción.
Fuente: Laboratorio Ingeotop 2020
Elaborado por: Daniel del Pezo*

Este proceso se da cuando se aplica a la muestra una carga a compresión distribuida a lo largo de la longitud de la muestra, hasta alcanzar su resistencia máxima a la tensión (Figura 11). Se tiene como resultado la falla por tracción debido a que la muestra es sometida a esfuerzos triaxiales al ser comprimida, siendo el esfuerzo principal de tensión de tipo radial o transversal a la dirección de la longitud de la muestra donde las fibras del material son paralelas al eje longitudinal de la muestra, por lo que la resistencia a la tensión será la menor resistencia del material para este modo de falla. La resistencia a la tensión se calcula con la ecuación siguiente (ASTM C496, 2017). Se realizaron 6 ensayos de este tipo en las muestras Tr1 a Tr6.

$$T = \frac{2P}{\pi Ld}$$

Donde:

T = esfuerzo máximo a la tensión o la resistencia a la tracción del material, MPa.

P = carga máxima aplicada indicada por la máquina de prueba, N.

L= longitud de la muestra, mm

d= diámetro de la muestra exterior, mm

4.5 Módulo de elasticidad.



*Figura 12: Ensayo para determinar Modulo de elasticidad
Fuente: Laboratorio Ingeotop 2020
Elaborado por: Daniel del Pezo*

Para conocer el Módulo de Young del material, se realizó un ensayo de compresión simple a las muestras E1, E2 y E3 (Figura 12), donde se midió la deformación unitaria del material, lo que permitió calcular el módulo de elasticidad del material (Anexo 6) que se utilizó en los cálculos requeridos.

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

E= módulo de elasticidad (kg/cm²)

σ = esfuerzo axial a falla por aplastamiento (kg/cm²)

ϵ = deformación axial a falla por aplastamiento

4.6 Método modo de falla por pandeo



Figura 13: Ensayo pandeo flexionante tipo 1 muestras PLF1 a PLF3
Fuente: Laboratorio Ingeotop 2020
Elaborado por: Daniel del Pezo



flexionante.

Figura 14: Ensayo pandeo flexionante tipo 2 muestras PLF4 a PLF5
Fuente: Laboratorio Ingeotop 2020
Elaborado por: Daniel del Pezo



Figura 15: Ensayo pandeo flexionante tipo 3 muestras PLF6 a PLF8
Fuente: Laboratorio Ingeotop 2020
Elaborado por: Daniel del Pezo



Figura 16: Ensayo pandeo flexionante tipo 4 muestras PLF9 a PLF11
Fuente: Laboratorio Ingeotop 2020
Elaborado por: Daniel del Pezo

Se ensayaron 4 tipo de muestras con relación de esbeltez (KL/r) diferentes (Figura 13-16) con diámetros interiores entre 0.3 a 1.2 cm y diámetros exteriores entre 0.6 y 1.9 cm. Las alturas o longitudes de las muestras definieron muestras con esbeltez KL/r variable, donde: [$KL/r = 28$] corresponde a las muestras PLF1 a PLF3; $KL/r = 44$ a PLF4 a PLF5; [$KL/r = 40$] a PLF6 a PLF8 y $KL/r = 4$ a PLF9 a PLF11. Se obtuvo como resultado fallas por pandeo lateral flexionante para el esfuerzo crítico de compresión aplicado. En estos casos, el esfuerzo de compresión a la falla de la muestra resulta mucho menor que el

esfuerzo máximo correspondiente a la resistencia a la compresión en un ensayo donde la muestra falla por aplastamiento.

La carga a compresión aplicada por la prensa hidráulica corresponde a la carga crítica para pandeo flexionante de una muestra. Esta carga experimentalmente obtenida, fue comparada con la carga teórica calculada usando el módulo elástico estimado para el material mediante otros ensayos; y, la longitud efectiva de las muestras L_k , calculada para las condiciones de fijación y modo de falla de cada muestra.

Para el cálculo de la carga crítica de pandeo P_e y el esfuerzo crítico de compresión a la falla por pandeo flexionante S_e , se usa el marco teórico presentado en la Sección 3.5 de este Trabajo de Titulación, y las fórmulas detalladas a continuación.

4.7 Área de cilindro hueco

Esta ecuación permite encontrar el área de la sección de la muestra para los distintos modos de test. (Anexo 1-9)

$$A = \frac{\pi}{4} (\bar{\varnothing}_e^2 - \bar{\varnothing}_i^2)$$

A = Área. (cm²)

$\bar{\varnothing}_i$ = diámetro promedio interior. (cm)

$\bar{\varnothing}_e$ = diámetro promedio exterior. (cm)

L = longitud (cm)

4.7.1 Factor K para longitud efectiva según restricciones en apoyos

En el diseño de los test de las muestras, con restricciones en los apoyos para modos de falla por pandeo con flexión de columna doble empotrada (K=0.5) y empotrada en un extremo y articulada en el otro (K=0.7). (Anexo 1-4)

Longitud de pandeo de barras canónicas: L_k					
Condiciones de extremo	biarticulada	biempotrada	empotrada articulada	empotrada libre	biempotrada desplazable
L_k	1,0.L	0,5.L	0,7.L	2,0.L	1,0.L

4.7.2 Inercia

La inercia del material es esencial para el desarrollo del radio de giro del para las secciones de pandeo flexionante. (Anexo 1-4)

$$I = \frac{\pi(\bar{\varnothing}_e^4 - \bar{\varnothing}_i^4)}{64}$$

I = inercia. (cm⁴)

$\bar{\varnothing}_i$ = diámetro promedio interior. (cm)

$\bar{\varnothing}_e$ = diámetro promedio exterior. (cm)

L = longitud (cm)

4.7.3 Radio de giro

Es la medida promedio del alejamiento del centro de gravedad según las secciones de un material. (Anexo 1-4)

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

r = radio de giro (cm²)

I = inercia (cm⁴)

A = área cm²

4.7.4 Relación del Esbeltez

Es la esbeltez definida por la relación entre la longitud y el radio de giro del elemento multiplicadas por el coeficiente de longitud efectiva definido según modo de falla y restricciones de los apoyos (Anexo 1-4)

$$\lambda = \frac{KL}{r}$$

λ = relación de esbeltez

K = coeficiente de longitud efectiva.

