



## **FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**“COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE UNA VIGA DE CONCRETO EN FLEXIÓN, SOMETIDA A UNA CARGA PUNTUAL EN EL CENTRO DE LUZ INCORPORANDO COMO REFUERZO PRINCIPAL AL BAMBU Y DE UNA VIGA DE CONCRETO REFORZADA CON ACERO, MEDIANTE ENSAYO EXPERIMENTAL EN LABORATORIO”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**AUTOR:**

**BACH. ALIAGA SANCHEZ, ELMER RAFAEL**

**ASESOR:**

**DR. TELLO MALPARTIDA OMART DEMETRIO**

**JURADO:**

**DR. VALENCIA GUTIERREZ ANDRES AVELINO**

**DR. CANCHO ZUÑIGA GERARDO ENRIQUE**

**MG. JARAMILLO TARAZONA FRANCISCO**

**LIMA - PERÚ**

**2021**

## Índice

<b>I. Introducción.....</b>	<b>(8)</b>
1.1 Descripción y formulación del problema.....	(9)
1.2 Antecedentes.....	(12)
1.2.1 Definición, clasificación y modo de empleo del bambú.....	(12)
1.2.2 Estudios o investigaciones anteriores.....	(23)
1.3 Objetivos.....	(37)
1.3.1 Objetivo general.....	(37)
1.3.2 Objetivo específico 1.....	(38)
1.3.3 Objetivo específico 2.....	(38)
1.4 Justificación.....	(38)
1.4.1 Teórica.....	(38)
1.4.2 Práctica.....	(39)
1.4.3 Metodológica.....	(39)
1.4.4 Social.....	(39)
1.5 Hipótesis.....	(40)
1.5.1 Hipótesis principal.....	(40)
1.5.2 Hipótesis secundaria 1.....	(40)
1.5.3 Hipótesis secundaria 2.....	(40)

<b>II. Marco Teórico.....</b>	<b>(41)</b>
2.1 Bases teóricas sobre el tema de investigación.....	(41)
2.1.1 Vigas de concreto armado.....	(41)
2.1.2 Diseño de flexión en vigas de concreto reforzado.....	(41)
2.1.3 Propiedades de la Guadua.....	(47)
2.1.4 Ductilidad.....	(48)
<b>III. Método.....</b>	<b>(49)</b>
3.1 Tipo de investigación.....	(49)
3.2 Ámbito temporal y espacial.....	(49)
3.3 Variables.....	(49)
3.3.1 Variable Independiente.....	(49)
3.3.2 Variable dependiente.....	(49)
3.4 Población y muestra.....	(50)
3.4.1 Población.....	(50)
3.4.2 Muestra.....	(50)
3.5 Instrumentos.....	(50)
3.6 Procedimientos.....	(50)
3.6.1 Ubicación del caso.....	(50)
3.6.2 Descripción del caso.....	(51)
3.6.3 Recolección de material de investigación.....	(51)
3.6.4 Caracterización del material.....	(51)

3.6.5	Transformación del material equivalente.....	(52)
3.6.6	Diseño de adherencia entre materiales.....	(52)
3.6.7	Diseño de viga con bambú para ensayo.....	(52)
3.6.8	Determinación de los esfuerzos y deformaciones máximas.....	(53)
3.7	Análisis de datos.....	(54)
3.7.1	Recolección de material de investigación.....	(54)
3.7.2	Caracterización del material.....	(55)
3.7.3	Transformación del material equivalente.....	(62)
3.7.4	Diseño de adherencia entre materiales.....	(64)
3.7.5	Diseño de viga con bambú para ensayo.....	(68)
3.7.6	Determinación de los esfuerzos y deformaciones máximas.....	(74)
IV.	<b>Resultados</b> .....	(80)
4.1	Comportamiento estructural.....	(80)
4.2	Esfuerzos máximos.....	(81)
4.3	Deformaciones máximas.....	(82)
4.4	Gráficos.....	(83)
V.	<b>Discusión de resultados</b> .....	(86)
5.1	Ensayo a tracción del espécimen de bambú.....	(86)
5.2	Comportamiento en flexión del bambú como refuerzo del concreto.....	(86)

<b>VI. Conclusiones.....</b>	<b>(87)</b>
6.1 Comportamiento estructural.....	(87)
6.2 Esfuerzos máximos.....	(87)
6.3 Deformaciones máximas.....	(88)
<b>VII. Recomendaciones.....</b>	<b>(89)</b>
<b>VIII. Referencias.....</b>	<b>(90)</b>

## **Resumen**

El trabajo tuvo como objetivo determinar el comportamiento estructural del bambú, como refuerzo de una viga de concreto, con la finalidad de poder comparar su desempeño con la de una viga de concreto con refuerzo convencional de acero, así como de evaluar sus propiedades mecánicas, esfuerzos y deformaciones, para lo cual se sometió a la viga a un ensayo en flexión, con carga puntual en el centro de luz. El estudio se enfocó en poder hacer una comparación de los esfuerzos y deformaciones máximas generadas por la aplicación de dicha carga, tanto para la viga de concreto reforzada con bambú y para la viga reforzada con acero, después de realizado el ensayo, se observó que la viga reforzada con acero soporto mayores esfuerzos, la viga con bambú obtuvo mayor deformación en el centro de luz, y finalmente, tanto el acero como el bambú presentaron un buen comportamiento dúctil, por lo que se concluye que la viga reforzada con bambú de la especie guadua angustifolia, no puede soportar tantos esfuerzos como las de una viga reforzada con acero, pero aun así, se rescata su elasticidad , ductilidad, y resistencia, por lo que se podría utilizar para vigas que soporten sobrecargas mínimas de techo o para vigas de amarre o cerramiento.

**Palabras clave:** Comportamiento estructural en vigas, refuerzo en bambú, ensayo a flexión

## **Abstract**

The objective of the work was to determine the structural behavior of bamboo, as a reinforcement of a concrete beam, in order to be able to compare its performance with that of a concrete beam with conventional steel reinforcement, as well as to evaluate its mechanical properties, stresses and deformations, for which the beam was subjected to a bending test, with a point load in the center of the span. The study focused on being able to make a comparison of the maximum stresses and deformations generated by the application of said load, both for the concrete beam reinforced with bamboo and for the beam reinforced with steel, after the test was carried out, it was observed that the steel-reinforced beam endured greater stresses, the bamboo beam obtained greater deformation in the center of light, and finally, both steel and bamboo presented good ductile behavior, so it is concluded that the beam reinforced with bamboo of the species *guadua angustifolia*, cannot withstand as many stresses as those of a steel-reinforced beam, but even so, its elasticity, ductility, and resistance are rescued, so it could be used for beams that support minimum ceiling overloads or for tie beams or enclosure.

**Key words:** Structural behavior of beams, bamboo reinforcement, flexion test.

## I. Introducción

La presente investigación se refiere a determinar el comportamiento estructural de una viga de concreto convencional, sometida a una carga puntual en el centro de luz, reforzada con bambu de la especie guadua angustifolia y de una viga reforzada con acero, mediante ensayo experimental en laboratorio, la investigación se realiza con la finalidad de poder comparar dichos refuerzos tanto el de bambu como el de acero, en ensayo a flexión en laboratorio, y poder verificar sus máximos esfuerzos y deformaciones para poder así tener una idea de las ventajas y limitaciones del refuerzo no convencional o bambu, a fin de poder utilizar al bambu como un posible refuerzo en vigas de concreto a escala natural en trabajos posteriores, ya que no se cuentan con muchos estudios referentes al uso del bambu como un posible refuerzo en su forma natural de caña hueca en vigas de concreto a escala natural.

El bambu de la especie guadua angustifolia por su gran resistencia y flexibilidad ha sido utilizado en diferentes países como un material apto para ser utilizado como refuerzo para la construcción de ciertas estructuras mayormente en países como China y Colombia hasta Ecuador, tiene un gran módulo de elasticidad por lo cual se le conoce como el acero vegetal, es por ello que aprovechando dichas cualidades es necesario contar con un estudio referente a ello en el país, a fin de tener un sustento teórico del comportamiento del bambu como refuerzo de una viga de concreto a escala real.

La presente investigación es del tipo cuasi experimental en la cual se buscara comparar los datos obtenidos (deformaciones y esfuerzos máximos), de las 2 muestras, tanto de la viga de concreto reforzada con acero como la de la viga de concreto reforzada con bambu para poder llegar a una conclusión más certera del buen o mal desempeño del bambu utilizado como refuerzo principal de una viga de concreto mediante ensayo a flexión.



## 1.1. Descripción y formulación del problema

En los últimos tiempos el bambú viene siendo saludado como un súper material, útil para la construcción por su dureza y para otros usos por su versatilidad. Incluso se dice que podría ser capaz de absorber el dióxido de carbono que la tecnología humana generan, a la vez que podría aportar una buena entrada a los países que lo cultivan, siendo los más adecuados justo los más pobres del mundo. No hay que generalizar dado que el bambú es un grupo de plantas con más de 1800 especies y cada una sirve para distintas aplicaciones. Igual, el bambú se ha convertido últimamente en un material casi idolatrado por los ecologistas. El bambú es un tipo de gramínea, es decir una hierba, pero que tiene un tronco leñoso que es la caña de bambú. Esta puede alcanzar unos 25 metros de altura, con unos 30 centímetros de ancho. Crece en casi todos los continentes a excepción de Europa, y la especie *Phyllostachys Pubescens* es la planta que más rápido crece en todo el mundo. En un día, una caña puede alcanzar el metro de altura o más, si bien para que el bambú esté en su estado perfecto de máxima dureza, deben pasar unos tres años. Cuando alcanza esa dureza máxima, adquiere una resistencia y flexibilidad que pocos materiales tienen. Así es que se lo suele llamar el acero vegetal, porque justamente es tan resistente como el acero y el concreto. En la construcción se utiliza para hacer pisos, techos, muebles, paredes, e incluso en los andamios que se utilizan en la construcción de edificios de decenas de pisos. Hay casas enteramente construidas en bambú.

Como material es sustentable (siempre y cuando se lo cultive responsablemente), debido a su rápido crecimiento, por lo que si prospera, incluso puede funcionar como almacén de dióxido de carbono, el gas de efecto invernadero más potente, que emiten nuestras fábricas y medios de transportes, y culpable del cambio climático. El bambú, al ser una gramínea, absorbe mucho más dióxido de carbono que por ejemplo el pino, también utilizado en la construcción. Así es que un bosque de bambú pensado para comercialización es más favorable ambientalmente que un bosque de pinos. Claro que la excepción es si se piensa en talar bosques nativos para plantar caña bambú, como

sucede actualmente con la caña de azúcar o la palma. Pero el bambú incluso resulta más sustentable si se lo piensa como bosque de cultivo, dado que suele vivir unos diez años como mucho, y cuando muere devuelve el dióxido de carbono a la atmósfera con lo cual es preferible en ese aspecto siempre aprovecharlo y que crezca una nueva camada. Se trata de un cultivo que no necesita de grandes inversiones, y no requiere fertilizantes, ni pesticidas. Demanda muy poca agua, y puede crecer en tierras que no sirven para otro tipo de cultivos. Muchas de las regiones del mundo más óptimas para su crecimiento están ubicadas en países en vías de desarrollo, por lo que la proliferación de este tipo de cultivo podría ser un boom económico para ellos. Existe una organización llamada International Network for Bamboo and Rattan, a la que pertenecen 38 países, con base en Beijín, que busca forestar zonas que habían sufrido la tala ilegal indiscriminada, y para ello se valen del bambú. Ya lo hicieron con éxito en 1996 en Allahabad, India, donde lograron reclamar una tierra arruinada por fábricas de ladrillos. Gracias al cultivo de bambú allí, se redujeron las tormentas de polvo, y lograron utilizar parte de la tierra para otros cultivos cinco años después. Ahora lo están haciendo en Ghana y en Etiopía, países africanos. No sólo les enseñan a cultivarlo, sino los usos que pueden darle en la construcción y en la vida diaria. Allí principalmente les han enseñado a utilizarlo como un reemplazo de los árboles que talaron sin descanso para utilizar como combustible. Les han enseñado a cultivar y procesar el bambú para utilizarlo como carbón, a la vez que les han ayudado en el diseño y en la comercialización de un tipo de estufa cerrada que tan sólo cuesta tres dólares, a fin de que la quema del combustible, ya sea para cocinar o calefacción, sea más eficiente. Según la World Bamboo Organization, China da cuenta de casi el 80 por ciento de la producción mundial de bambú, que en total tiene un mercado en el que se mueven más de 10 mil millones de dólares al año, al menos hasta 2011. Se espera que crezca a unos 25 mil millones a fines de este año. En América, Nicaragua está apostando al bambú, que hasta hace poco era visto como una molestia a ser cortada, pero ante el auge que está teniendo a nivel mundial, cada día hay más plantaciones. También en Ecuador y Brasil se ha

extendido su cultivo, y en algunos sitios de Estados Unidos, pero existe, y crece en casi todos los ambientes propicios. Según versa el dicho popular en China, el bambú tiene 1500 formas de ser utilizado. Aquí cubrimos algunas, pero también se lo utiliza en medicina, como alimento, para hacer instrumentos musicales, papel, muebles, bicicletas, como filtro de agua, cañas de pesca, etc. En la filosofía japonesa se recomienda aprender del bambú, de su flexibilidad, de su entereza, de su resistencia, y de su capacidad de recuperación. A todas estas buenas características le podemos agregar que, cuando ya haya cumplido su vida útil, puede volver a la naturaleza de la que salió, porque al ser un producto orgánico es totalmente biodegradable. *(Rodrigo H, 2012)*

En el Perú, aun cuando es necesario realizar estudios más profundos y detallados de identificación y caracterización de los bambúes leñosos, existen aproximadamente 50 a 56 especies de bambúes, siendo las formaciones más representativas de los géneros la Guadua. El bambú, especialmente de la especie *Guadua angustifolia* está siendo utilizada en construcciones rurales y urbanas, casas de playa y otras infraestructuras recreacionales, para vigas, viguetas y maderamen para soporte de tejas de los techos, inmuebles turísticos, galpones y puentes rústicos y en menor escala en la industria del mueble y productos artesanales. Las construcciones sismo resistentes con bambú promovidas por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento conjuntamente con la Asociación Peruana de Bambú – PERUBAMBÚ han incrementado significativamente el comercio de este recurso, especialmente en la costa, donde se utilizan grandes volúmenes de material de calidad, especialmente en el proceso de reconstrucción de las zonas afectadas por los terremotos que afectaron al país en el pasado año. *(Plan Nacional de promoción del bambú, 2006)*

Por sus propiedades estructurales del bambú de la especie *guadua angustifolia* así como por de escasos recursos o en etapas de reconstrucción, es necesario contar con mayores ensayos

relacionados a su resistencia en flexión y corte ser un material sostenible y por ser usado como una alternativa en viviendas

### **Formulación del problema.**

¿Cuál es el comportamiento estructural de una viga de concreto en flexión incorporando como refuerzos principales al bambú y al refuerzo convencional o acero, mediante ensayo experimental?

## **1.2 Antecedentes**

Para empezar con nuestra investigación y comenzar a evaluar al bambú como refuerzo estructural de nuestra viga de concreto tenemos que tener claro los conceptos como definición, tipo, calidad, modo de empleo u otros factores que sean necesarios para nuestro ensayo experimental en laboratorio para obtener un correcto resultado y comportamiento del bambú guadua en flexión .