L = longitud. (cm)

r = radio de giro. (cm)

4.7.5 Carga crítica por pandeo teórica.

La carga crítica teórica se permite tener un comparativo entre la muestra experimentada por lo que se necesitara el módulo de elasticidad para resolverla el cual se encuentra en el Anexo 6 y los cálculos de las cargas críticas teóricas Anexo 1-4

$$P_e = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2}$$

P_e = carga crítica por pandeo (kg)

E = módulo de elasticidad

I = Inercia. (cm⁴)

KL = longitud efectiva. (cm)

4.7.6 Esfuerzo máximo de pandeo flexionante teórica.

$$\sigma_e = \frac{P_e}{A}$$

σ_e = esfuerzo crítico de pandeo flexionante teórico. (kg/cm²)

P_e = carga crítica de Euler de pandeo teórico. (kg)

A = Área. (cm²)

4.7.7 Esfuerzo crítico de pandeo flexionante experimental.

$$\sigma_e = \frac{P_e}{A}$$

σ_e = esfuerzo crítico de pandeo flexionante experimental. (kg/cm²)

P_e = carga crítica o carga de Euler de pandeo experimental. (kg)

A = Área. (cm²)

4.8 Análisis y Resultados

4.8.1 Ensayo de compresión simple.

Se determina la resistencia a la compresión del material, conforme norma, cuando las muestras tienen una relación de esbeltez KL/r menor a 17. (ASTMD198, 2000)

Al seleccionarse 9 muestras (Anexo 7 y 8) con relación de esbeltez $KL/r < 10$, se pudo obtener 6 muestras que fallaron con la carga axial por aplastamiento (tabla 3).

Tabla 4: resultados de ensayo de compresión simple

Test	Muestra	Relación de esbeltez	Área (cm ²)	carga ultima	esfuerzo ultimo σ_c	tipo de falla aplastamiento	Observación
	N°			P_c (Kg)	Kg/cm ²		
1	C1	7.34	0.77	400.10	517.51	concéntrica	Aceptable
	C2	7.54	0.68	375.30	550.97	concéntrica	Aceptable
	C3	7.34	0.60	321.50	535.25	concéntrica	Aceptable
	C4	7.31	0.60	323.30	538.25	concéntrica	Aceptable
	C5	7.58	0.64	483.20	758.70	excéntrica	Descartado
	C6	6.96	0.76	370.40	488.73	excéntrica	Descartado
	C7	7.28	0.68	435.70	636.11	excéntrica	Descartado
	C8	6.87	1.66	458.30	276.11	concéntrica	Aceptable
	C9	6.77	1.35	406.30	301.80	concéntrica	Aceptable

Elaborado por: Daniel Del pezo 2020
fuente: Daniel Del pezo

Usando los resultados de los 6 test aceptados, se tiene que la resistencia promedio a la compresión del material es $\sigma_c=453.31$ Kg/cm² y la desviación estándar del grupo de muestras ensayados es 128.01 Kg/cm² con relación al promedio.

4.8.2 Ensayo de tracción

En la práctica del Test por tracción (Figura 11) se utilizaron 6 muestras entre 1.7 cm a 1.9 cm de diámetro exterior y de 1 cm a 2 cm diámetros interior, en longitudes de 14 cm y 30 cm (Anexo 5). Con el objetivo de determinar la resistencia a la tracción de la caña bambusa vulgaris al ser sometida a una carga paralela a sus fibras, se utilizó acoples a lo largo de su sección longitudinal y se redujo la velocidad de la fuerza axial de la prensa hidráulica para que sea correctamente distribuida en las muestras, los resultados de la prueba se detallan en la tabla 4.

Tabla 5: resultados de ensayo de tracción.

Muestra	Área (cm ²)	carga ultima (P)	esfuerzo ultimo (T)	tipo de falla aplastamiento
		(Kg)	experimental (Kg/cm ²)	
Tr1	22.23	188.65	4.70	Longitudinal
Tr2	24.65	166.21	3.92	Longitudinal
Tr3	20.70	194.77	4.78	Longitudinal
Tr4	39.02	199.87	2.46	Longitudinal
Tr5	50.71	172.33	2.02	Longitudinal
Tr6	47.16	165.19	1.97	Longitudinal

Elaborado por: Daniel Del pezo 2020

fuelle: Daniel Del pezo

Con los resultados de las muestras ensayadas con aplastamiento longitudinal (Figura 11), se obtuvo un esfuerzo ultimo de tracción promedio igual a $T = 3.31 \text{ Kg/cm}^2$ y una desviación estándar de 1.31 Kg/cm^2 con relación al promedio.

4.8.3 Ensayo de Modulo de elasticidad.

En el ensayo del Módulo de elasticidad las muestras E1-E3 fueron sometidas a una carga axial en una prensa hidráulica con velocidad de carga manual y colocando un dial que mide el valor de la deformación unitaria del material al reducir su sección uniformemente de la carga aplicada.



Figura 17: Ensayo para determinar módulo de elasticidad
Fuente: Laboratorio Ingeotop 2020
Elaborado por: Daniel del Pezo

Tabla 6: Resultados del ensayo de módulo de elasticidad.

Muestra	carga (kg)	esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitaria σ (cm)	módulo de elasticidad E (kg/cm ²)	Observación
E1	402.5	290.50	0.0024	121462.8881	Aceptable
E2	596.4	393.66	0.0023	168932.7826	Aceptable
E3	596.4	508.81	0.0017	297807.1534	Descartada

Fuente: Daniel Del pezo 2020
Elaborado por: Daniel del Pezo

Se determinó para las muestras aceptables, para una deformación unitaria promedio igual 0.00235 cm, un módulo de elasticidad promedio igual a $E = 145197.83 \text{ Kg/cm}^2$ y una desviación estándar de 33566.28 Kg/cm^2 .

4.8.4 Ensayo de falla por Pandeo Flexionante

En el desarrollo de esta investigación se ensayaron 4 tipos (Figura 13 – Figura 16) en una prensa hidráulica con carga a compresión a una velocidad de carga mínima modificada, con diámetros interiores entre 0.3 a 1.2 cm y diámetros exteriores entre 0.6 y 1.9 cm, las alturas de las muestras se definieron proporcionales dando como resultado relaciones de esbeltez comprendidas entre $28 < KL/r < 45$. La intención fue proveer condiciones de apoyo doble empotradas, pero la mordaza en un caso se soltó dando como resultado la condición de empotrada en un extremo y-articulada en el otro.

Con los resultados de los ensayos y la ecuación teórica de Euler, se desarrollaron los cálculos pertinentes utilizando el valor $E = 145197.84 \text{ kg/cm}^2$ determinado en la sección 4.7.3. En las tablas 7 y 8 se describen las comparaciones entre valores obtenidos experimentalmente y calculados teóricamente con la fórmula de Euler, para las cargas por pandeo (P_e) y los esfuerzos de compresión críticos para falla por pandeo lateral flexionante (σ_c). Los detalles geométricos de las muestras y ensayos se presentan en los Anexos 1 a 4.

Tabla 7: Resultado de carga a compresión por pandeo

Muestra N°	Relación de Esbeltez KL/r	Factor K por Condición de apoyo	Área (cm ²)	Carga por pandeo (kg) P_e		
				Teórica	Experimental	Error (%)
PLF 1	28.47	0.5	1.55	683.61	428.28	37.35
PLF 2	27.82	0.5	1.67	771.00	491.51	36.25
PLF 3	28.04	0.5	1.41	643.84	456.83	29.05
PLF 4	46.00	0.7	0.57	188.37	166.21	11.76
PLF 5	41.35	0.7	0.51	211.17	180.49	14.53
PLF 6	38.36	0.5	0.39	95.64	160.10	67.40
PLF7	39.63	0.5	0.33	76.25	223.32	192.86
PLF 8	40.96	0.5	0.34	73.26	191.71	161.70
PLF 9	41.40	0.5	0.39	81.72	191.71	134.60
PLF 10	45.53	0.5	0.25	76.25	174.37	128.67
PLF 11	47.50	0.5	0.35	73.26	157.04	114.37

*Elaborado por: Daniel Del pezo 2020
fuente: Daniel Del pezo*

Tabla 8: Resultado de esfuerzo compresión crítico al pandeo flexionante.

Muestra	Esfuerzo crítico σ_e (kg/cm ²)		
	Teórica	Experimental	Error (%)
PLF 1	441.97	276.89	37.35
PLF 2	462.91	295.10	36.25
PLF 3	455.71	323.35	29.05
PLF 4	331.81	292.79	11.76
PLF 5	410.69	351.02	14.53
PLF 6	243.51	407.62	67.40
PLF 7	228.11	668.05	192.86
PLF 8	213.53	558.81	161.70
PLF 9	209.02	491.32	135.06
PLF 10	172.81	693.53	301.32
PLF 11	158.81	443.14	179.03

Elaborado por: Daniel Del pezo 2020
fuente: Daniel Del pezo

4.8.5 Curva de Euler pandeo crítico flexionante.

La teoría de Euler indica que el esfuerzo crítico a compresión para falla por pandeo disminuye con el incremento del KL/r . A continuación, se presenta la gráfica que correlaciona la resistencia a la compresión simple de las muestras PLF1 a PLF11, C1 a C4, C8 y C9.

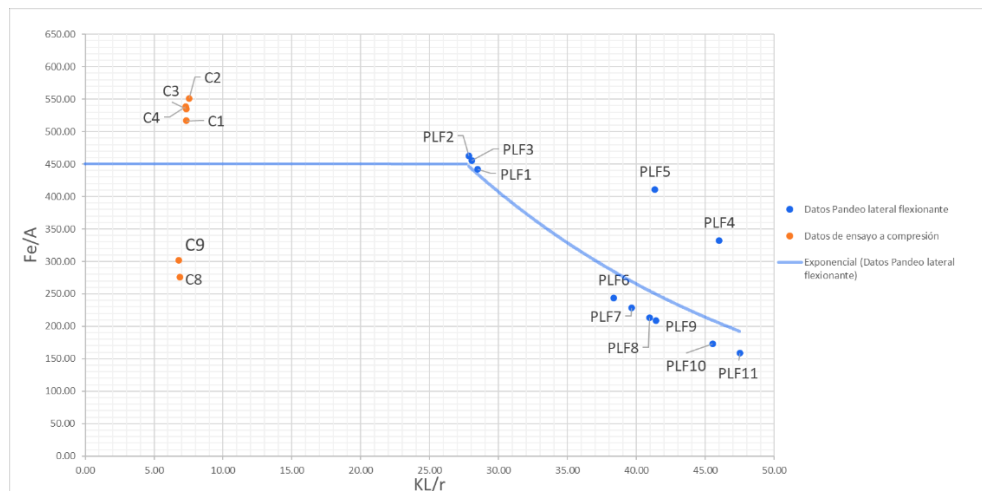


Figura 18: Grafica experimental de Euler y datos de esfuerzo de compresión
Elaborado por: Daniel Del pezo 2020
fuente: Daniel Del pezo

En la figura 18 se describe el comportamiento del material a pandeo lateral flexionante. La caña bambusa vulgaris es un material compuesto de fibras naturales que tiene una microestructura no homogénea y posee un comportamiento anisotrópico, lo que se pone de manifiesto en la variabilidad de los resultados obtenidos para las resistencias medidas en laboratorio. No obstante, con un factor de reducción que deberá precisarse en el futuro con mayor número de test, la tendencia mostrada por los datos experimentales, verifican la tendencia de la fórmula teórica de Euler. Se verifica, que a medida que crece la relación de esbeltez KL/r , disminuye la resistencia y el valor del esfuerzo crítico de compresión (σ_c) asociado a la falla por pandeo flexionante. La tendencia general de los datos, no es verificada por los resultados obtenidos con las muestras PLF 4 y PLF 5.

Los resultados de los test de resistencia a la compresión simple (σ_c) incorporados en la figura 18 muestran gran dispersión de resultados de resistencia alrededor del valor promedio. Las muestras C1 - C4 están sobre la gráfica con mayor resistencia y las muestras C8 - C9 por debajo con menor resistencia que la promedio. La dispersión de resultado es nuevamente atribuida a que el material no es uniforme en su microestructura y su comportamiento es anisotrópico y no homogéneo.

CONCLUSIONES

1. Los resultados de este estudio permiten conocer el comportamiento de la caña Bambusa Vulgaris a compresión y tracción sobre elementos compactos o no esbeltos y contribuye al desarrollo del uso estructural de la caña bambusa vulgaris para futuros proyectos.
2. Al comparar las ecuaciones teóricas y datos experimentales se analizó el comportamiento del material, determinándose que su comportamiento es variable (desviación estándar alta sobre valores medios calculados). Ello se atribuye a la composición del material por fibras, lo que da como resultado un comportamiento mecánico no homogéneo y anisotrópico.
3. En el desarrollo de la investigación se logró determinar con el ensayo de compresión simple un esfuerzo promedio máximo de compresión de la caña bambusa vulgaris equivalente a $\sigma_c = 453.31 \text{ Kg/cm}^2$ y una desviación estándar de 128 Kg/cm^2 respecto del promedio.
4. En el ensayo de tensión indirecta (compresión longitudinal), se determinó el esfuerzo ultimo de tracción equivalente a $T = 3.31 \text{ Kg/cm}^2$ y una desviación estándar de 1.31 Kg/cm^2 respecto del promedio.
5. Se determinó por interpolación de datos de los test PLF1-PLF11 y C1-C4, que la falla por pandeo lateral flexionante se podría producir para relaciones de esbeltez $KL/r > 25$. Concordantemente, si se diseña un elemento a compresión usando una relación de esbeltez $KL/r \leq 25$ (columna corta), el modo de falla resultante podría ser por aplastamiento a la resistencia máxima a la compresión axial del material.