### **1.2.1 Definición, clasificación y modo de empleo del bambú.**

Existen numerosas especies y tipos de bambú las cuales tienen diferentes características. Bambusoideae es el nombre de una subfamilia de plantas que pertenecen a la familia de las gramíneas o Poaceae, una de las familias botánicas más extensas e importantes para el hombre. Su nombre común es bambú. Los bambúes pueden ser plantas pequeñas de menos de 1 m de largo y con los tallos (culmos) de medio centímetro de diámetro, aunque también los hay gigantes: de unos 25 m de alto y 30 cm de diámetro; además, aunque los verdaderos bambúes siempre tienen sus tallos leñosos, esto no ocurre en algunas especies. (*Bambú, la madera ecológica, 2012*)

Las principales ventajas del bambú son: El bambú es la planta de más rápido crecimiento en el mundo, es usado en muchas partes por su fortaleza, elasticidad y dureza, Produce más madera que el roble, y produce más oxígeno y captura más CO2 que cualquier árbol, está vinculado con oriente, pero América existe una gran cantidad de

especies endémicas, Para el uso de construcción, las especies americanas mejor perfiladas son las del género Guadua, particularmente la G. angustifolia y la G. chacoensis, es una gramínea de rápido crecimiento, mientras que un árbol necesita 60 años para crecer 30 metros, el bambú alcanza esa altura en tan solo 6 meses. Puede adaptarse a numerosos climas (tropicales, subtropicales y templados). Es más resistente que el roble, la Haya y el Arce, y muy estable, por lo que se encuentra menos expuesto a las dilataciones y a las contracciones producidas por las variaciones de temperatura y de humedad; por su dureza y flexibilidad se le llama el acero vegetal además es un recurso renovable y sostenible.

*(Bambú Guazú, s.f.)*

Los Bambúes se clasifican de la siguiente manera:

Los bambúes dentro de la familia Poaceae forman la subfamilia Bambusoideae, y sus miembros se diferencian principalmente por el carácter único de tener células raquimorfias bien desarrolladas, asimétricas e invaginadas en el mesofilo de la lámina foliar, carácter de gran soporte en los recientes análisis moleculares adelantados por el grupo filogenético de bambusoideae liderado por la Dra. Lynn Clark de la Universidad del Estado de Iowa. La subfamilia de Bambusoideae, con cerca de 1400 especies descritas en 101-108 géneros, se clasifica en dos grandes grupos reconocidos como tribus, la tribu bambuseae o de los bambúes leñosos, y la tribu Olyreae o de los bambúes herbáceos. *(Añasco, 2013)*

*Añasco (2013)* también nos menciona sobre la especie *Guadua angustifolia*

La especie de bambú de la cual es materia de ensayo es la especie *Guadua Angustifolia* una de los tipos de bambú perteneciente al género *Guadua* que a su vez pertenece al tipo de bambúes leñosos. “El género *Guadua angustifolia*, sobresale dentro del género no solo por

sus propiedades físico- mecánicas, sino por el tamaño de sus calmos que alcanzan hasta los 30 metros de altura y 25 centímetros de diámetro”.

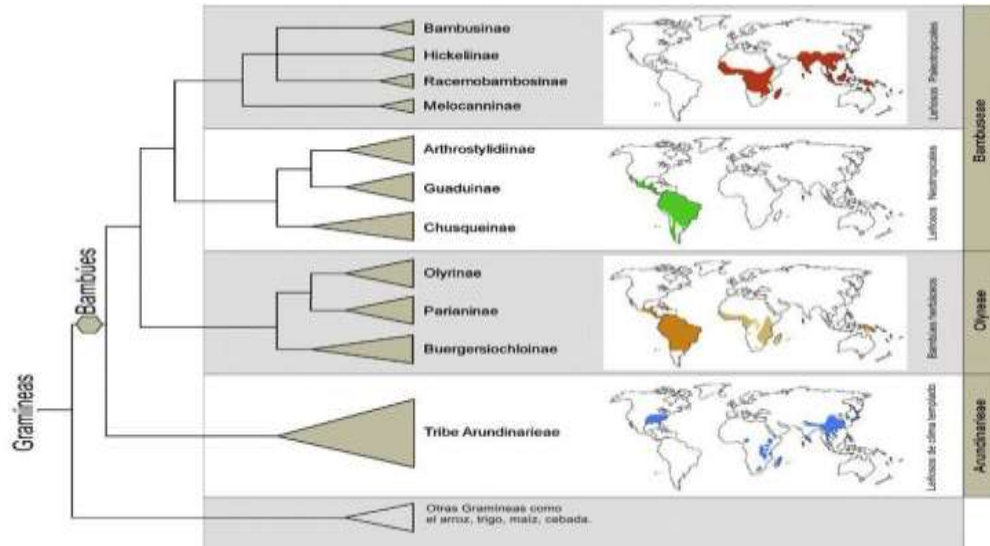


Fig.01 Ketchner, S. (2013). Relaciones filogenéticas de más alto nivel entre bambúes [figura].Recuperado de <http://www.scotkelchner.org/bamboo-1/>

El bambú tiene muchos usos y aplicaciones en la construcción:

Según cálculos de la revista “HABITAT”, las necesidades de vivienda de la población mundial se duplicarán a mediados del presente siglo; hay casos particulares como el África, donde se triplicará. Las Naciones Unidas -ONU- estiman que por los menos 100 millones de personas en el mundo no tienen casa alguna; el número llega a 1000 millones si “aquellos con alojamientos especialmente inseguros y temporales, como intrusos, son incluidos” (Brown 1999); es aquí donde la bella, resistente y económica guadua (especie de bambú muy grueso y alto, con púas y canutos de cerca de medio metro) se convierte en una verdadera alternativa mundial para saciar el hambre de vivienda; cumpliendo adicionalmente un propósito de sustituir el empleo de la madera por otro material de construcción alternativo, económico e indicado para una región de alta sismicidad. Para

combatir el déficit de vivienda en México y en el mundo. El bambú por su bajo costo, definitivamente tiene un gran potencial para la solución de vivienda económica.

*(Rodríguez, 2006).*

El bambú como material de construcción es uno de los materiales usados desde la más remota antigüedad por el hombre para aumentar su comodidad y bienestar. En el mundo de plástico y acero de hoy, el bambú continúa aportando su centenaria contribución y aun crece en importancia. Gran parte de la humanidad utiliza a diario el bambú debido a que se representa como una alternativa ante materiales más costosos y tal vez a un futuro su utilización sea de forma masiva, como fuente de energía y reemplazo de madera de árboles por tratarse de un material fácilmente renovable. Más de 1 billón de personas habitan en casas de bambú, alcanzando en algunas regiones del mundo una importancia gravitante, este es el caso de Bangladesh donde el 73% de sus habitantes habita en este tipo de viviendas, otro ejemplo es la ciudad de Guayaquil. Donde el 50% habita en este tipo de casas, lo que corresponde a 1 millón de personas. Las propiedades antisísmicas, han contribuido a valorizar este material desde el punto de vista estructural. *(Rodríguez, 2006).*



Fig.02 Rodríguez, R. (2006) Conciencia Tecnológica [figura] Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/944/94403115.pdf>

*Rodríguez (2006)* también menciona que:

El bambú tiene algunas ventajas. Su flexibilidad lo hace antisísmico. Ya hay experiencias. En Costa Rica, durante el terremoto en Puerto Limón de 1991, las únicas viviendas que resistieron fueron las construidas con bambú. Otra ventaja más: las viviendas de bambú aíslan del frío, del calor y del ruido por las cámaras de aire que forman los troncos de bambú, los troncos de bambú también se utilizan para hacer paneles prefabricados, que resultan más resistentes, flexibles y livianos que los convencionales. Y una ventaja decisiva: su costo. La construcción convencional, para alcanzar un aspecto presentable, requiere de una inversión que oscila entre los 250-350 dólares por cada metro cuadrado construido. Para alcanzar el mismo buen aspecto, el bambú sólo requiere entre 75-100 dólares por metro cuadrado.

¿Por qué el bambú, como material sostenible?

Porque existe una tradición constructiva en el empleo de recursos naturales maderables, que siguen teniendo aceptación por la población rural para la solución de su hábitat, esta se ha visto frenada por el proceso de deforestación, proceso en el que se trabaja para su reversión, ya que indudablemente, la madera se perfila como uno de los materiales de construcción de mayor sostenibilidad. Porque el bambú es un recurso versátil y renovable, caracterizado por su rápido crecimiento con relación con otras especies, alta resistencia y bajo peso, y es fácil de trabajar utilizando herramientas simples. Como tal, las



construcciones de bambú son fáciles de edificar, resistentes (cuando son correctamente diseñadas y construidas) al viento y aún a las fuerzas de los sismos, a los cuales están sometidos importantes áreas de asentamientos rurales del país en la región más oriental y pueden ser rápidamente reparables en el momento del daño. Porque el bambú tiene una larga y bien establecida tradición como material de construcción tropical y subtropical, y es ampliamente utilizado para muchas formas de construcción en particular para viviendas en áreas rurales. Porque los productos asociados al bambú (el bambú en su estado natural, paneles basados en el bambú y otras posibles soluciones constructivas con este material) también encuentran aplicaciones similares a las utilizadas en los procesos de construcción con madera, que se han utilizado en la respuesta constructiva a la vivienda rural. (*Pascual, 2008*)

*Takahashi (s.f.)* nos menciona además lo siguiente:

Algunas características principales y que están presentes en el bambú, que lo hacen un material sostenible:

- Especie permanente de rápido crecimiento: 1.2m / día.
- Produce madera y/o brotes comestibles.
- La multiplicidad de usos y productos artesanales e industriales de alto valor, permite la diversificación no competitiva dentro de una región.
- Alta rentabilidad, aun en parcelas pequeñas.

Proceso productivo

• Hay 6 métodos para la propagación de los bambúes y el periodo entre la plantación y el aprovechamiento inicial es generalmente de cuatro (04) años. Los insumos son mínimos (abonos dos veces al año y abundante agua al inicio de su desarrollo). Las enfermedades y plagas son raras. Costo de producción aproximado: US\$ 1300.00 /ha (semilla, mano de obra, abono).

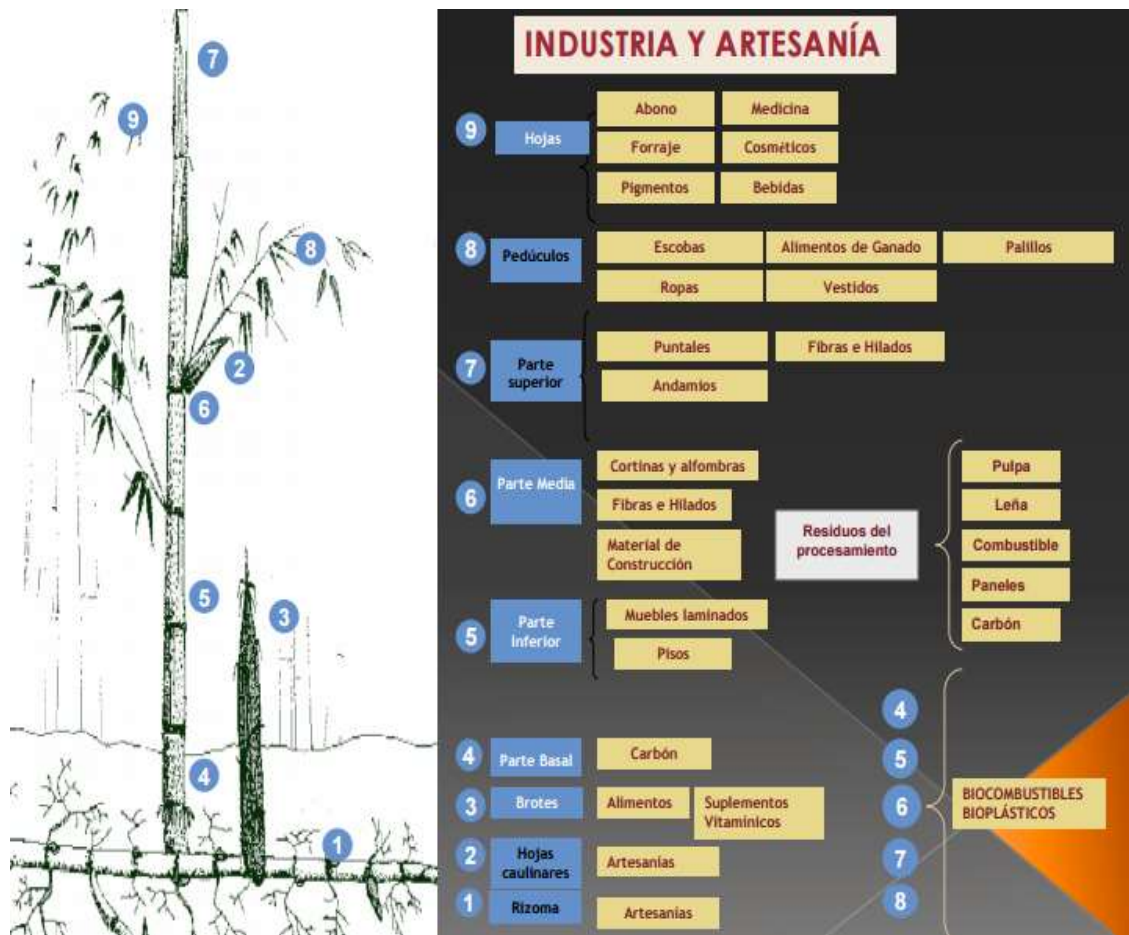


Fig.03 Takahashi, S. (2016) El bambú y su potencial para el desarrollo sostenible en el Perú [Figura] Recuperado de [https://www.agrobanco.com.pe/pdf\\_cpc/bambu\\_josefinatakahashi.pdf](https://www.agrobanco.com.pe/pdf_cpc/bambu_josefinatakahashi.pdf)

Los Bosques de Bambú producen 35% más oxígeno, capturan 50% a 100% más carbono y almacenan 30 a 60% más celulosa que la mayoría de las especies de árboles maderables. Los bosques nativos y plantados de bambú forman ecosistemas que constituyen el hábitat de diversas especies endémicas. Contribuyen al control de la erosión y el manejo de los recursos hídricos. (*Takahashi. s.f.*)

El bambú en su especie guadua angustifolia: La guadua es una especie forestal representada por esbeltos y modulados tallos que enaltecen el paisaje de los valles interandinos es larga, recta, uniforme en su desarrollo, liviana, hueca, resistente, suave, de rápido crecimiento, de bello color e imperceptiblemente cónica. Fueron primero los colonizadores y luego nuestros campesinos y maestros de la construcción los encargados de darle a la guadua la importancia que se merece. Su valor depende de la aplicabilidad y del espacio físico donde la misma se utilice. La guadua es además un vegetal que desempeña un importante papel como especie protectora en cuencas hidrográficas, pero es también un elemento imprescindible para nuestro desarrollo socio cultural. La edad apropiada para el corte es entre los dos (2) y los seis (6) años, es la edad promedio de vida del culmo, de esta edad en adelante la planta pierde resistencia. Las rajaduras o aberturas que suceden cuando no se corta en el estado adecuado, o generadas por agujeros o astillas, constituyen otro punto importante a tener en cuenta. Para ejecutar construcciones adecuadas con guadua, es indispensable conocer y ejecutar correctamente el proceso preliminar de cultivo y obtención del material. Además requiere de un proceso de inmunización, ya que la planta está amenazada por agentes bióticos (plagas), entre los que

encontramos roedores, escarabajos y otros insectos. Existen diversos aspectos de preservación a tener en cuenta por el contenido de almidón y humedad presentes en el bambú: En la plantación es recomendable colocar culmos cortados y recostados lo más verticalmente posible sobre los culmos circundantes, de manera que se mantengan aislados del suelo. El material debe secarse, ya sea al aire libre (colocando los culmos horizontalmente y espaciados, bajo una cubierta ligera), en estufa o cámaras de metal o ladrillo y hormigón (es la forma más rápida) o a fuego abierto (a una distancia de 40 o 50cm. del suelo, se introducen carbones y/o maderas secas encendidas). Por medio de sustancias químicas preservantes, se ayuda a prolongar las estructuras físicas y los componentes del Bambú. El volumen y el rendimiento del Bambú varían de acuerdo a la especie en particular y a las condiciones en que se encuentre. Existe un volumen anual actual de 1.000.0000 de toneladas de producción en todo el mundo. (Vélez, 2005)

Vélez, (2005), se refiere a la importancia del bambú en que:

La guadua es una planta que aporta múltiples beneficios para el medio ambiente y el hombre, sus productos cuando son empleados como elementos integrales de la construcción de viviendas funcionan como reguladores térmicos y de acústica, el rápido crecimiento de la guadua permite según el “estudio aportes de biomasa aérea realizado en el centro nacional para el estudio del Bambú-Guadua, producir y aportar al suelo entre 2 y 4 ton/ha/año de biomasa, volumen que varía según el grado de intervención del guadua; esta biomasa constituye entre el 10 y el 14% de la totalidad de material vegetal que se genera en un guadua. La biomasa es importante, ya que contribuye a enriquecer y mejorar la textura y estructura del suelo. El aporte anual de biomasa general de un guadua en pleno desarrollo oscila entre 30 y 35 ton/ha/año.” Entre los aportes más valiosos de la especie se debe mencionar su comportamiento como una bomba de almacenamiento de agua, cuyo

funcionamiento es el principio de “vasos comunicantes” donde en épocas húmedas absorbe importantes volúmenes de agua que almacena tanto en su sistema rizomático como en el tallo, se ha determinado, según estudios realizados en la hacienda Nápoles, municipio de Montenegro (sabogal 1983) y en el centro nacional para el estudio del bambú-guadua (Giraldo, 1996) que una hectárea de guadua puede almacenar 30.375 litros de agua, es decir, el agua para 150 personas por día (se asume un consumo promedio de 200 litros/día/persona). En época de verano cuando se percibe la necesidad de agua en el suelo, la que se encuentra almacenada en la planta es aportada de manera paulatina al suelo (esponja que suelta líquido).