RECOMENDACIONES

1. Se Recomienda proyectar nuevos estudios para la caña bambusa vulgaris enfocados a su uso en elementos estructurales con la finalidad de ampliar la variedad de materiales existentes en la construcción.
2. Considerar que los resultados obtenidos en este estudio para el diseño de elementos no esbeltos ($KL/r < 25$) en compresión particularmente cuando los elementos estructurales principales sean como es el caso de columnas.
3. Realizar un mayor número de test de elementos con $KL/r > 25$ para completar el estudio de la resistencia por cargas críticas al pandeo y obtener experimentales de la relación KL/r versus σ_c , útiles para diseñar elementos esbeltos.
4. Realizar ensayos de tensión directa y corte para aumentar la información sobre las propiedades mecánicas del material, necesaria para diseños estructurales y promover el desempeño de la caña bambusa vulgaris.
5. Realizar un mayor numero de ensayos de compresión sobre muestras compactas $KL/r < 25$ para definir la especificación de la resistencia de diseño a la compresión del material.

RECONOCIMIENTO



A los comuneros de la comuna Olón de la provincia de Santa Elena, especialistas en el aprovechamiento sostenible de alta calidad de Bambú o Caña Guadúa., por haber cumplido con los pedidos requeridos para el desarrollo de este proyecto quienes además ofrecen una amplia variedad de productos como artesanías, muebles, ornamentos, material de construcción y más, en donde se enfocó en su innovación de sorbetes hechos de la caña bambusa vulgaris.



Al laboratorio “INGEOTOP S.A” por la prestación de servicios de los ensayos respectivos para determinar las propiedades mecánicas: compresión simple, tracción, módulo de elasticidad y flexión lateral por pandeo de la caña bambusa vulgaris, siendo especialistas en ensayo de materiales en el área de hormigón, área de asfalto, área de mecánica de suelos y área de calidad de materiales ofreciendo información de alta confiabilidad de acuerdo a las políticas de calidad establecidas.

BIBLIOGRAFÍA

1. ASTM C496. (2017). *standard test method for splitting tensile strength astm C 496*.
2. ASTM D198. (2000). *Standard Test Methods of static tests of lumber in structural sizes D 198-99* (Vol. 04.10).
3. Estrada Barahona, J. W., & García Echever, M. B. (2013). Propuesta sobre la comercialización de muebles de caña guadua en la ciudad de Guayaquil.
4. García, L. J. M., & de Marco Mendivil, J. (2017). Irregularidades del Código Técnico de la Edificación (CTE) en el diseño y cálculo de pilares compuestos. *Revista Digital del Cedex*(188), 75-75.
5. GISD. (2020). BASE DE DATOS GLOBAL DE SPECIES INVESTORS.
6. McCORMAC, J. (2012). *Diseño de estructuras de acero - 5a ed*: Alfaomega Grupo Editor.
7. Palacios Guerrero, J. E. (2018). *Efectos de aplicación de enraizantes sobre esquejes de Bambú y determinación del porcentaje de prendimiento*. Babahoyo: UTB, 2018,
8. Rodríguez Borbolla, R. E. (2018). Caracterización de las Propiedades Mecánicas del Bambú (*Bambusa Vulgaris*). *Civil Engineering*;
9. Sánchez Martínez, A. M. (2017). *Propagación vegetativa de Dendrocalamus asper, Guadua angustifolia y Bambusa vulgaris (bambú), en el Vivero Bambunet del cantón Archidona, provincia de Napo*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo,
10. Universo, E. (2018). Sorbete de bambú, hecho en Ecuador, una opción para reemplazar el que es de plástico.

ANEXOS

Anexo 1: Detalles de compresión crítica de pandeo muestras PLF1-PLF3

MEMORIA DE CALCULO			
TEMA	INVESTIGACION DE PROPIEDADES MECANICAS BASICAS DEL BAMBU BAMBUSA VULGARIS PARA USO ECOLOGICO		
ENSAYO:	COMPRESIÓN CRÍTICA DE PANDEO	ESTUDIANTE:	Del Pezo Montenegro Geovanny
		TUTOR:	Ing. Jaime F. Argudo PhD.
Item:	1	Descripción:	BAMBÚ ENSAYO CORTE TIPO I
		Fecha:	22/07/2020