#### Importancia Económica del bambú

En Colombia la guadua es la especie forestal nativa con mayores posibilidades económicas, ya que su utilización en la construcción y la industria, permiten reducir costos, cuando es empleada como materia prima. Por sus excelentes propiedades físico-mecánicas, por su resistencia al ataque de insectos, por su belleza escénica y tal vez, por lo más importante la diversidad de aplicaciones no igualadas por ninguna especie forestal, representa una alternativa económica que ha coadyuvado a mitigar la problemática social en el campo. Los guaduales viven y se desarrollan asociados a áreas de gran potencial agrícola, es decir, suelos ricos, jóvenes y de buena capacidad productiva, constituyendo además una especie de importancia en la economía del finquero, toda vez que la inversión en el mantenimiento y manejo anual representa apenas entre el 25 y 30 % de las ganancias que se logran al cosechar el guadual. Por esto se cultiva y resiembra con esmero, aunque no con intensidad. En Colombia aproximadamente 100.000 personas derivan su sustento del aprovechamiento manejo y comercialización de la Guadua, de donde obtienen hasta \$400 dólares mensuales, con un ritmo de trabajo de 4 días laborales en la semana. El

Bambú-guadua además de ser materia prima de los pobres, de uso local y bajo costo, debe convertirse en fuente de industrialización con reconocimiento internacional, tal como se presentó en el acto de inauguración del V congreso internacional de Bambú realizado en San José de Costa Rica. (Vélez, 2005)



Fig.04 Vélez, S. (2006) Actualidad y futuro de la arquitectura de bambú en Colombia [figura] Recuperado de [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/93442/01\\_ESD\\_Portada\\_sumari.pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/93442/01_ESD_Portada_sumari.pdf)

Vélez, (2005) nos dice acerca de la sostenibilidad, condiciones y distribución geográfica lo siguiente:

La Sostenibilidad: Implica que las actividades productivas del suelo y del vuelo forestal sean aprovechadas ininterrumpidamente, sin causar la menor alteración al ecosistema como tal. Esta condición se cumple fácilmente en los bosques de guadua, los cuales se regeneran por partes vegetativas, constituyentes de sus rizomas y semillas, elementos que se consideran básicos para su multiplicación.

Condiciones y Distribución Geográfica

Por su ubicación sobre las faldas de las cordilleras occidentales y central y el valle de varios ríos posee todos los pisos térmicos, lo cual propicia el crecimiento de gran diversidad de especies.

Plano de zonas aptas para el cultivo de bambú en el mundo



Fig.05 Vélez, S. (2006) Actualidad y futuro de la arquitectura de bambú en Colombia [figura] Recuperado de [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/93442/01\\_ESD\\_Portada\\_sumari.pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/93442/01_ESD_Portada_sumari.pdf)

### 1.2.2 Estudios o investigaciones anteriores

*Eugenia González, C., & Jairo A. Osorio, S., & Eduard A. García, G. (2002).*

*Resistencia a la flexión de la guadua angustifolia kunt a escala natural.*

*Fac.Nal.Agr.Medellín, 55 (02) 1555-1572.* Dicho estudio tiene como objetivo la

obtención de los resultados de las ecuaciones de diseños para elementos de guadua sometidos a flexión estática como:

Esfuerzos unitarios en el límite proporcional (RLP). Esfuerzo de rotura (MOR). La metodología utilizada fue la del empleo de pruebas mecánicas en una máquina de ensayos universales, para lo cual se utilizó una guadua previamente preparada a la

cual se le aplicó una carga al centro de luz y mediante ecuaciones se llegó a determinar Los Esfuerzos de rotura (MOR), Esfuerzos unitarios en el límite proporcional (RLP) y el Modulo de Elasticidad (MOE). Se concluyó finalmente que los elementos de guadua sometidos a flexión brindan una gran posibilidad de aplicación en aquellas construcciones con materiales no convencionales. El aporte de esta investigación es contar con mayor información sobre el comportamiento del bambú a escala natural a ensayos de flexión, ya que es importante verificar el comportamiento del bambú en su estado natural de guadua.

*Gonzales Betancourt, H., & Montoya Arango, J., & Bedoya Sánchez, J. (2007). Resultados del ensayo a flexión en muestras de bambú de la especie guadua angustifolia kunth. Universidad Tecnológica de Pereira, Scientia et Technica Año XIII, No 35 503-508.* Este trabajo tiene como objetivo, obtener el módulo de elasticidad (MOE) y esfuerzo de rotura (MOR), de muestras de bambú, de la especie Guadua Angustifolia Kunth, así como su relación con la humedad, el ambiente, la longitud del tramo y la edad.

La metodología utilizada fue la del ensayo experimental mediante ensayo DIN 52 186 para lo cual se escogió como espécimen una muestra de probeta de bambú para su posterior ensayo a flexión. Se concluye de este estudio que tanto los factores tanto de ambiente o humedad y tramo de la guadua no interactúan entre sí en los resultados de ninguna de las dos variables medidas: Modulo de elasticidad y esfuerzo de rotura además el módulo de elasticidad como el esfuerzo de rotura presentan diferencias significativas en función a la edad, finalmente el porcentaje de humedad si es menor las propiedades mecánicas de la guadua mejoran. Esto aporta a la investigación a tomar en cuenta factores como la edad, y el porcentaje de humedad e incluso tramo



de guadua de la muestra, a fin de obtener mejores resultados en el ensayo experimental a flexión.

*Castrillón y Malaver (2004), tesis titulada “Procedimientos de ensayo para la determinación de las propiedades físico mecánicas de la guadua”*

El objetivo de esta investigación es la de contribuir a la normalización de ensayos de guadua, desarrollando procedimientos de ensayo para la determinación de propiedades físico mecánicas de la guadua. Recomendar procedimientos para la elaboración de ensayos a compresión, tracción, flexión, y corte paralelo a la fibra de guadua, los cuales no existen para el medio colombiano. La metodología utilizada fue la de revisión bibliográfica, recolección de información y la de experimentación mediante ensayos.

Se concluye que mediante los estudios realizados en dicha investigación que el ensayo a flexión el tipo de falla presentado en los ensayos tiene que ver con el tamaño de la guadua, para guaduas cortas menores a 1.50m la falla por corte, para luces intermedias (mayores a 1,50m menores a 2m), falla por flexión, y finalmente para guaduas con luces grandes, falla por deflexión. El aporte de esta investigación, aclara el panorama para poder elegir la longitud de la luz así como el tipo de falla que se quiere obtener para el ensayo experimental a flexión.

*Sánchez Medrano, María Teresa, Espuna Mújica, José Adán, & Roux Gutiérrez, Rubén Salvador. (2016). El bambú como elemento estructural: la especie Guadua amplexifolia. Nova scientia, 8(17), 657-677. Recuperado en 07 de diciembre de 2018, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-07052016000200657&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-07052016000200657&lng=es&tlng=es). El objetivo de este estudio es dar a conocer*

y aprovechar al máximo estas propiedades. Este trabajo presenta los resultados obtenidos del estudio del comportamiento físico-mecánico del bambú de la especie *Guadua amplexifolia*, tanto para propiedades físicas como mecánicas tales como pruebas a la compresión, tensión, y cortante paralelo a la fibra y flexión. La metodología que se efectúa es la de un estudio experimental, es decir, la interpretación, comparación y análisis estadístico. Las conclusiones de este estudio es reconocer que se puede recomendar su uso como material estructural en construcción de vivienda, observando los casos de éxito en países sudamericanos para la *Guadua Angustifolia*, con registros de resistencia similares a los de este trabajo de investigación, además también, conocer acerca de las propiedades mecánicas de la especie estudiada, sirve para considerar al bambú como un material estructural factible de ser empleado con otros materiales como el concreto en estructuras denominadas: bambucreto; como puede ser el uso de vigas de concreto reforzadas con guadua. El aporte de esta investigación es la de tener un mayor panorama de como un bambú de la especie *Guadua amplexifolia* también puede tener resultados óptimos cercanos a los obtenidos por la especie *Guadua angustifolia* en el ensayo de esfuerzo último a tensión, además de considerar al bambú como un material colaborativo para trabajar con el concreto.

*Ciro Velásquez, H., & Osorio Saraz, J., & Vélez Restrepo, J. (2005).*

*Determinación de la resistencia mecánica a tensión y cizalladura de la *Guadua angustifolia* Kunth. Fac.Nal.Agr.Medellín, 58 (01) 2709-2715.* El objetivo de esta investigación fue determinar bajo ensayos de tensión y cizalladura la resistencia mecánica de elementos de la *Guadua angustifolia* Kunth para contenidos de humedad menores del 20 % base seca.

El método utilizado para la siguiente investigación, fue el método experimental mediante el uso de ensayos en laboratorio así como se utilizó procesos estadísticos para encontrar ciertas variabilidades. Se concluye de la siguiente investigación que siendo el ensayo a tracción uno de los más importantes al momento de dimensionar estructuras con guadua, se observan notables diferencias en los valores encontrados, que aunque siguiendo las mismas normas (INBAR, 1999) varían hasta en un 82% de diferencia. Esto puede ser originado por la anisotropía del material, a los parámetros de operación del ensayo y a condiciones ambientales de humedad relativa y temperatura, pero muestra la necesidad de estandarizar los procedimientos en las pruebas principalmente en los puntos de agarre de las probetas en donde se presentan los principales inconvenientes por desplazamiento. El aporte de este estudio para con mi investigación es tener un planteamiento de los posibles resultados que debería obtener yo al realizar mi ensayo a tracción de mi espécimen de bambú, así como la metodología del ensayo

*Estrada, Martin; Ramírez, Fernando; Maldonado, Andrea; Correal Juan F. (2010) caracterización mecánica de las fibras del bambú colombiano, guadua angustifolia. Universidad Nacional de Colombia, Universidad de los Andes, Colombia-Pre simposio de bambú y madera laminada.* Esta investigación tiene como objetivo, la caracterización mecánica de las fibras de bambú (*Guadua angustifolia*) para su uso potencial como refuerzo de materiales compuestos. La metodología utilizada fue la utilización de diferentes tipos de proceso tales como, mecánicos, semi-mecánicos, químico-mecánicos, termo-mecánicos y químicos para la extracción de las fibras naturales del bambú. El siguiente estudio concluye en que las propiedades mecánicas de las fibras de guadua dependen de la formulación del licor

blanco en el proceso de digestión: la resistencia a la tensión y el módulo de elasticidad se incrementan cuando se disminuye el álcali efectivo; al aumentar la sulfidez se incrementa la resistencia y la rigidez, gracias a que el sulfuro de sodio actúa como catalizador de la reacción. Los rangos de valores de resistencia y módulo de elasticidad obtenidos en esta investigación son comparables con aquellos reportados para otras especies de bambú y otras fibras naturales. Este hecho confirma el potencial de los haces vasculares de *Guadua angustifolia* para ser usados como refuerzo en materiales compuestos. Sin embargo, la dispersión de los resultados es tan alta que la resistencia y la rigidez de las fibras se deben describir de manera probabilística y no determinista. El aporte de dicho estudio es corroborar que las fibras de guadua separadas mediante procesos químicos se podrían utilizar como refuerzo en materiales compuestos como podría ser el caso del bambú y el concreto.

*Luna, Patricia, Lozano, Jorge, & Takeuchi, Caori. (2014). Determinación experimental de valores característicos de resistencia para Guadua angustifolia. Maderas. Ciencia y tecnología, 16(1), 77-92. E pub 25 de noviembre de 2013. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2014005000007>.* El objetivo de dicha investigación es de dar a conocer las propiedades físicas y mecánicas de la *Guadua angustifolia* Kunth de muestras de bambú originario de Colombia. La metodología para determinar la resistencia última de la *Guadua angustifolia* ante sollicitaciones de flexión, el módulo de Elasticidad y los ensayos a flexión fueron mediante ensayos experimentales en laboratorio de muestras de *guadua angustifolia* de diferentes tamaños, de 1.50, 3 y 4 metros de longitud extraídos de la parte inferior, media y superior de la caña. Mediante dicha investigación se llegaron a las siguientes conclusiones: La resistencia a flexión longitudinal varía a lo largo de la longitud de

la guadua, siendo menor para la parte media que para la parte superior.

A partir de los resultados experimentales obtenidos para los módulos elásticos, puede concluirse que no existe una tendencia de variación para las diferentes partes de la guadua, con excepción del módulo de elasticidad circunferencial cuyo valor promedio y percentil 5 aumenta con la altura. Debido a que los valores característicos de resistencia determinados en la presente investigación corresponden a contenidos de humedad superiores al 80%, por lo tanto no es posible hacer comparaciones directas con los valores reportados en la literatura pues estos corresponden a contenidos de humedad más bajos. Se hace énfasis en el presente artículo en la importancia de seguir protocolos de corte del culmo y preparación de probetas. Es importante realizar y documentar los esquemas de corte, para poder identificar el lugar de procedencia (tanto geográfico como de posicionamiento en el culmo) de cada una de las probetas. El aporte del mencionado estudio es tener un mayor criterio a la hora de elegir la muestra de guadua, como tipo de corte de la muestra, posición y procedencia del culmo para el posterior ensayo experimental a flexión.

*López, Luis Felipe, & Correal, Juan Francisco. (2009). Estudio exploratorio de los laminados de bambú Guadua angustifolia como material estructural. Maderas. Ciencia y tecnología, 11(3), 171-182. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2009000300001>. Este estudio e investigación tiene como objetivo dar a conocer el potencial de los laminados de guadua (Guadua angustifolia Kunt) como material estructural. La metodología usada para dicho estudio fue la de realizar ensayos en laboratorio a fin de determinar las propiedades mecánicas de los laminados de guadua angustifolia Kunt; como la tracción paralela a las fibras a fin de obtener el*

Modulo de elasticidad y los esfuerzos máximos en flexión. Basado en los resultados experimentales de esta investigación y teniendo en cuenta el análisis de estos se puede concluir: La dirección de las fibras en los esfuerzos de compresión y de tracción afectan su capacidad de resistencia. Por lo tanto, es recomendable en lo posible, orientar los elementos de tal manera que la carga sea aplicada paralela a la fibra. Teniendo en cuenta la comparación de la resistencia de diseño entre las maderas estructurales Andinas y los laminados de Guadua, estos se proyectan como un material alternativo de ingeniería de fabricación industrial, con excelente resistencia y ambientalmente sostenible. Esto aporta a la investigación a saber identificar como actúan los esfuerzos en función a la dirección de las fibras, además de dar a conocer otra alternativa de uso de la guadua como elemento estructural, dando cabida a que el bambú en su especie guadua angustifolia se proyecta a ser un material utilizado con mayor frecuencia como un tipo de elemento estructural y de refuerzo.