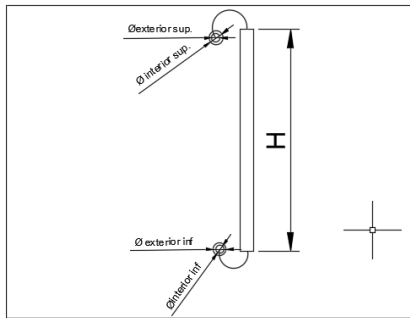




DETALLE	BAMBÚ MUESTRA																				
	PLF1	PLF2	PLF3																		
H(cm)	29.75	29.64	29.63																		
Øinterior inf(cm)	1.13	1.1	1.15																		
Øexterior inf(cm)	1.85	1.73	1.71																		
Øinterior sup(cm)	1.06	1.1	1.16																		
Ø exterior sup(cm)	1.71	1.92	1.83																		
PESO(g)	29.58	27.67	25.31																		
Øinterior promedio(cm)	1.095	1.1	1.155																		
Ø exterior promedio(cm)	1.78	1.825	1.77																		
AREA (cm^2)	$A = \frac{\pi}{4} (\bar{\varnothing}_e^2 - \bar{\varnothing}_i^2)$																				
	1.55	1.67	1.41																		
carga ultima (KN)	4.2	4.82	4.48																		
carga ultima (Kg)	101.972	428.28	491.51																		
ESFUERZO A COMPRESION CRITICO AL PANDEO FLEXIONANTE(Kg/cm2)	$\sigma = \frac{P}{A}$																				
	276.8929676	295.1034027	323.34644																		
LONGITUD DE PANDEO DE BARRA	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Longitud de pandeo de barras canónicas: L_k</th> </tr> <tr> <th style="text-align: center;">Condiciones de extremo</th> <th style="text-align: center;">biarticulada</th> <th style="text-align: center;">biempotrada</th> <th style="text-align: center;">empotrada articulada</th> <th style="text-align: center;">empotrada libre</th> <th style="text-align: center;">biempotrada desplazable</th> </tr> <tr> <th style="text-align: center;">L_k</th> <th style="text-align: center;">1.0.L</th> <th style="text-align: center;">0.5.L</th> <th style="text-align: center;">0.7.L</th> <th style="text-align: center;">2.0.L</th> <th style="text-align: center;">1.0.L</th> </tr> </thead> </table>			Longitud de pandeo de barras canónicas: L_k						Condiciones de extremo	biarticulada	biempotrada	empotrada articulada	empotrada libre	biempotrada desplazable	L_k	1.0.L	0.5.L	0.7.L	2.0.L	1.0.L
Longitud de pandeo de barras canónicas: L_k																					
Condiciones de extremo	biarticulada	biempotrada	empotrada articulada	empotrada libre	biempotrada desplazable																
L_k	1.0.L	0.5.L	0.7.L	2.0.L	1.0.L																
K (para seccion doble empotramiento)	0.5	0.5	0.5																		
Inercia	$I = \frac{\pi(\bar{\varnothing}_e^4 - \bar{\varnothing}_i^4)}{64}$																				
	0.42	0.47	0.39																		
r (radio de giro)	$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$																				
	0.52	0.53	0.53																		
esbletez	$\lambda = \frac{Kl}{r}$																				
	28.47	27.82	28.04																		
MODULO DE ELASTICIDAD	145197.84																				
CARGA A COMPRESION CRITICO AL PANDEO FLEXIONANTE(Kg) TEÓRICA	$P_e = \frac{\pi^2 EI}{(L)^2}$																				
	683.61207	770.9973766	643.8372947																		
ESFUERZO A COMPRESION CRITICO AL PANDEO FLEXIONANTE(Kg/cm2) TEÓRICA	$\sigma_e = \frac{P_e}{A}$																				
	441.97	462.91	455.71																		

Anexo 2: Detalles de compresión crítica de pandeo muestras PLF4-PLF5

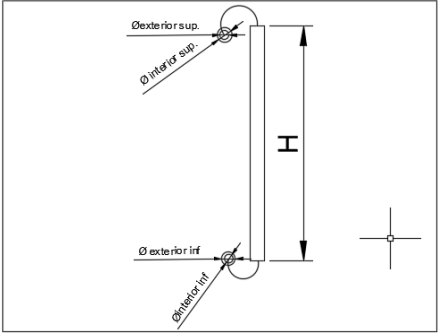
MEMORIA DE CALCULO			
TEMA	INVESTIGACION DE PROPIEDADES MECANICAS BASICAS DEL BAMBU BAMBUSA VULGARIS PARA USO ECOLOGICO		
ENSAYO:		ESTUDIANTE:	TUTOR:
COMPRESIÓN CRITICA DE PANDEO		Del Pezo Montenegro Geovanny	Ing. Jaime F. Argudo PhD.
Item:	Descripción:		Fecha:
3	BAMBÚ ENSAYO CORTE TIPO 2		22/07/2020




DETALLE	BAMBÚ MUESTRA																			
	PLF4	PLF 5																		
H(cm)	18	17.95																		
Øinterior inf(cm)	0.43	0.53																		
Øexterior inf(cm)	0.94	0.92																		
Øinterior sup(cm)	0.44	0.54																		
Ø exterior sup(cm)	0.97	1.02																		
PESO(g)	10.8	7.46																		
Øinterior promedio(cm)	0.435	0.535																		
Ø exterior promedio(cm)	0.955	0.97																		
AREA (cm^2)	$A = \frac{\pi}{4} (\bar{\varnothing}_e^2 - \bar{\varnothing}_i^2)$																			
	0.57	0.51																		
carga ultima (KN)	1	1.63	1.77																	
carga ultima (Kg)	101.972	166.21	180.49																	
ESFUERZO A COMPRESION CRITICO AL PANDEO FLEXIONANTE(Kg/cm2)	$\sigma_e = \frac{P_e}{A}$																			
	292.7928833	351.0254182																		
LONGITUD DE PANDEO DE BARRA	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Condiciones de extremo</th> <th colspan="5">Longitud de pandeo de barras canónicas: L_k</th> </tr> <tr> <th>biarticulada</th> <th>biempotrada</th> <th>empotrada articulada</th> <th>empotrada libre</th> <th>biempotrada desplazable</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>L_k</td> <td>1.0.L</td> <td>0.5.L</td> <td>0.7.L</td> <td>2.0.L</td> <td>1.0.L</td> </tr> </tbody> </table>			Condiciones de extremo	Longitud de pandeo de barras canónicas: L_k					biarticulada	biempotrada	empotrada articulada	empotrada libre	biempotrada desplazable	L_k	1.0.L	0.5.L	0.7.L	2.0.L	1.0.L
Condiciones de extremo	Longitud de pandeo de barras canónicas: L_k																			
	biarticulada	biempotrada	empotrada articulada	empotrada libre	biempotrada desplazable															
L_k	1.0.L	0.5.L	0.7.L	2.0.L	1.0.L															
K (para seccion doble empotramiento)	0.7	0.7	0.7																	
Inercia	$I = \frac{\pi(\bar{\varnothing}_e^4 - \bar{\varnothing}_i^4)}{64}$																			
	0.04	0.05																		
r (radio de giro)	$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$																			
	0.27	0.30																		
Esbeltez	$\lambda = \frac{Kl}{r}$																			
	46.00	41.35																		
MODULO DE ELASTICIDAD	145197.84																			
CARGA A COMPRESION CRITICO AL PANDEO FLEXIONANTE(Kg) TEÓRICA	$P_e = \frac{\pi^2 EI}{(L)^2}$																			
	188.3658489	211.1665152																		
ESFUERZO A COMPRESION CRITICO AL PANDEO FLEXIONANTE(Kg/cm2) TEÓRICA	$\sigma_e = \frac{P_e}{A}$																			
	331.8135691	410.685427																		