*Cely Moreno, L., & Hernández Rojas, W., & Gutiérrez Junco, O. (2012).*

*Caracterización de la Guadua Angustifolia Kunth cultivada en Miraflores (Boyacá) de acuerdo con la NSR-10. Facultad de Ingeniería, 21 (33), 53-71.* El proyecto de investigación que aquí se presenta se realizó con el objetivo de determinar las propiedades físicas y mecánicas de la especie de guadua angustifolia Kunth El método utilizado fue la realización de ensayos en laboratorio de muestras de bambú con la finalidad de obtener los máximos esfuerzos a flexión o módulo de rotura, para lo cual se realizó el ensayo siguiendo las recomendaciones de la NTC 5525 (Norma técnica colombiana sobre métodos de ensayo al bambú). La longitud de la probeta fue de 30 veces su diámetro exterior para inducir la falla a flexión. Se puede observar

que entre más alta sea la sección del culmo donde se extrajo la probeta, su contenido de humedad es menor además se debe garantizar que el contenido de humedad de la guadua debe estar por debajo del 20%, ya que valores superiores afectarían de manera directa la estabilidad del elemento estructural. En cuanto a los valores obtenidos del Esfuerzo a tensión paralela a la fibra, se obtuvo que las probetas con dos nudos arrojaron valores máximos, comparados con las probetas de un nudo; de esto se infiere que los nudos son altamente resistentes. En el caso del módulo de elasticidad (MOE) a tensión, se presenta el mismo comportamiento anterior. Quizá, el esfuerzo a flexión de la guadua es el más representativo del material; para este caso se obtuvo que las probetas I son las que mejor se comportan frente a este tipo de esfuerzo, ya que poseen espesores de pared y diámetros grandes, comparados con las otras partes del culmo. La separación de los nudos es vital para soportar la flexión, ya que a menor separación, el esfuerzo incrementa, debido a un confinamiento de las fibras, que actúa como flejes, haciendo una comparación con una viga de concreto. El aporte de esta investigación es el de conocer el grado de humedad óptimo de la guadua para realizar los ensayos, además de saber que las probetas que contienen 2 nudos muestran mejores resultados que las que tienen 1, para el ensayo de tensión paralela a la fibra, finalmente contar con una base de datos como son:

- Módulo de rotura
- Esfuerzo en límite proporcional
- Modulo elástico

Para cada parte de la guadua ya sea inferior, media y superior, para comparar con los datos obtenidos de esta investigación

*Zaragoza Hernández, I., & Ordoñez Candelaria, V., & Bárcenas Pazos, G., & Borja de la Rosa, A., & Zamudio Sánchez, F. (2012). Propiedades físico mecánicas de una guadua mexicana (guadua aculeata). Maderas. Ciencia y tecnología 21 (33), 53-71.* Los objetivos del estudio fueron evaluar las propiedades mecánicas de flexión; cortante, compresión y tensión paralelos a la fibra. La metodología utilizada fue la de recolección de culmos para la preparación de las probetas, además la realización de los ensayos se realizó conforme a las normas ISO (2004a) e ISO (2004b), cada culmo se dividió en tres partes iguales identificándolas por su posición en inferior, media y superior, igualmente con base en la información de las normas se tomó una muestra de 12 culmos para ensayar en verde y 12 para ensayar en seco. Los ensayos mecánicos realizados fueron flexión, cortante, compresión y tensión paralelas a la fibra utilizando una máquina universal de ensayos con capacidad de 250 kN, con software propio para calcular los resultados. El valor más alto de la resistencia en flexión estática (MOR) en verde, se obtuvo en la sección superior del culmo, valores que difieren significativamente de las otras dos secciones. En condición seca el valor de MOR más bajo se obtuvo para los especímenes de la sección media y difiere de manera significativa de los extremos. El módulo de elasticidad en flexión (MOE) mayor lo presentaron las probetas secas, difieren significativamente de las verdes. Los promedios obtenidos de esfuerzo máximo ( $f_{t\text{máx}}$ ) y módulo de elasticidad ( $E_t$ ) en tensión paralela a la fibra fueron más altos en la parte media del culmo, sólo se presentaron diferencias significativas entre las zonas media y extremos del culmo. Los resultados de este trabajo, permiten afirmar



que los culmos de la *Guadua aculeata* son un material estructural que se puede usar con éxito en la construcción de estructuras tanto como la *Guadua angustifolia* usada ampliamente en Colombia país que tiene un gran desarrollo con este material. Es necesario realizar estudios sobre la durabilidad y sistemas de preservación para usar la *G. aculeata* con más probabilidades de éxito. El aporte sobre esta investigación fue la de tener claro que las propiedades mecánicas como el Modulo de elasticidad y los ensayos a flexión tienen mejor comportamiento y mayor resistencia en las bambúes secos, y en las probetas ubicadas en la parte media del culmo.

*M. M. Rahman, M. H. Rashid, M. A. Hossain\*, M. T. Hasan and M. K. Hasan. (2011). Evaluación del desempeño del bambu como refuerzo en una viga de hormigón armado. International Journal of Engineering & Technology IJET-IJENS 11(04), 113-118.* Este trabajo tiene como objetivo observar la propiedad extensible del bambú así como la evaluación y uso del mismo, utilizado como barra de refuerzo en hormigón, reemplazando al comúnmente usado, acero. La metodología seguida es la siguiente:

La viga se colocó cuidadosamente debajo de la máquina de prueba y se colocaron soportes en la ubicación medida de 125 mm dentro de cada extremo. Los indicadores de dial también se proporcionan en mitad del recorrido para calcular la desviación. Después de colocar la viga, se aplicó un punto de carga en la parte media de la viga gradualmente por unidad de bombeo controlada. La desviación de la viga en el punto medio se midió a intervalos regulares de carga. La figura se ilustra la configuración de la prueba.

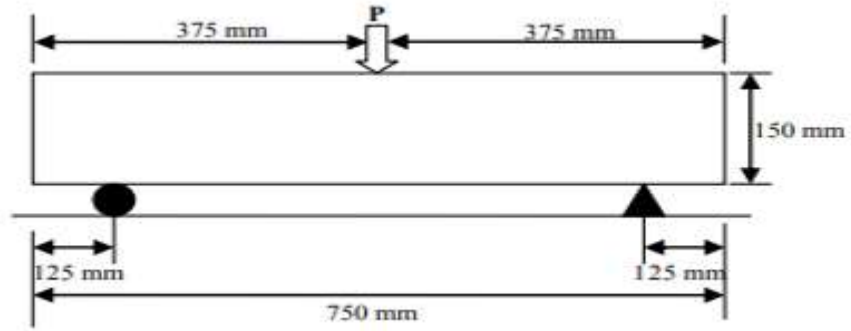


Fig.06 Configuración de la prueba para ensayo en flexión

Este trabajo proporciona al bambú como un refuerzo potencial en hormigón a partir de las curvas de tensión-tensión del bambú, se puede ver que el bambú posee bajo módulo de elasticidad en comparación con acero por lo que, no puede evitar el agrietamiento del hormigón en última instancia carga, pero a partir de la prueba de flexión de la viga reforzada de bambú, se ha visto que el uso del bambú como refuerzo en hormigón puede aumentar la capacidad de carga de la viga que tiene las mismas dimensiones. Para hormigón armado solo bambú viga, la capacidad de carga aumentó aproximadamente 2 veces y que para doble viga de concreto reforzado con bambú de alrededor de 2.5 veces que la viga de hormigón sin refuerzo, que tiene las mismas dimensiones. La deflexión máxima de la viga simplemente reforzada y la viga doblemente reforzada son alrededor de 4.5 y 8 veces respectivamente que la del hormigón sin refuerzo. El aporte que dio esta investigación fue demostrar que las varillas de guadua utilizadas como refuerzo del hormigón mejoraron considerablemente la capacidad de carga y dieron mejores resultados en los ensayos de flexión y tensión que las vigas que no mostraron refuerzo alguno, lo que refuerza la teoría que el bambú es muy efectivo como refuerzo en elementos de hormigón o

concreto.

*Amit Singh, Shyam Kishor Kuman and A K Singh. (2016). Investigación experimental del esfuerzo en flexión de una viga de concreto reforzada con bambú. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology 05(05), 8317-8325.* El objetivo de este trabajo de proyecto es determinar la viabilidad del uso de bambú como refuerzo en el hormigón así como verificar el comportamiento en flexión y su desempeño, para lo cual se utilizaran 4 tipos de vigas, las vigas de hormigón sin refuerzo, vigas de hormigón reforzadas con acero, vigas de hormigón reforzado con bambú tratado y no tratado. La metodología para este trabajo fue la siguiente: En este proyecto de trabajo se seleccionaron dos tamaños de viga (150 x 150 x 700 mm y 150 x 200 x 700 mm). Hormigón de cemento liso (PCC) viga, viga de concreto reforzado con bambú (BRC), viga de concreto reforzado con bambú tratado (TBRC) y acero (SRC) Las vigas de hormigón armado (SRC) se moldearon para cada tamaño de viga, para ambos tamaño de vigas, la misma área de refuerzo fue utilizado. Configuración experimental de la prueba de resistencia a la flexión: Esta prueba se realizó de acuerdo con IS: 516-1959 en vigas de tamaño 150 x 150 x 700 mm y 150 x 200 x 700 mm después de 7 y 28 días de curado bajo máquina de prueba de flexión.

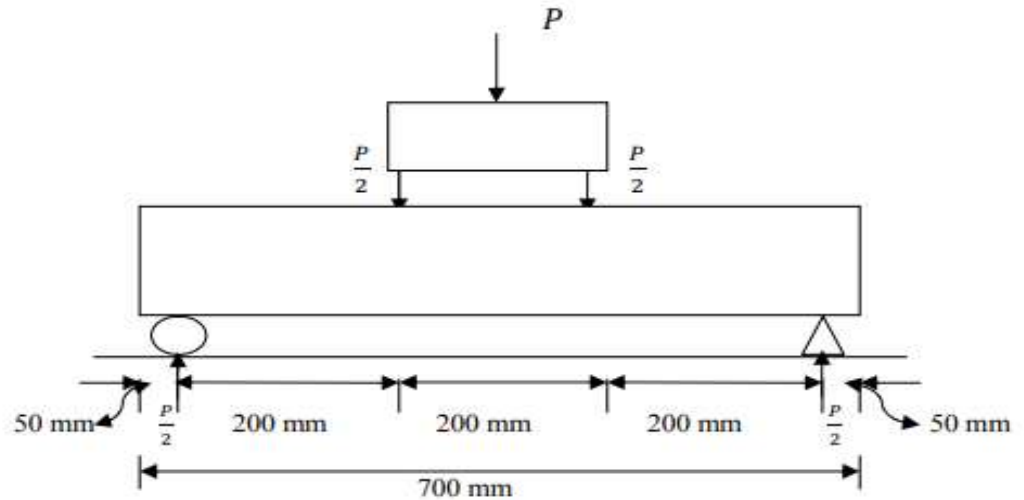


Fig.07 Disposición típica para el cálculo de la resistencia a la flexión.

Resistencia a la flexión ( $N/mm^2$ ),  $f = PL/bd^2$  y Momento de flexión,  $M = PL/6$

**Donde:**

$P$  = Carga máxima

$L$  = Largo de viga (600mm)

$b$  = Ancho de viga

$d$  = profundidad de Viga

Se pueden extraer las siguientes conclusiones sobre la base del trabajo del proyecto realizado en el laboratorio: La capacidad de carga muestra mejor desempeño en las vigas reforzadas con bambú ya sea tratado o no en comparación de las vigas de concreto sin refuerzo y menor desempeño que las vigas reforzadas con acero. La resistencia a la flexión de la viga SRC se encuentra más alta con respecto a

todos los otros tipos de vigas. El esfuerzo a la flexión de la viga PCC se encontró como el más bajo de todas las muestras, esto es cierto tanto para los tamaños de las vigas. La resistencia a la flexión tiene mejor comportamiento a los 28 días que a los 7 días, además para misma carga, la deflexión de la viga PCC es mayor con respecto a las vigas BRC y TBRC. Mientras que para la misma carga, la desviación de la viga SRC es menor. Finalmente la resistencia a la flexión de las vigas de tamaño 150 x 200 x 700 mm se encontró mejor que la resistencia a la flexión de Vigas de tamaño 150 x 150 x 700 mm además se encuentran las deflexiones de las vigas de tamaño 150 x 200 x 700 mm por debajo de las vigas de tamaño 150 x 150 x 700 mm. Este estudio da al bambú como un material potencial para ser utilizado como refuerzo para estructuras de baja carga. El aporte desarrollado refuerza la idea que el bambú es una alternativa de refuerzo en vigas de concreto ya que se demuestra mediante este estudio que se obtienen buenos resultados para cargas en ensayo a flexión, y más aún cuando el bambú es tratado. Además de brindar un mejor planteamiento de cómo realizar el ensayo experimental de la viga reforzada.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo general.**

Determinar el comportamiento estructural de una viga de concreto en flexión incorporando como refuerzos principales al bambú y al refuerzo convencional o acero, mediante ensayo experimental en laboratorio.

### **1.3.2 Objetivo específico 1.**

Determinar los esfuerzos máximos en flexión que puede soportar la viga de concreto, incorporando como refuerzos principales al bambú y al refuerzo convencional o acero, mediante ensayo experimental.

### **1.3.3 Objetivo específico 2.**

Determinar las deformaciones máximas en flexión que logra alcanzar la viga de concreto, incorporando como refuerzos principales al bambú y al refuerzo convencional o acero, mediante ensayo experimental.

## **1.4 Justificación**

El propósito de este estudio es mostrar una alternativa adicional al convencional uso del acero como refuerzo estructural en vigas por lo que se realizó un ensayo experimental en laboratorio para ver las propiedades del bambú para conocer y tener una base de datos de como una viga de concreto convencional reforzada con bambú de la especie guadua angustifolia se comporta a dicha carga sometida; para así mismo tener mayor conocimiento de este material que nos brindó la naturaleza y poder realizarse estudios posteriores en relación a ello.

### **1.4.1 Teórica.**

Lograr recabar mayor información relacionada al estudio del bambú como refuerzo estructural sometida a cargas en flexión, a fin de tener un mayor conocimiento de este material en la construcción y en este caso puntual como refuerzo de vigas en el País.

#### **1.4.2 Práctica.**

Conocer el debido proceso del tratado del espécimen, en este caso la guadua así como los diferentes tipos de aditivos y procesos constructivos para lograr establecer los parámetros óptimos para realización del ensayo experimental.

#### **1.4.3 Metodológica.**

El ensayo experimental del bambú embebida en una viga de concreto como refuerzo nos brindara mayor información de cómo trabaja y se desarrolla dicho material al ser utilizado como una alternativa diferente al del acero para poder utilizarse en un futuro como una propuesta u alternativa adicional.

#### **1.4.4 Social.**

Ante la creciente demanda del acero como la convencional alternativa de refuerzo de vigas columnas y de la mayoría de elementos estructurales se optó por apostar por una alternativa más sostenible con el medio ambiente y además sustentable por su costo como en este caso, la guadua angustifolia, dicho método novedoso de refuerzo podría utilizarse en módulos de vivienda de 1 piso como vigas de cerramiento; al ser el bambú un material de origen natural el cual se puede sembrar en casi cualquier clima podría considerarse todo esto como una idea de utilización de dicho refuerzo natural con lo que beneficiaría a alguna comunidad de escasos recursos.

## **1.5 Hipótesis**

### **1.5.1 Hipótesis Principal.**

Mediante el comportamiento estructural de una viga de concreto en flexión incorporando como refuerzo principal al bambú, poder hacer una comparación con el comportamiento de una viga de concreto con refuerzo convencional.

### **1.5.2 Hipótesis Secundaria 1.**

Mediante el cálculo de los esfuerzos máximos en flexión de una viga de concreto, incorporando como refuerzo principal al bambú, lograr hacer una comparación con los esfuerzos máximos en flexión de una viga de concreto con refuerzo convencional.

### **1.5.3 Hipótesis Secundaria 2.**

Mediante el cálculo de las deformaciones máximas en flexión de una viga de concreto, incorporando como refuerzo principal al bambú, lograr hacer una comparación con los esfuerzos máximos en flexión de una viga de concreto con refuerzo convencional.



## II. Marco Teórico

### 2.1 Bases teóricas sobre el tema de investigación

#### 2.1.1 Vigas de concreto armado

Las vigas son elementos estructurales de concreto armado, diseñado para sostener cargas lineales, concentradas o uniformes, en una sola dirección. Una viga puede actuar como elemento primario en marcos rígidos de vigas y columnas, aunque también pueden utilizarse para sostener losas macizas o nervadas.

La viga soporta cargas de compresión, que son absorbidas por el concreto, y las fuerzas de flexión son contrarrestadas por las varillas de acero corrugado, las vigas también soportan esfuerzos cortantes hacia los extremos por tanto es conveniente, reforzar los tercios de extremos de la viga. Para lograr que este elemento se dimensione cabe tener en cuenta la resistencia por flexión, una viga con mayor peralte (altura) es adecuada para soportar estas cargas, pero de acuerdo a la disposición del proyecto y su alto costo hacen que estas no sean convenientes. Para lograr peraltes adecuados y no incrementar sus dimensiones, es conveniente incrementar el área del acero de refuerzo para compensar la resistencia a la flexión. Para el diseño de una viga se deberá considerar también para su dimensionamiento, los esfuerzos de corte, torsión, de control, de agrietamiento y deflexión.

#### 2.1.2 Diseño de flexión en vigas de concreto reforzado

La flexión representa el estado límite de servicio que generalmente rige las dimensiones de las vigas de concreto reforzado. Usualmente, las dimensiones provenientes del diseño por flexión se someten a revisión por cortante u otras acciones estructurales. A continuación se describirán los aspectos fundamentales de este tipo de diseño estructural.

Según la mecánica de materiales, la flexión es el estado interno de esfuerzos cuya acción genera en una sección del elemento flexionado un par de fuerzas  $M$  (figura 1) cuya intensidad

puede establecerse a partir de las condiciones de equilibrio en vigas isostáticas o de las condiciones de equilibrio y compatibilidad de desplazamientos en el caso de vigas estáticamente indeterminadas. Siendo la magnitud de este par de fuerzas una constante de la sección, es posible modificar el valor de las fuerzas componentes C y T alterando la distancia entre ellas, En la Figura 1 se ilustra el anterior concepto observando que si aumentamos la distancia Z, la magnitud de las fuerzas componentes del par disminuye en la misma proporción, de acuerdo a la expresión:

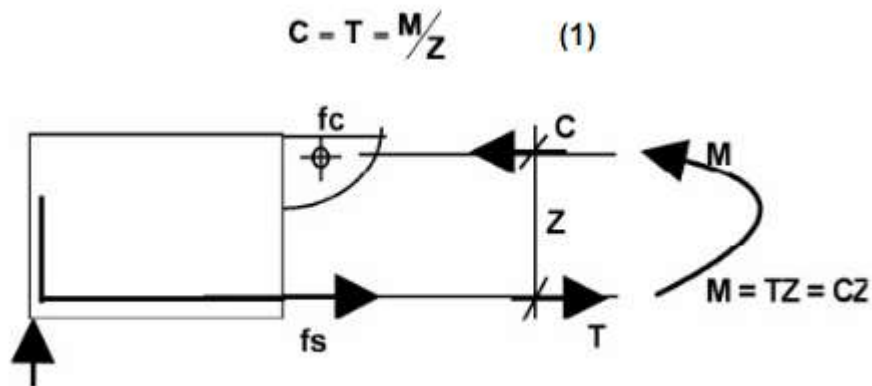


Fig.08 Espino, L. (2006) Diseño por flexión de vigas de concreto reforzado [figura] Recuperado de [https://www.academia.edu/4855502/DISEÑO\\_POR\\_FLEXIÓN\\_DE\\_VIGAS\\_DE\\_CONCRETO\\_REFORZADO.\\_Profes](https://www.academia.edu/4855502/DISEÑO_POR_FLEXIÓN_DE_VIGAS_DE_CONCRETO_REFORZADO._Profes)

Analizando la expresión (1) encontramos la razón de que las vigas de concreto reforzado en la práctica se dispongan con su dimensión de mayor magnitud (peralte) vertical. Dispuesta la viga de este modo, los esfuerzos de tensión serán absorbidos por el acero de refuerzo y los de compresión por el concreto. Sin tal refuerzo, durante los fenómenos de flexión se presentarían los agrietamientos que se muestran en la figura 2.

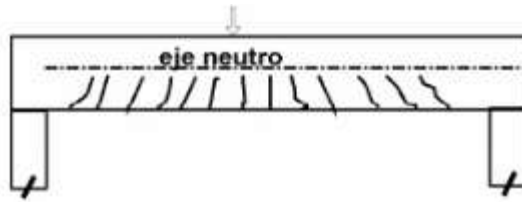


Fig.09 Espino, L. (2006) Agrietamiento debido a la flexión [figura] Recuperado de [https://www.academia.edu/4855502/DISE%C3%91O\\_POR\\_FLEXI%C3%93N\\_DE\\_VIGAS\\_DE\\_CONCRETO\\_REFORZADO.\\_Profes](https://www.academia.edu/4855502/DISE%C3%91O_POR_FLEXI%C3%93N_DE_VIGAS_DE_CONCRETO_REFORZADO._Profes)

### **Criterio básico de diseño por flexión**

El diseño por flexión debe cumplir la condición reglamentaria la cual establece que la resistencia a flexión de una sección de concreto reforzado debe tener una magnitud que exceda o cuando menos sea igual a la del momento último producido por las cargas, es decir:  $MR$  mayor igual que  $MU$  (2)

En la expresión anterior  $MR$  es el momento resistente de la sección y  $MU$  es el momento último de la viga, equivalente al momento flexionante máximo  $M$  producido por las cargas de servicio multiplicado por el factor de carga  $F_c$ . En el diseño, es común emplear esta expresión en forma de igualdad para obtener máxima economía en el empleo de los materiales. Para un factor de carga  $F_c=1.4$ , lo anterior equivale a decir que se diseña para que la estructura alcance su resistencia con cargas 40% mayores que la de servicio:

$$MR = MU \quad (3)$$

El momento último  $MU$  de la sección depende de las condiciones de carga, que podemos representar como  $w$  y de la longitud  $L$  de la viga, es decir:

$$MU = f(w, L) \quad (4)$$

Las expresiones que cuantifican el momento máximo se pueden encontrar en la mecánica de sólidos.

## Determinación de la resistencia a la flexión MR.

Puede demostrarse que el momento resistente depende solamente de las propiedades geométricas de la sección (**As**, **b** y **d**) y de las propiedades mecánicas de los materiales empleados (**f'c** y **fy**), es decir:

$$MR = f (As, b, d, f'c, fy) \quad (5)$$

Recordemos que se define como resistencia a la flexión al máximo momento flexionante que es capaz de soportar una sección de concreto reforzado. Para la determinación de la resistencia de una sección de concreto reforzado, es necesario establecer un mecanismo teórico basado en hipótesis simplificadoras que describa aproximadamente el fenómeno real. En este caso, tal mecanismo es empleado por el Reglamento de construcciones del D.F. En la siguiente figura se establecen las características geométricas de la sección y propiedades mecánicas de los materiales que intervienen en la magnitud de la resistencia.

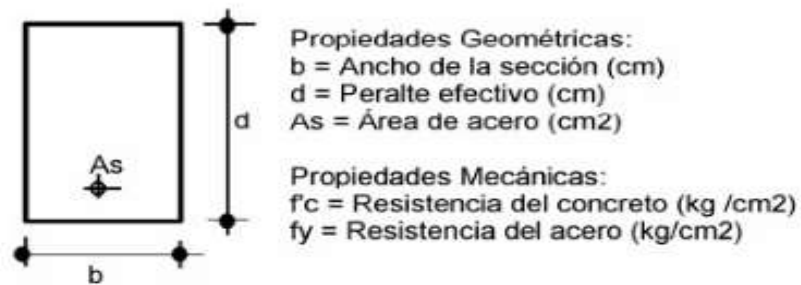


Fig.10 Espino, L. (2006) Propiedades de la sección que intervienen en la resistencia [figura] Recuperado de [https://www.academia.edu/4855502/DISE%C3%91O\\_POR\\_FLEXI%C3%93N\\_DE\\_VIGAS\\_DE\\_CONCRETO\\_REFORZADO.\\_Profes](https://www.academia.edu/4855502/DISE%C3%91O_POR_FLEXI%C3%93N_DE_VIGAS_DE_CONCRETO_REFORZADO._Profes)

En la siguiente figura se puede apreciar que la obtención del momento resistente de la sección implica tomar la intensidad del par de fuerzas internas que equilibran el sistema; para ello, es necesario establecer la posición del centroide del diagrama de esfuerzos de compresión y además su volumen. El proceso mencionado puede resultar demasiado

complicado, pues además implica disponer de la curva esfuerzo-deformación unitaria del concreto utilizado. Para simplificar el problema se propusieron diversas formas del diagrama de esfuerzos de compresión de modo que se facilitara tanto la ubicación del centroide como la cuantificación del volumen.

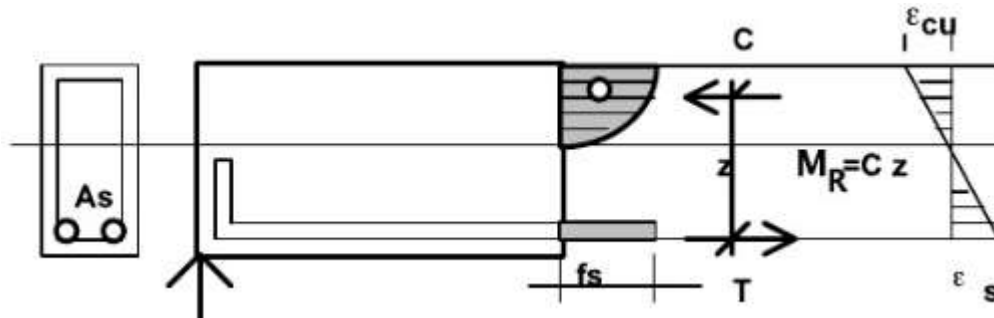


Fig.11 Espino, L. (2006) Diagrama de esfuerzos en una sección cuando esta alcanza sus resistencia [figura]

Recuperado de

[https://www.academia.edu/4855502/DISE%C3%91O\\_POR\\_FLEXI%C3%93N\\_DE\\_VIGAS\\_DE\\_CONCRETO\\_REFORZADO.\\_Profes](https://www.academia.edu/4855502/DISE%C3%91O_POR_FLEXI%C3%93N_DE_VIGAS_DE_CONCRETO_REFORZADO._Profes)

La simplificación que tuvo éxito se debe a **Whitney**, el cual propuso la sustitución del diagrama original por uno de forma rectangular. Las dimensiones relativas de éste diagrama fueron establecidas a partir de pruebas de laboratorio en las cuales se obtuvieron tales dimensiones en base a la igualación del momento experimental con el momento producto de la hipótesis simplificatoria.

En la siguiente figura puede observarse la configuración de los diagramas de esfuerzos hipotéticos (según Whitney) en concreto y acero cuando la sección alcanza su resistencia. Se puede apreciar que el establecimiento del centroide y el volumen del diagrama de compresión es simple, facilitando así la cuantificación del momento resistente de la sección.

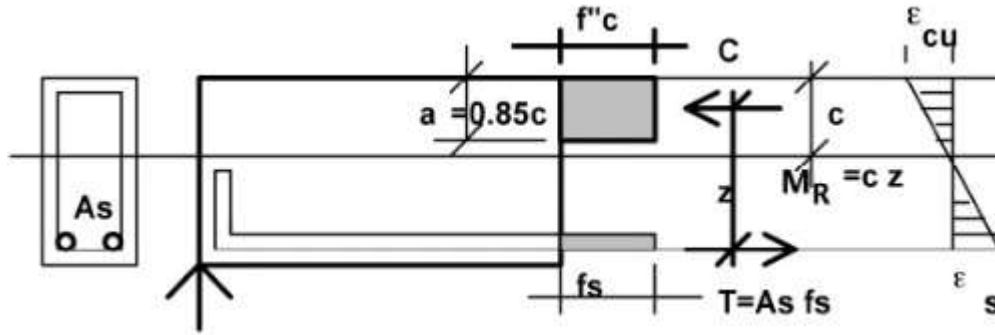


Fig.12 Espino, L. (2006) Diagramas hipotéticos de esfuerzos [figura] Recuperado de [https://www.academia.edu/4855502/DISEÑO\\_POR\\_FLEXIÓN\\_DE\\_VIGAS\\_DE\\_CONCRETO\\_REFORZADO.\\_Profes](https://www.academia.edu/4855502/DISEÑO_POR_FLEXIÓN_DE_VIGAS_DE_CONCRETO_REFORZADO._Profes)

### Límites en el área de acero.

Las Normas Técnicas Complementarias establecen que la sección debe alcanzar su resistencia en forma dúctil, es decir, con grandes deflexiones que permitan al usuario detectar la inminencia de la falla. Para ello, se obliga al diseñador a limitar el área de acero tanto inferior como superiormente:

$$A_{s \min} \leq A_s \leq A_{s \max}$$

En donde:

$$A_{s \min} = \frac{0.7 \sqrt{f'_c} b d}{f_y} \quad (6)$$

$$A_{s \max} = \frac{0.9 f'_c}{f_y} \frac{6000 \beta_1}{f_y + 6000} b d \quad (7)$$

La expresión (7) es aplicable a vigas que no deben resistir fuerzas sísmicas. En caso contrario, el coeficiente mostrado equivale a 0.75. Para vigas que cumplen las ecuaciones 6 y 7 se pueden aplicar las siguientes expresiones para la obtención del momento resistente

MR:

$$MR = FR f''c b d^2 q (1-0.5q) \quad (8)$$

$$MR = FR A_s f_y d (1-0.5q) \quad (9)$$

Donde:

**MR**= Momento resistente de una sección

**FR**= Factor de resistencia para flexión= 0.9

**F''c**= Esfuerzo uniforme en la hipótesis de Whitney (kg/cm<sup>2</sup>)

**b,d**= Base y peralte efectivo de la sección (cm)

$$q = \frac{f_y P}{f''c} \text{ y la cuantía de acero } p = \frac{A_s}{bd}$$

Donde:

$$P_b = \frac{A_s b}{bd}$$

También en este caso es obvio que la cuantía mínima de acero es calculada, partiendo de la expresión.

$$P_{\min} = \frac{0.7 \sqrt{f''c}}{f_y}$$

### 2.1.3 Propiedades de la Guadua

Entre las características de la Guadua destaca su extraordinaria firmeza a compresión y una buena resistencia al corte paralelo, esto sumado a la gran flexibilidad que presenta convierten la caña de Guadua en una herramienta especialmente interesante para la bioconstrucción, donde está catalogada como material estructural sismo-resistente.

El elevado porcentaje de fibra presente en su estructura y el alto contenido en sílice en su cara exterior hacen que esta especie presente las asombrosas características de resistencia y flexibilidad que la caracterizan.

Gracias a la morfología propia de la Guadua, el diámetro de las cañas de esta variedad es muy constante, con un valor máximo de reducción o conicidad de unos 5 mm/m.

El espesor de pared en general es bastante grueso, aunque puede variar entre las distintas secciones elegidas. En las cepas puede llegar a más 3 cm., (usadas en pilares o donde se recibe mucho trabajo a compresión) mientras que en las basas pueden estar entre los 0,8 y 2 cm., como el número interno de fibras es el mismo estas piezas son perfectas para trabajar en vigas y correas.