Anexo 3: Detalles de compresión crítica de pandeo muestras PLF6-PLF8

MEMORIA DE CALCULO			
TEMA	INVESTIGACION DE PROPIEDADES MECANICAS BASICAS DEL BAMBU BAMBUSA VULGARIS PARA USO ECOLOGICO		
ENSAYO:		ESTUDIANTE:	TUTOR:
COMPRESIÓN CRITICA DE PANDEO		Del Pezo Montenegro Geovanny	Ing. Jaime F. Argudo PhD.
Item:	Descripción:		Fecha:
4	BAMBÚ ENSAYO CORTE TIPO 3		22/07/2020





DETALLE	BAMBÚ MUESTRA																										
	PLF6	PLF7	PLF8																								
H(cm)	18.29	17.86	18.14																								
Øinterior inf(cm)	0.35	0.48	0.34																								
Øexterior inf(cm)	0.86	0.74	0.74																								
Øinterior sup(cm)	0.44	0.28	0.39																								
Ø exterior sup(cm)	0.76	0.77	0.77																								
PESO(g)	3.98	4.86	4.91																								
Øinterior promedio(cm)	0.395	0.38	0.365																								
Ø exterior promedio(cm)	0.81	0.755	0.755																								
AREA (cm^2)	$A = \frac{\pi}{4} (\bar{\varnothing}_e^2 - \bar{\varnothing}_i^2)$																										
	0.39	0.33	0.34																								
carga ultima (KN)	1	1.57	2.19																								
carga ultima (Kg)	101.972	160.10	223.32																								
ESFUERZO A COMPRESION CRITICO AL PANDEO FLEXIONANTE(Kg/cm2)	$\sigma_e = \frac{P_e}{A}$																										
	407.62	668.05	558.81																								
LONGITUD DE PANDEO DE BARRA	<table border="1" style="font-size: small; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="6">Longitud de pandeo de barras canónicas: L_k</th> </tr> <tr> <th>Condiciones de extremo</th> <th>biarticulada</th> <th>biempotrada</th> <th>empotrada articulada</th> <th>empotrada libre</th> <th>biempotrada desplazable</th> </tr> <tr> <th>L_k</th> <th>1.0.L</th> <th>0.5.L</th> <th>0.7.L</th> <th>2.0.L</th> <th>1.0.L</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>K (para seccion doble empotramiento)</td> <td>0.5</td> <td>0.5</td> <td>0.5</td> <td>0.5</td> <td>0.5</td> </tr> </tbody> </table>			Longitud de pandeo de barras canónicas: L _k						Condiciones de extremo	biarticulada	biempotrada	empotrada articulada	empotrada libre	biempotrada desplazable	L _k	1.0.L	0.5.L	0.7.L	2.0.L	1.0.L	K (para seccion doble empotramiento)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Longitud de pandeo de barras canónicas: L _k																											
Condiciones de extremo	biarticulada	biempotrada	empotrada articulada	empotrada libre	biempotrada desplazable																						
L _k	1.0.L	0.5.L	0.7.L	2.0.L	1.0.L																						
K (para seccion doble empotramiento)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5																						
Inercia	$I = \frac{\pi(\bar{\varnothing}_e^4 - \bar{\varnothing}_i^4)}{64}$																										
	0.02	0.02	0.02																								
r (radio de giro)	$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$																										
	0.24	0.23	0.22																								
Esbeltez	$\lambda = \frac{KI}{A}$																										
	38.36	39.63	40.96																								
MODULO DE ELASTICIDAD	145197.84																										
CARGA A COMPRESION CRITICO AL PANDEO FLEXIONANTE(Kg) TEÓRICA	$P_e = \frac{\pi^2 EI}{(L)^2}$																										
	95.63862972	76.25469209	73.25557561																								
ESFUERZO A COMPRESION CRITICO AL PANDEO FLEXIONANTE(Kg/cm2) TEÓRICA	$\sigma_e = \frac{P_e}{A}$																										
	243.5052449	228.1127505	213.5345598																								

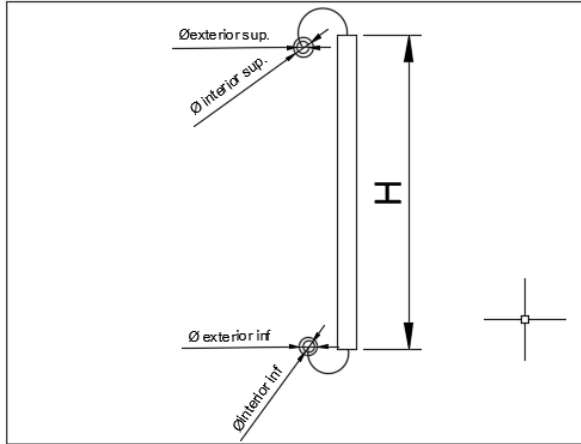
Anexo 4 Detalles de compresión crítica de pandeo muestras PLF6-PLF8

MEMORIA DE CALCULO			
TEMA	INVESTIGACION DE PROPIEDADES MECANICAS BASICAS DEL BAMBU BAMBUSA VULGARIS PARA USO ECOLOGICO		
ENSAYO:		ESTUDIANTE:	TUTOR:
COMPRESIÓN AXIAL		Del Pezo Montenegro Geovanny	Ing. Jaime F. Argudo PhD.
Item:	Descripción:		Fecha:
5	BAMBÚ ENSAYO CORTE TIPO 4		22/07/2020