La rectitud o curvatura mínima que presentan está totalmente asegurada pues, aunque en la plantación siempre pueden aparecer algunas con curvas, nuestras cañas son perfectamente rectas gracias a una cuidada selección en origen (las piezas de esta variedad no se enderezan con calor como se hace en China)

#### **2.1.4 Ductilidad**

La ductilidad es la capacidad de un elemento para sufrir deformaciones plásticas sin degradación de su resistencia. La ductilidad en las estructuras es un valor agregado que cada día es más común. Esta representa variables asociadas a la disipación de energía dentro de la etapa plástica que posee el material, las secciones y la estructura globalmente.

Dicho de otra manera, la ductilidad es la habilidad de la estructura, sus componentes o los materiales utilizados para ofrecer resistencia en el dominio inelástico de la respuesta es descrito por el termino Ductilidad, que incluye la habilidad de sostener grandes deformaciones y la capacidad de absorber energía por medio del comportamiento histerético.

Esta puede expresarse así  $\mu = \frac{\varphi u}{\varphi y}$  donde  $\varphi u$  representa la curvatura a la rotura del hormigón y  $\varphi y$  es la curvatura a la fluencia del acero de refuerzo de la sección evaluada.



### **III. Método**

#### **3.1 Tipo de Investigación**

La presente investigación es del tipo cuasi experimental comparativa, para lo cual se buscará recolectar muestras con la finalidad de verificar el comportamiento de las variables.

#### **3.2 Ámbito temporal y espacial**

La investigación se desarrolló, con la finalidad de obtener el título profesional mediante modalidad de tesis en la Universidad Nacional Federico Villarreal, en la carrera de Ingeniería Civil, entre los años 2018 y 2019. Para lo cual se desarrollaron dos ensayos, el primer ensayo tuvo lugar en el laboratorio de ensayo de materiales de la Universidad Nacional de Ingeniería y el ensayo siguiente se realizó en el Laboratorio de estructuras antisísmicas de la Pontificia Universidad Católica del Perú, ambas ubicadas en Lima –Perú.

#### **3.3 Variables**

##### **3.3.1 Variable Independiente.**

El refuerzo en flexión ya sea de bambú de la especie guadua angustifolia o de refuerzo convencional de acero.

##### **3.3.2 Variable Dependiente.**

El Desempeño o Comportamiento estructural de la viga ya sea reforzada con bambú de la especie guadua angustifolia o con refuerzo convencional

### **3.4 Población y muestra**

#### **3.4.1 Población.**

Espécimen de bambú para ensayo a tracción

Viga de concreto reforzada con acero convencional

Viga de concreto reforzada con bambú de la especie guadua angustifolia a escala natural

#### **3.4.2 Muestra.**

Se tienen 3 muestras para el ensayo experimental de comportamiento estructural en flexión.

- M-1 (viga de concreto reforzada con bambú), para ensayo en laboratorio
- M-2 (viga de concreto reforzada con refuerzo convencional) – modelado en ordenador
- M-3 (viga de concreto reforzada con acero) extraída de internet para comparación de ductilidad.

### **3.5 Instrumentos**

Máquina de ensayo universal para ensayo a flexión

Máquina de ensayo un axial para ensayo a tracción

Ordenador o laptop con software especializado

Fuentes virtuales y bibliográficas

### **3.6 Procedimientos**

#### **3.6.1 Ubicación del caso.**

El trabajo de investigación experimental comprende 02(dos) ensayos, el ensayo a tracción y finalmente el ensayo a flexión de la viga; el ensayo de tracción del espécimen de bambú se desarrolló en el LEM –UNI (Laboratorio de ensayo de Materiales de la Universidad Nacional de Ingeniería ubicada en la ciudad de Lima en el distrito de San Martín. Asimismo el ensayo

experimental de flexión de la viga de concreto reforzada con bambú se llevó a cabo en el laboratorio de Estructuras antisísmicas de la PUCP (Pontificia Universidad Católica del Perú), ubicada en la ciudad de Lima en el distrito de San Miguel.

### **3.6.2 Descripción del caso.**

Para poder determinar el comportamiento estructural de una viga de concreto en flexión incorporando como refuerzo al bambú y así mismo obtener los máximos esfuerzos y deformaciones se desarrollaron los siguientes pasos.

### **3.6.3 Recolección de material de investigación.**

Para poder adquirir el material de investigación en este caso la caña de bambú de la especie guadua angustifolia se contactó con la empresa PRESERBAMBU, la cual por investigación e información recolectada desde su página, ellos ofrecían cañas de bambú de la especie antes mencionada, además de ser una de las pocas empresas en el Perú en contar con bambúes destinados a procesos constructivos y contar con certificación internacional como la correcta preservación de los mismos; se logró conversar con la empresa, y se programó el envío de 5 piezas de bambú, de esas 5 piezas de bambú se eligieron las cañas que se encontraban en mejores condiciones de conservación, preservación y otros factores para los ensayos posteriores a fin de obtener mejores resultados.

### **3.6.4 Caracterización del material.**

La caracterización del bambú o guadua estaba sujeta al cálculo del módulo de elasticidad, por lo que se procedió a calcularlo mediante a ensayo a tracción, el cual fue desarrollado en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería, para dicho ensayo se diseñó un espécimen en forma de corbatín para forzar su falla en la parte central, la maquina utilizada fue una máquina de ensayo uniaxial

zwick/roell con certificado de calibración de CMC – 140-2015 y con la norma técnica ISO 22157-2.

### **3.6.5 Transformación del material equivalente.**

Una vez calculado el módulo de elasticidad del espécimen de bambú en el laboratorio de materiales de la Universidad nacional de ingeniera mediante máquina de ensayo a tracción, se procedió mediante fórmulas de resistencia de materiales al cálculo de un área de bambú representativa que sirva como refuerzo en viga de concreto, asemejándose a un refuerzo de acero, por lo que se procedió al cálculo de “n” siendo este la división de el Modulo de Elasticidad del bambú ,con el Modulo de elasticidad del acero. Para el cálculo de un área de bambú que sustituirá al del acero se multiplicara “n” por el área de acero, a fin de transformar el área de as por un área de bambú representativa para el ensayo a flexión.

- $$n = \frac{E_{As}}{E_{Bambú}}$$
- Área de bambú = n x Área As

### **3.6.6 Diseño de adherencia entre materiales.**

En busca de una mejor adherencia entre el bambú y el concreto se utilizó un adhesivo epóxico (sikadur 31), el cual se colocó en toda el refuerzo de bambú, además se realizaron orificios entre nudos a lo largo del eje longitudinal del bambú, a fin de permitir el ingreso del concreto por dichos orificios y generar aun mayor rigidez y adherencia en el bambú.

### **3.6.7 Diseño de viga con bambú para ensayo.**

Se diseñó una viga con dimensiones estándares acordes a una viga que soportara cargas ligeras, ya que se está empleando un material alternativo como es el bambú, por lo que las dimensiones de la viga, corresponden a la de un viga que se asemejaría a las usadas en

viviendas de uso sostenible de 1 piso, las cuales son las siguientes, 3.50 m de largo y de sección transversal, base de 0.25 m y una altura de 0.40 m y como refuerzo de bambú, 0.10 m de diámetro externo, 0.084 m de diámetro interno, y con un espesor de 1.6 cm. El ensayo a flexión se realizara en el laboratorio para lo cual se colocará la viga simplemente apoyada y se someterá a una carga puntual en el centro de luz a una velocidad de carga de 2mm/min, además se colocará un sensor del tipo LVDT para medir la deflexión vertical en el punto medio de la viga. Se colocarán dos LVDT's en forma horizontal en la parte superior e inferior del centro de la luz, el ensayo está bajo la norma ASTM C 293 – 02.

### **3.6.8 Determinación de los esfuerzos y deformaciones máximas.**

Después de realizado el ensayo a flexión en el laboratorio de estructuras de la PUCP, el software especializado arrojo resultados en forma de una gráfica (fuerza x deformación), en el cual se observa el comportamiento de la viga reforzada con bambú, en el cual arroja valores de fuerzas en KN así como desplazamientos en mm, para calcular los esfuerzos en fluencia, esfuerzo ultimo así como el esfuerzo de rotura, se dividirá las fuerzas obtenidas en el ensayo, arrojados por el software, entre el área de la sección transversal de la viga, así como también ubicar las deformaciones o desplazamientos en nivel de los esfuerzos antes mencionados, finalmente se calculara las deformaciones y se convertirá a unidades de toneladas y centímetros ( ton/cm<sup>2</sup>) y las deformaciones a milímetros (mm).

### 3.7 Análisis de Datos

#### 3.7.1 Recolección de material de investigación.

Cañas de bambú de la especie *guadua angustifolia*, preservadas, de 4” de diámetro y de aproximadamente 5 m de largo. De las cuales se elegirán 2 bambúes para los 02 diferentes ensayos.

- Ensayo a tracción de espécimen en forma de corbatín, para calcular el módulo de Elasticidad del bambú que será utilizado para cálculos posteriores de diseño, dicho ensayo se realizó en el laboratorio de ensayo de materiales de la Universidad Nacional de Ingeniería (LEM-UNI)
- Ensayo a flexión con carga en el centro de luz, a fin de obtener los esfuerzos y deformaciones máximas de la viga de concreto utilizando como refuerzo al bambú- *guadua*, el ensayo se llevó a cabo en el laboratorio de estructuras antisísmicas de la Pontificia Universidad Católica del Perú, (LEDI- PUCP)



Fig.13 Bambúes de la especie *guadua angustifolia* adquiridos por la empresa Preserbambú

### 3.7.2 Caracterización del material.

Para obtener el módulo de elasticidad del espécimen de bambú de la especie guadua angustifolia que se usara posteriormente para el ensayo a flexión se decidió realizar un ensayo de tracción en el laboratorio de ensayo de materiales de la Universidad Nacional de Ingeniería (LEM –UNI)

En dicho ensayo de tracción se utilizará una máquina de ensayo uniaxial ZWICK/ROELL con certificado de calibración: CMC -140-2015

La Norma de referencia con la que cuenta el ensayo es el ISO 22157-2



Fig.14 – Bambú con espécimen extraído  
Fuente: Propia  
Ensayo a tracción de un espécimen de bambú



Fig.15 – Preparado del espécimen por personal técnico del LEM- UNI  
Fuente: Propia  
Ensayo a tracción de un espécimen de bambú



Fig.16 – Especimen en forma de corbatín para ensayo  
Fuente: Propia  
Ensayo a tracción de un espécimen de bambú





Fig.17 – Maquina para ensayo a tracción  
Fuente: Propia  
Ensayo a tracción de un espécimen de bambú



Fig.18 – Especimen listo para ensayo a tracción  
Fuente: Propia  
Ensayo a tracción de un espécimen de bambú



Fig.19 – Falla de espécimen por tracción  
Fuente: Propia  
Ensayo a tracción de un espécimen de bambú

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	AA1 3/8	Und
Espesor de la probeta	0.8	mm
Ancho de la probeta	20	mm
Sección 2	16	mm <sup>2</sup>
<b>Módulo de elasticidad 2</b>	<b>1848432.75</b>	<b>N/cm<sup>2</sup></b>
Límite superior de fluencia	1760	kg
Límite inferior de fluencia	-	kg
Fuerza máxima	2820	kg
Fuerza máxima 2	176.23	kg/mm <sup>2</sup>
Fuerza en 0.2 % deformación plástica	943	kg
Fuerza en 0.2 %deformación plástica 2	58.96	kg/mm <sup>2</sup>
relación fu/fy	2.99	
Longitud entre marcas	200	mm
Longitud final entre marcas	231	mm
Porcentaje de elongación	16	%

Fig.20 – Datos obtenidos del ensayo a tracción  
Fuente: Propia  
Ensayo a tracción de un espécimen de bambú



Fig.21 – Espécimen fracturado después del ensayo a tracción  
Fuente: Propia  
Ensayo a tracción de un espécimen de bambú



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**Facultad de Ingeniería Civil**

LABORATORIO N°1 ENSAYO DE MATERIALES "ING. MANUEL GONZÁLES DE LA COTERA"



**INFORME**

Del : Laboratorio N°1: Ensayo de Materiales  
 A : RICARDO RAÚL ESPINOSA ESLI  
 ELMER RAFAEL ALIAGA SANCHEZ  
 Obra : TESIS EXPERIMENTAL  
 Ubicación : LIMA  
 Asunto : Ensayo de tracción  
 Expediente N° : 16-0261  
 Recibo N° : 106651  
 Fecha de emisión : 25/01/2016

1.0. DE LA MUESTRA : Consistente en 01 muestra de Bambú-Guadua.

2.0. DEL EQUIPO : Máquina de ensayo uniaxial ZWICK/ROCELL.  
 Certificado de calibración: CMC - 140-2015

3.0. MÉTODO DEL ENSAYO : Norma de referencia ISO 22157-2

4.0. RESULTADOS : Fecha de ensayo : 25/01/2016

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS	DIMENSIONES (mm)		ÁREA (mm <sup>2</sup> )	CARGA (kg)	ESFUERZO (kg/mm <sup>2</sup> )
	ESPESOR	ANCHO			
BAMBÚ-GUADUA	7,5	24,5	183,8	2820	15,3



EXTRACCIÓN DE LA PROBETA

PREPARACIÓN DE LA PROBETA

PROBETA ENSAYADA (EXTERIOR)

PROBETA ENSAYADA (INTERIOR)

5.0. OBSERVACIONES: 1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante.

Hecho por : Lic. J. Basurto P.  
 Técnico : Sr. V. G.

Ma. Ing. Ana Torre Camillo  
 Jefe (e) del laboratorio

NOTAS:  
 1) Está prohibido reproducir o modificar el informe de ensayo, total o parcialmente, sin la autorización del laboratorio.  
 2) Los resultados de los ensayos sólo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.



Av. Tupac Amaru N° 210, Lima 25  
 apartado 1301 - Perú  
 (511) 381-3343  
 (511) 481-1070 Anexo: 306

www.lem.uni.edu.pe  
 lem@uni.edu.pe  
 Laboratorio de Ensayo de Materiales - UNI



Fig.22 – Certificado de ensayo a tracción en LEM- UNI  
 Fuente: Propia  
 Ensayo a tracción de un espécimen de bambú

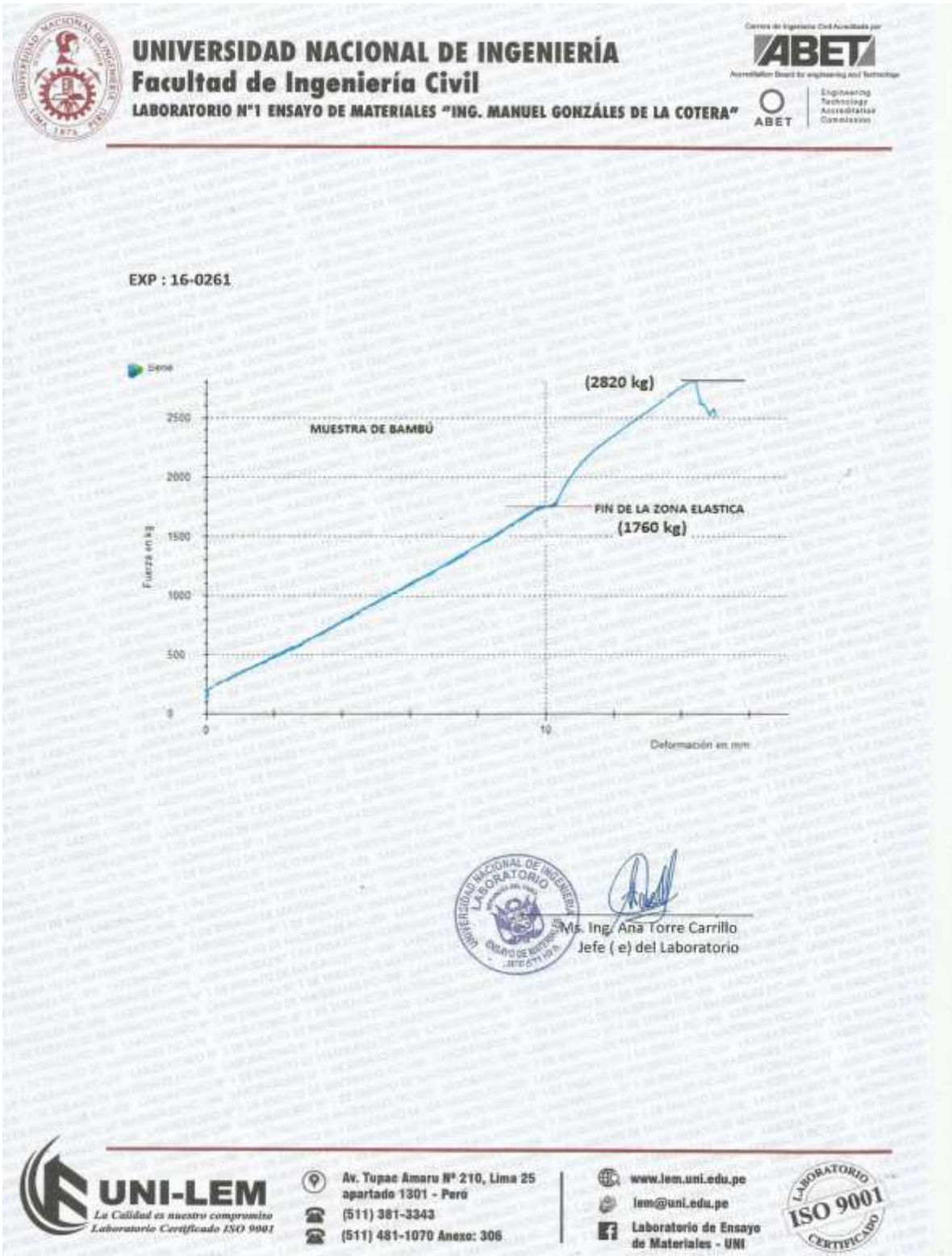


Fig.23 – Diagrama fuerza- deformación del espécimen de bambú  
 Fuente: Propia  
 Ensayo a tracción de un espécimen de bambú

### 3.7.3 Transformación del material equivalente.

Cálculo del refuerzo de bambú para ensayo

Se tiene bambús los cuales tienen:

$\phi$  (diámetro) = 10.0 cm

$\phi$  interior = 8.2 cm

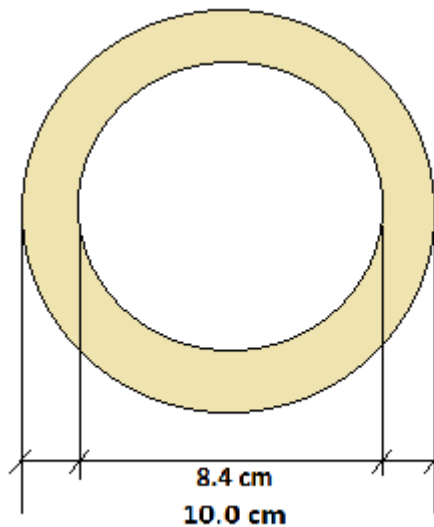


Fig.24 – Sección de bambú a utilizar como refuerzo  
Fuente: Propia

Se calcula el Área del bambú

$$\frac{\pi 0.10^2}{4} - \frac{\pi 0.084^2}{4}$$

$$A = 0.00244 \text{ m}^2$$

$$A = 24.43 \text{ cm}^2$$

Relación de módulos de Elasticidad para la transformación de material

$$E \text{ bambú} = 184\,843.275 \text{ Kg/cm}^2$$

$$E_{\text{acero}} = 2.1 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$$

$$n = \frac{E_{\text{bambu}}}{E_{\text{acero}}}$$

$$n = 0.08802$$

$$\text{Área de acero} = n \times \text{Área de bambú}$$

$$A_{\text{acero}} = 0.08802 \times 24.43 \text{ cm}^2$$

$$A = 2.15 \text{ cm}^2$$

$$\text{Área de 1 fierro de } 5/8'' = 2 \text{ cm}^2$$

Según las relaciones de elasticidad y de las áreas

Un bambú con diámetro de 4'' equivale a un fierro de 5/8''

Por fines experimentales en una viga de 0.25 \* 0.40 se utilizara un bambú de 4 '' como refuerzo en tracción, y se analizará los resultados

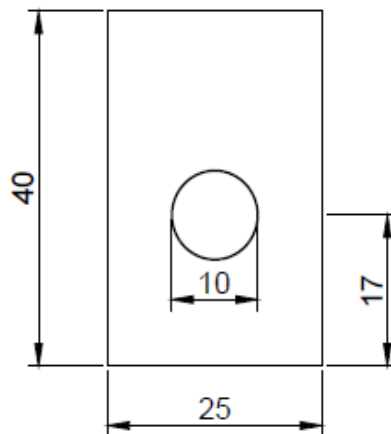


Fig.25 – Sección de viga de concreto con refuerzo de bambú  
Fuente: Propia

### 3.7.4 Diseño de adherencia entre materiales.

Las dimensiones de la viga en escala real son de 0.25 x 0.40 x 3.5 m. Tendrá como refuerzo en estado natural al bambú de 4 “de diámetro, ahora para mejorar la adherencia entre el bambú y el concreto se colocara al bambú una resina epóxica, además se perforara unos agujeros de 2” en cada tramo de bambú, entre nudos con la finalidad que el concreto ingrese por los orificios de bambú y lograr aún mejor adherencia.



Fig.26 – Perforación de 2” entre cayos del bambú para el posterior ingreso del concreto  
Fuente: Propia





Fig.27 –Bambú con perforación de entre cayos  
Fuente: Propia.

Se perforaron orificios de 2” entre cayos en direcciones X Y Z para lograr mayor adherencia simétrica cuando el concreto ingrese.

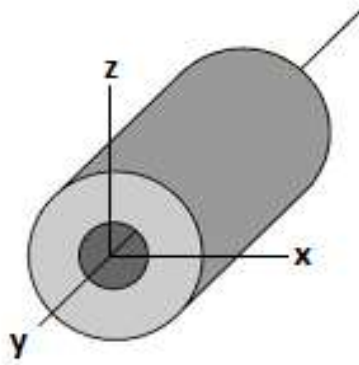


Fig. – Grafico de los 3 ejes del bambú  
Fuente: Propia



Fig.28 –Bambú perforado en sus 3 ejes de simetría para lograr mayor adherencia en dichos ejes de referencia  
Fuente: Propia



Fig.29 –Colocación de Adhesivo Epóxico en el bambú para dejar secar 5 minutos por especificación a fin de lograr mayor adherencia  
Fuente: Propia



Fig.30 –Encofrado de Viga con refuerzo de bambú ya colocado el adhesivo  
Fuente: Propia

### 3.7.5 Diseño de viga con bambú para ensayo.

Se procedió al diseño de la viga, para lo cual se realizó el armado del encofrado de madera como a la elaboración del concreto en obra con una dosificación aproximada de 210 kg/cm<sup>2</sup>.



Fig.31 –Armado de encofrado para la viga  
Fuente: Propia

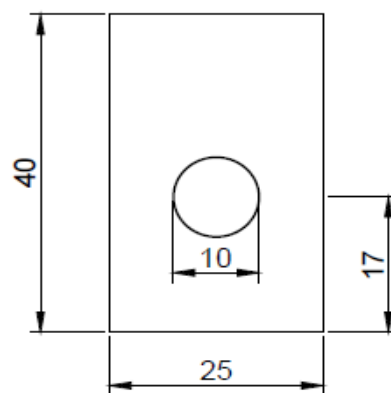


Fig.32 –Detalle de viga y refuerzo  
Fuente: Propia



Fig.33 –Solado en la base de encofrado  
Fuente: Propia



Fig.34 –Colocación del refuerzo de bambú en el encofrado de viga  
Fuente: Propia



Fig.35 –Viga con refuerzo de Bambú para posterior Ensayo  
Fuente: Propia



Fig.36 –Viga 0.25x0.50x3.50 m con refuerzo de Bambú de la especie Guadua Angustifolia  
Fuente: Propia

El ensayo de flexión de la viga de concreto reforzada con bambú se realizará en el laboratorio de estructuras antisísmicas- LEDI de la Pontificia Universidad católica del Perú por lo que se trasladó la muestra después de los 28 días de fraguado del concreto para esperar una mayor resistencia y dureza del concreto para así obtener mejores resultados en el ensayo de flexión.

En las fotografías se muestran el cargado mediante grúa de la muestra y el posterior traslado de tal.



Fig.37 –Se dispuso de un vehículo - grúa para poder transportar las vigas al laboratorio para su posterior ensayo  
Fuente: Propia



Fig.38 –Se dejó la viga en el laboratorio de Estructuras Antisísmicas de la PUCP para su registro y posterior programación de Ensayo  
Fuente: Propia



Programada la fecha del ensayo a flexión en viga de concreto reforzada con bambú, se procedió a la posterior instalación y colocación de la viga según los protocolos de ensayo a flexión con carga puntual en el centro y con sus respectivos sensores adheridos a la viga para poder cuantificar los esfuerzos y deformaciones máximas.



Fig.39 –Viga lista para inicio de ensayo en laboratorio de estructuras Antisísmicas de la PUCP  
Fuente: Propia



Fig.40 –Viga después de Ensayo a flexión con carga puntual en el centro de luz  
Fuente: Propia

### 3.7.6 Determinación de los esfuerzos y deformaciones máximas.

Resultados obtenidos con ayuda de un software especializado en arrojo de datos provenientes del ensayo a flexión de viga de concreto reforzada con guadua de bambú

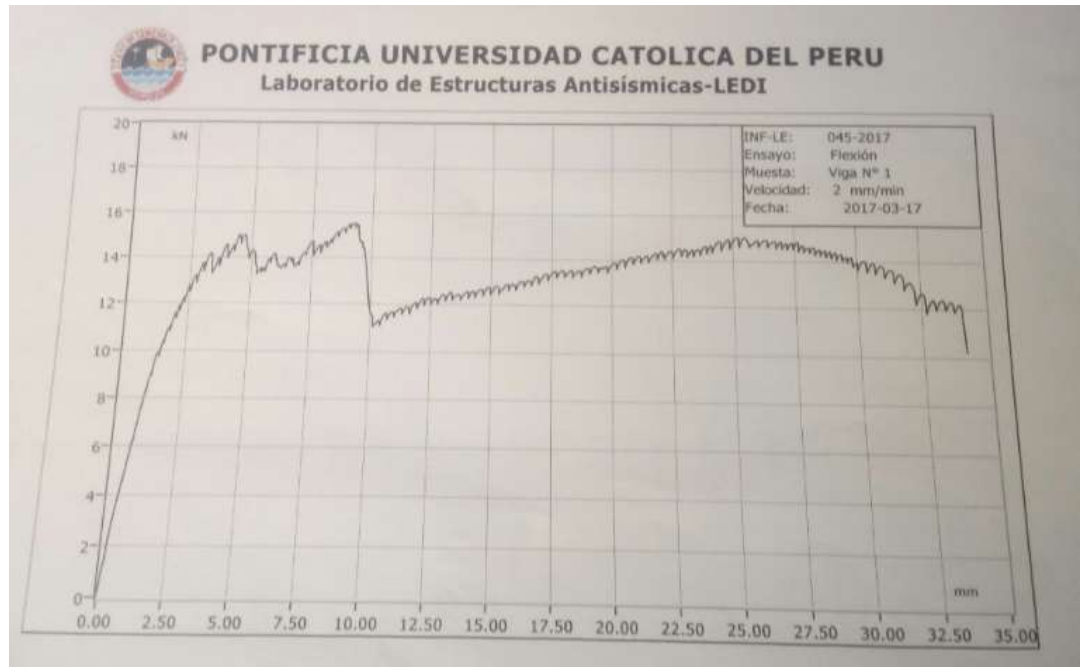


Fig.41 –Diagrama Fuerza - Deformación producto de ensayo a flexión  
Fuente: Propia

Con los resultados obtenidos del ensayo se procede a calcular los esfuerzos máximos de compresión y tracción de la viga de concreto reforzada con bambú, para ello utilizaremos el resultado de la Fuerza Ultima = 15.5 KN

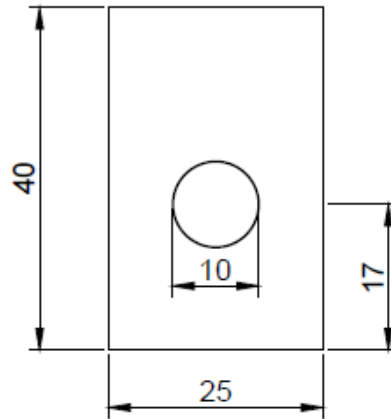


Fig. 42. – Sección de la viga de concreto con refuerzo de bambú  
Fuente: Propia

Con los módulos de elasticidad

$$E_{\text{bambú}} = 184\,843.275 \text{ Kg/cm}^2$$

$$E_{\text{concreto}} = 15100 \times \sqrt{f'_c} = 218819.80 \text{ Kg/cm}^2$$

Y el área de la sección de bambú igual a 24.43cm<sup>2</sup> se procederá a transformar el área de bambú en concreto con la siguiente formula

$$\text{Área concreto} = \text{Área bambú} \times \frac{E_{\text{bambu}}}{E_{\text{concreto}}}$$

Se procederá a calcular la distancia que existe del eje Y al EN (Eje Neutro), la cual se calcula y tiene un valor de 21.297 cm

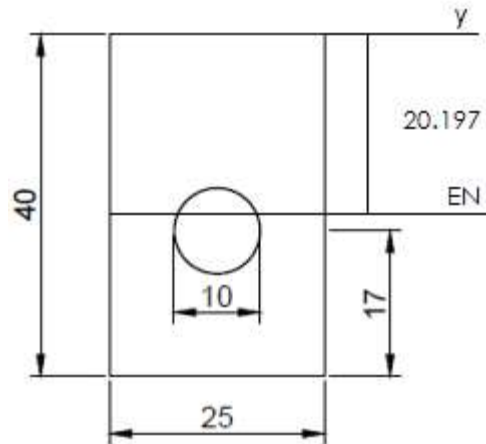


Fig.43 – Sección de la viga de concreto con refuerzo de bambú y ubicación de eje neutro  
Fuente: Propia

Después de ubicado el Eje Neutro se procederá al cálculo de la Inercia con respecto a dicho eje, dicho resultado tiene como valor:

- $I_{EN} = 135310.119 \text{ cm}^4$

Se sabe que:

La carga es aplicada al centro de la luz de la viga:

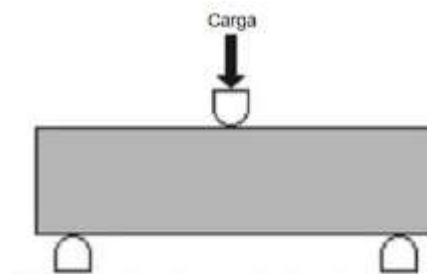


Fig. 44 – Grafico de viga con carga aplicada en el centro de luz  
Fuente: Propia

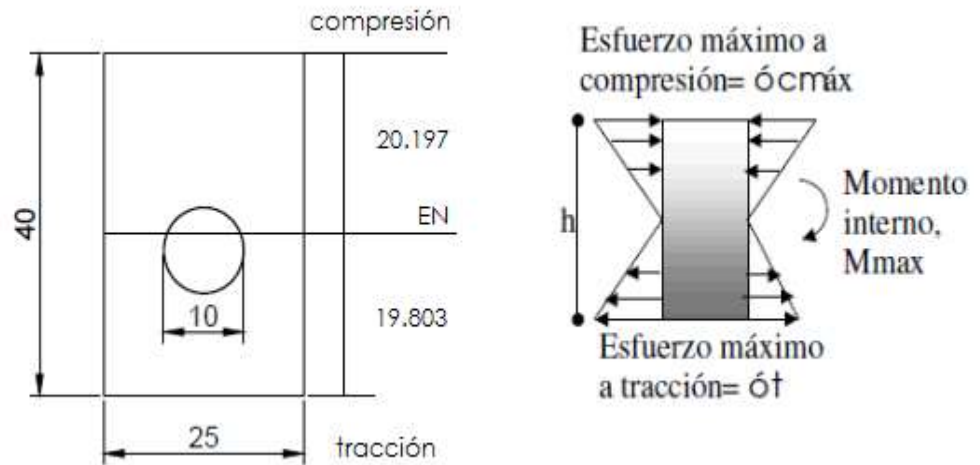


Fig. 45– Sección de la viga de concreto con refuerzo de bambú y ubicación de eje neutro y grafico de esfuerzos  
Fuente: Propia

La distancia del eje neutro para el cálculo del esfuerzo máximo a compresión es de 20.197 cm y para el caso del esfuerzo máximo a tracción es de 19.803 cm.