DETALLE	BAMBÚ MUESTRA																					
	PLF9	PLF10	PLF11																			
H(cm)	17.64	17.81	17.92																			
Øinterior inf(cm)	0.26	0.32	0.23																			
Øexterior inf(cm)	0.79	0.64	0.66																			
Øinterior sup(cm)	0.36	0.34	0.23																			
Ø exterior sup(cm)	0.75	0.67	0.76																			
PESO(g)	4.14	3.55	4.09																			
Øinterior promedio(cm)	0.31	0.33	0.23																			
Ø exterior promedio(cm)	0.77	0.655	0.71																			
AREA (cm^2)	$A = \frac{\pi}{4} (\bar{\varnothing}_e^2 - \bar{\varnothing}_i^2)$																					
	0.39	0.25	0.35																			
carga ultima (KN)	1	1.88	1.71	1.54																		
carga ultima (Kg)	101.972	191.71	174.37	157.04																		
ESFUERZO A COMPRESION CRITICO AL PANDEO FLEXIONANTE(Kg/cm2)	$\sigma_e = \frac{P_e}{A}$																					
	491.3232524	693.5337093	443.1417677																			
LONGITUD DE PANDEO DE BARRA	<table border="1" style="margin: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="6">Longitud de pandeo de barras canónicas: L_e</th> </tr> <tr> <th>Condiciones de extremo</th> <th>biarticulada</th> <th>biempotrada</th> <th>empotrada articulada</th> <th>empotrada libre</th> <th>biempotrada desplazable</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>L_e</td> <td>1.0.L</td> <td>0.5.L</td> <td>0.7.L</td> <td>2.0.L</td> <td>1.0.L</td> </tr> </tbody> </table>				Longitud de pandeo de barras canónicas: L _e						Condiciones de extremo	biarticulada	biempotrada	empotrada articulada	empotrada libre	biempotrada desplazable	L _e	1.0.L	0.5.L	0.7.L	2.0.L	1.0.L
Longitud de pandeo de barras canónicas: L _e																						
Condiciones de extremo	biarticulada	biempotrada	empotrada articulada	empotrada libre	biempotrada desplazable																	
L _e	1.0.L	0.5.L	0.7.L	2.0.L	1.0.L																	
K (para seccion doble empotramiento)	0.5	0.5	0.5	0.5																		
Inercia	$I = \frac{\pi(\bar{\varnothing}_e^4 - \bar{\varnothing}_i^4)}{64}$																					
	0.02	0.01	0.01	0.01																		
r (radio de giro)	$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$																					
	0.21	0.20	0.19	0.19																		
Esbeltez	$\lambda = \frac{Kl}{A}$																					
	41.40	45.53	47.50	47.50																		
MODULO DE ELASTICIDAD	145197.84																					
CARGA A COMPRESION CRITICO AL PANDEO FLEXIONANTE(Kg) TEÓRICA	$P_e = \frac{\pi^2 EI}{(L_e)^2}$																					
	81.55634758	43.44946169	56.27864188	56.27864188																		
ESFUERZO A COMPRESION CRITICO AL PANDEO FLEXIONANTE(kg/cm2) TEÓRICA	$\sigma_e = \frac{P_e}{A}$																					
	209.019257	172.8124102	158.8124831	158.8124831																		

Anexo 5 Detalles de ensayo de Tracción muestras Tr1-Tr6

MEMORIA DE CALCULO						
TEMA	INVESTIGACION DE PROPIEDADES MECANICAS BASICAS DEL BAMBÚ BAMBUSA VULGARIS PARA USO ECOLOGICO					
ENSAYO:		ESTUDIANTE:		TUTOR:		
TENSION DIRECTA		Del Pezo Montenegro Geovanny		Ing. Jaime F. Argudo PhD.		
Item:	Descripcion:			Fecha:		
2	BAMBÚ ENSAYO CORTE TIPO 1			22/07/2020		

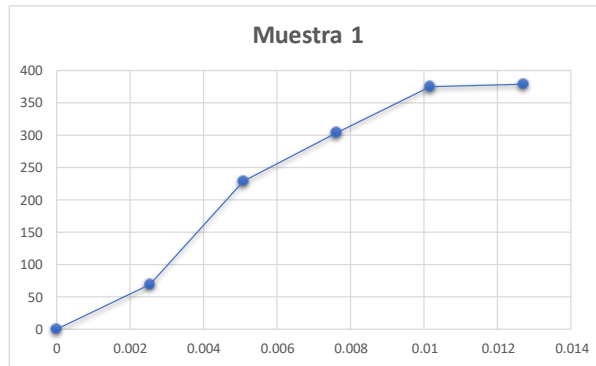


DETALLE	BAMBÚ MUESTRA					
	Tr1	Tr2	Tr3	Tr4	Tr5	Tr6
H(cm)	14.37	14.8	14.65	29.54	29.89	29.54
Ø interior inf(cm)	1.13	1.1	1.15	1.14	1.11	1.18
Ø exterior inf(cm)	1.85	1.73	1.71	1.77	1.88	1.84
Ø interior sup(cm)	1.06	1.1	1.16	1.21	1.02	1.05
Ø exterior sup(cm)	1.71	1.92	1.83	1.73	1.75	1.78
PESO(g)	29.58	27.67	25.31	24.24	30.06	28.36
Ø interior promedio(cm)	1.095	1.1	1.155	1.175	1.065	1.115
Ø exterior promedio(cm)	1.78	1.825	1.77	1.75	1.815	1.81
AREA (cm^2)	$A = \frac{\pi}{4} (\text{Ø promedio int} - \text{Ø promedio ext}) * L$					
	22.23	24.65	20.70	39.02	50.71	47.16
carga ultima (KN)	1	1.85	1.63	1.91	1.96	1.69
carga ultima (Kg)	101.972	188.65	166.21	194.77	199.87	172.33
ESFUEZO TENSION DIRECTA(Kg/cm^2)	$T = \frac{P}{n \cdot d}$					
	4.69522078	3.91763599	4.78171333	2.4613229	2.02229832	1.96692142

Anexo 6: Detalles Modulo de elasticidad muestras E1-E3

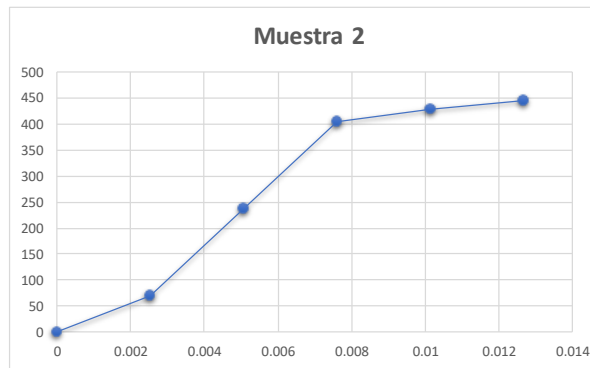
muestra 1	
deformacion	carga
0	0
0.00254	69.4
0.00508	229.6
0.00762	305.2
0.01016	375.4
0.0127	379

carga ultima 402.5



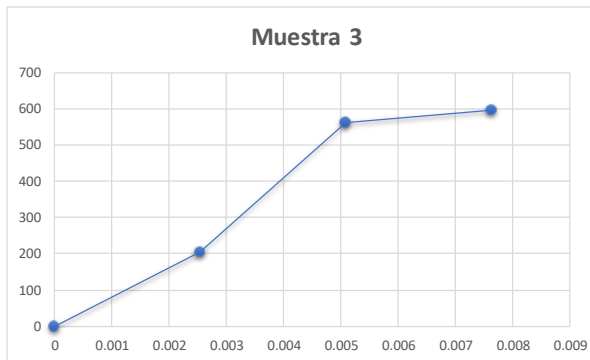
muestra 2	
deformacion	carga
0	0
0.00254	68.9
0.00508	236.4
0.00762	404.8
0.01016	428.3
0.0127	445.7

carga ultima 596.4



muestra 3	
deformacion	carga
0	0
0.00254	204.2
0.00508	563.6
0.00762	596.4

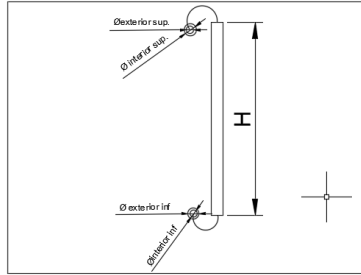
carga ultima 596.4



DETALLE	BAMBÚ MUESTRA			
	E1	E2	E3	
H(cm)	5.31	5.45	4.46	
Øinterior inf(cm)	1.23	1.18	1.22	
Øexterior inf(cm)	1.75	1.85	1.67	
Øinterior sup(cm)	1.17	1.11	1.3	
Ø exterior sup(cm)	1.83	1.75	1.84	
PESO(g)	4.79	5.15	4.95	
Øinterior promedio(cm)	1.2	1.145	1.26	
Ø exterior promedio(cm)	1.79	1.8	1.755	
AREA (cm^2)	$A = \frac{\pi}{4} (\bar{\varnothing}_e^2 - \bar{\varnothing}_i^2)$			
	1.39	1.52	1.17	
carga limite (Kg)	1	379	445.7	596.4
carga ultima (Kg)	1	402.5	596.4	596.4
ESFUEZO COMPRESION SIMPLE AXIAL(Kg/cm^2) CARGA LIMINTE	$\sigma_c = \frac{P_c}{A}$			
	290.50	393.66	508.81	
deformacion unitaria (cm)				
	0.0024	0.0023	0.0017	
Modulo de elasticidad (Kg/cm^2)	$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$			
	121462.888	168932.783	297807.153	
K (para seccion doble	0.5	0.5	0.5	
Inercia (cm^4)	$I = \frac{\pi(\bar{\varnothing}_e^4 - \bar{\varnothing}_i^4)}{64}$			
	0.40	0.43	0.34	
r (radio de giro) (cm)	$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$			
	0.54	0.53	0.54	
Relacion de esbeltez	$\lambda = \frac{Kl}{A}$			
	4.93	5.11	4.13	

Anexo 7: Detalles de compresión simple muestras C1-C7

COMPRESIÓN SIMPLE			
TEMA	INVESTIGACION DE PROPIEDADES MECANICAS BASICAS DEL BAMBU BAMBUSA VULGARIS PARA USO ECOLOGICO		
ENSAYO:	COMPRESIÓN SIMPLE	ESTUDIANTE:	Del Pezo Montenegro Geovanny
		TUTOR:	Ing. Jaime F. Argudo PhD.
Item:	Descripción:	Fecha:	
6	BAMBU ENSAYO COMPRESION	22/07/2020	



DETALLE	BAMBU MUESTRA						
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
H(cm)	2.2	2.18	2.04	2.03	2.17	2.1	2.1
Øinterior inf(cm)	0.48	0.49	0.47	0.47	0.5	0.5	0.46
Øexterior inf(cm)	1.1	1.05	1	1	1.03	1.1	1.05
Øinterior sup(cm)	0.47	0.48	0.5	0.5	0.5	0.49	0.5
Ø exterior sup(cm)	1.1	1.05	1	1	1.03	1.1	1.05
PESO(g)	1.1	1.1	1	1	1.1	1.2	1.1
Øinterior promedio(cm)	0.475	0.485	0.485	0.485	0.5	0.495	0.48
Ø exterior promedio(cm)	1.1	1.05	1	1	1.03	1.1	1.05
AREA (cm^2)	$A = \frac{\pi}{4} (\bar{\varnothing}_e^2 - \bar{\varnothing}_i^2)$						
	0.77	0.68	0.60	0.60	0.64	0.76	0.68
carga ultima (Kg)	400.10	375.30	321.50	323.30	483.20	370.40	435.70
ESFUEZO COMPRESION SIMPLE AXIAL(Kg/cm^2) CARGA LIMINTE	$\sigma_c = \frac{P_c}{A}$						
	517.51	550.97	535.25	538.25	758.70	488.73	636.11
K (para seccion biarticulada)	1	1	1	1	1	1	1
Inercia (cm^4)	$I = \frac{\pi(\bar{\varnothing}_e^4 - \bar{\varnothing}_i^4)}{64}$						
	0.07	0.06	0.05	0.05	0.05	0.07	0.06
r (radio de giro) (cm)	$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$						
	0.30	0.29	0.28	0.28	0.29	0.30	0.29
Relacion de esbeltez	$\lambda = \frac{Kl}{A}$						
	7.34	7.54	7.34	7.31	7.58	6.96	7.28

Anexo 8: Detalles de compresión simple muestras C8-C9

COMPRESIÓN SIMPLE			
TEMA	INVESTIGACION DE PROPIEDADES MECANICAS BASICAS DEL BAMBÚ BAMBUSA VULGARIS PARA USO ECOLOGICO		
ENSAYO:		ESTUDIANTE:	TUTOR:
COMPRESIÓN SIMPLE		Del Pezo Montenegro Geovanny	Ing. Jaime F. Argudo PhD.
Item:	Descripcion:		Fecha:
7	BAMBÚ ENSAYO COMPRESION		22/07/2020

DETALLE	BAMBÚ MUESTRA	
	C8	C9
H(cm)	3.65	3.44
Ø interior inf(cm)	1.13	1.1
Ø exterior inf(cm)	1.82	1.71
Ø interior sup(cm)	1.06	1.1
Ø exterior sup(cm)	1.82	1.71
PESO(g)	3.5	3.1
Ø interior promedio(cm)	1.095	1.1
Ø exterior promedio(cm)	1.82	1.71
AREA (cm^2)	$A = \frac{\pi}{4} (\bar{\varnothing}_e^2 - \bar{\varnothing}_i^2)$	
	1.66	1.35
carga ultima (Kg)	458.30	406.30
ESFUERO COMPRESION SIMPLE AXIAL(Kg/cm^2) CARGA LIMINTE	$\sigma_c = \frac{P_c}{A}$	
	276.11	301.80
K (para seccion doble	1	1
Inercia (cm^4)	$I = \frac{\pi(\bar{\varnothing}_e^4 - \bar{\varnothing}_i^4)}{64}$	
	0.47	0.35
r (radio de giro) (cm)	$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$	
	0.53	0.51
Relacion de Esbeltez	$\lambda = \frac{Kl}{A}$	
	6.87	6.77