Fórmula aplicada para el cálculo del esfuerzo máximo a tracción compresión:

$$\partial Max = \frac{M \times c}{I} \dots (1)$$

- $\partial Max$  = Esfuerzo máximo de compresión o tracción
- $M$  = Momento ultimo
- $C$  = Distancia del eje neutro a la zona límite de tracción o compresión
- $I$  = Momento de inercia en el Eje neutro

Se sabe por estática que:

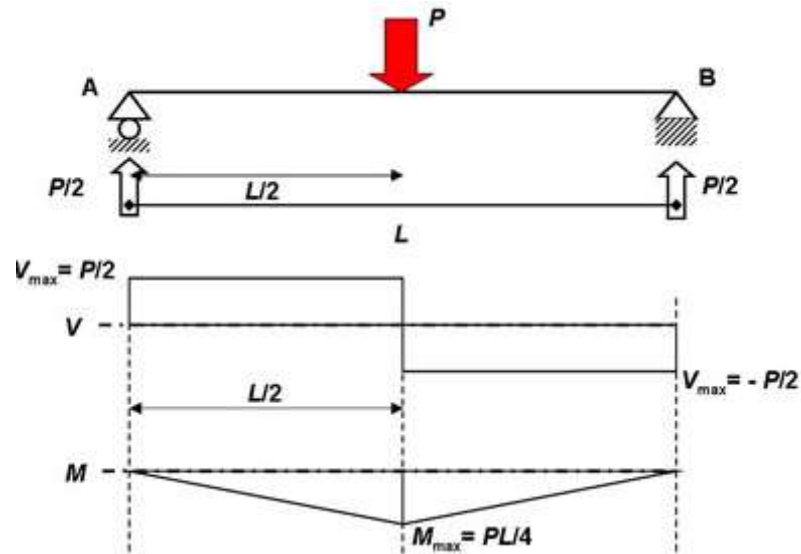


Fig. 46. – Grafico de cortante y momentos para carga puntual en el centro de luz  
Fuente: Propia

Del grafico de los resultados obtenidos en el ensayo a flexión en el laboratorio de materiales de la PUCP se obtuvo que la fuerza ultima tiene un resultado de 15.5 KN.

$$M_{ult} = \frac{P \times L}{4}$$

- P = Carga Ultima obtenida del ensayo a flexión
- L = longitud de la viga

$$M_{ult} = \frac{15.5KN \times 3.50}{4}$$

Llevado a unidades de toneladas – m

$$M_{ult} = 1.383 \text{ T- m}$$

Finalmente se procede al cálculo de los máximos esfuerzos en tracción y compresión aplicando la formula (1)

$$\partial \text{Max C} = \frac{1.383 \times 20.197 \times 10^5}{135310.119}$$

$$\partial \text{Max c} = 20.64 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\partial \text{Max T} = \frac{1.383 \times 19.803 \times 10^5}{135310.119}$$

$$\partial \text{Max t} = 20.25 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

## IV. Resultados

### 4.1 Comportamiento estructural

Se determinó el comportamiento estructural de la viga reforzada con bambu, mediante ensayo a flexión con carga puntual en el centro de luz, en el laboratorio de estructuras, dicho comportamiento se observa en la figura N°46, así como los esfuerzos y deformaciones máximas descritas en las tablas N° 1 y N°2.

En el punto 1, la viga de concreto junto con el refuerzo en bambú trabajan de manera elástica, entre el punto 1 y 2 se inicia el desarrollo de la viga de concreto hasta alcanzar un esfuerzo último en el punto 2 con un valor de fuerza de 15.5 KN y el inicio de la primera falla de la viga de concreto hasta el punto 3 donde además se inicia el desarrollo del refuerzo de bambú, donde se desarrollan las fibras orto trópicas del refuerzo de bambú hasta alcanzar un esfuerzo ultimo 2 ( esfuerzo ultimo únicamente del refuerzo) en el punto 4 con una fuerza de 14.8 KN, al ser el bambú un material compuesto por fibras que tiene un comportamiento orto trópico.

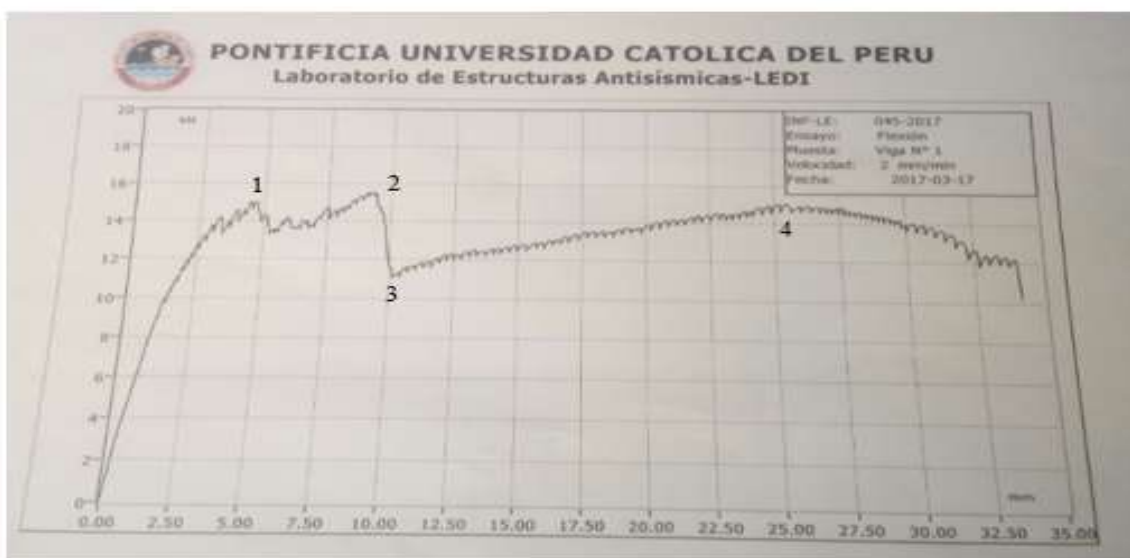


Fig. N°46- Curva fuerza-deformación de ensayo a flexión de viga reforzada con bambú en laboratorio.



### **Tabla n° 01.**

*Propiedades en una viga de concreto reforzada con acero para cálculo de ductilidad.*

Base	30 cm
Altura	55 cm
Área de acero compresión	10.14 cm <sup>2</sup>
Área de acero tracción	15.21 cm <sup>2</sup>
Módulo elasticidad concreto	251788.33 kg/cm <sup>2</sup>
Módulo de elasticidad del acero	2039432.43 kg/cm <sup>2</sup>
Curvatura de agrietamiento	0.0064 (RAD/MM)
Curvatura ultima	0.03290 (RAD/MM)
Ductilidad	5.14

Enríquez, E. (2006) Diagrama de momento curvatura aproximado [figura] Recuperado de <https://es.slideshare.net/ERLYPOPEYE/diagrama-momento-curvatura-aproximado>

Nota: Ductilidad obtenida de una viga de concreto reforzada con acero, con similares dimensiones para ser comparada con las de la viga reforzada con bambú.

## **4.2 Esfuerzos máximos**

### **Tabla n° 02**

*Esfuerzos máximos obtenidos por ensayo a flexión con carga en el centro de luz de la muestra 01.*

<b>Esfuerzos</b>	<b>Viga - bambu</b>	<b>Viga- acero</b>
ESFUERZO MÁXIMO EN COMPRESIÓN	20.64 Kg/cm <sup>2</sup>	40.66 Kg/cm <sup>2</sup>
ESFUERZO MÁXIMO EN TRACCIÓN	20.25 Kg/cm <sup>2</sup>	39.26 Kg/cm <sup>2</sup>

Nota: Esfuerzos máximos calculados a partir de la gráfica Fuerza –Deformación, de la viga de concreto reforzada con bambú en laboratorio y de viga diseñada por ordenador.

### 4.3 Deformaciones máximas

**Tabla n° 03.**

*Deformaciones máximas obtenidas por ensayo a flexión con carga en el centro de luz de muestra 02*

<b>Deformación</b>	<b>Viga-bambu</b>	<b>Viga-acero</b>
Deformación máxima C/L	5 mm	2.122 mm

Nota: De una viga de concreto con las mismas dimensiones 25 x 40 cm, pero utilizando como refuerzo en tracción 2 fierros de ½” pulgada, área representativa de una viga normal de medidas a escala real de 3.50 metros de longitud. Resultados obtenidos por ordenador, para una fuerza de 1.5 Ton en el centro de luz.

#### 4.4 Gráficos.

Gráficos adicionales, que nos ayudan a entender el comportamiento elástico del bambu, los cuales fueron obtenidos al ensayar un espécimen de bambu en el laboratorio de ensayo de materiales de la UNI.

*Diagrama fuerza- deformación de espécimen de corbatín de bambú producto de ensayo a tracción.*

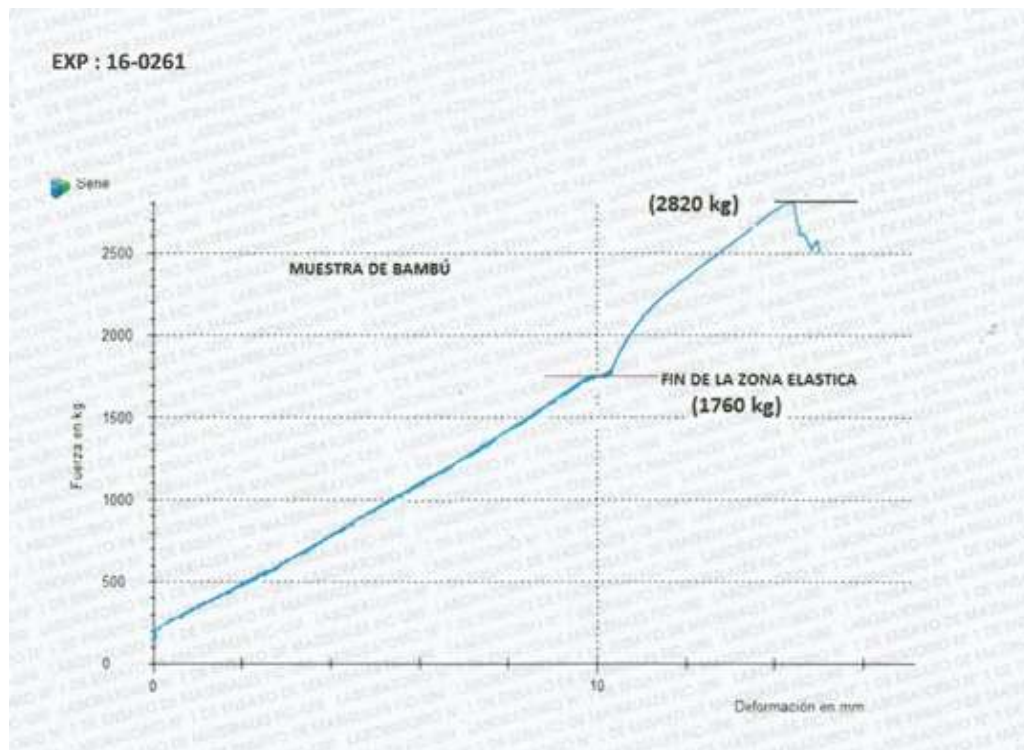


Fig. N°47- Curva de fuerza- deformación en ensayo a tracción de espécimen de bambú

Nota: En el gráfico se aprecia el comportamiento elástico del espécimen de bambú al ser estirado por la máquina de ensayo uniaxial en el cual se aprecia el desarrollo en estado elástico, donde se aprecia las fibras de bambú paralelas a la fuerza iniciar su separación hasta

llegar al fin de la zona elástica para pasar a la zona plástica o inelástica donde el espécimen comenzará a desarrollar fallas en sentido perpendicular a la fibra hasta llegar a la rotura alcanzando una fuerza máxima de 2820 kg.

*Fuerzas en ensayo a tracción de espécimen de bambú.*

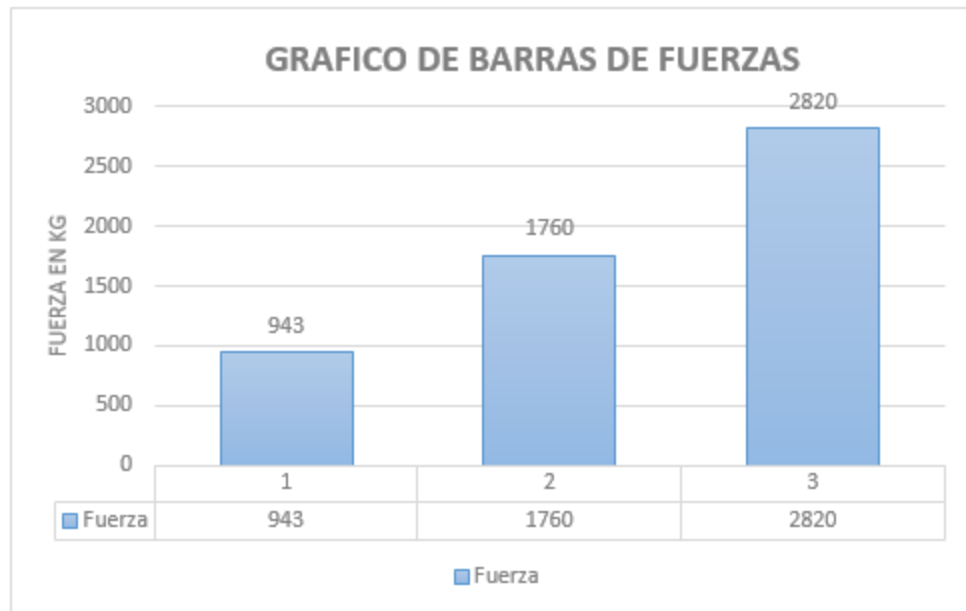


Fig. N°48- Diagrama de barras de las fuerzas en ensayo a tracción

Nota: Grafico en el cual se muestra las fuerzas que soporta el espécimen de bambú desde el límite proporcionalidad, límite de fluencia y estado último o máximo

1: Fuerza en el límite de proporcionalidad = 943 Kg

2: Fuerza en el límite de fluencia = 1760 Kg

3: Fuerza en estado ultimo o máximo = 2820 Kg

*Fuerzas y esfuerzos a tracción en espécimen de bambú.*



Fig. N°49- Diagrama de barras de las fuerzas y esfuerzos en ensayo a tracción

Nota: Grafico en el cual se muestra los esfuerzos para cada fuerza que soporta el espécimen de bambú desde el límite proporcionalidad, límite de fluencia y estado último o máximo

1: Esfuerzo en el límite de proporcionalidad = 5.13 Kg/mm<sup>2</sup>

2: Esfuerzo en el límite de fluencia = 9.58 Kg/mm<sup>2</sup>

3: Esfuerzo en estado ultimo o máximo = 15.34 Kg/mm<sup>2</sup>

## **V. Discusión de resultados**

### **5.1 Ensayo a tracción de espécimen de bambú.**

En lo que respecta a los resultados obtenidos del ensayo experimental en tracción del espécimen de bambú en el que se obtuvo el módulo de elasticidad como principal dato a tener en cuenta, se obtuvo un valor de 184 843.275 Kg/cm<sup>2</sup> el cual tiene un valor similar aproximado a los obtenidos por Sekar A.C. (1961) en la India para un bambú de la especie Bambusa el cual arrojó un resultado de 182 000. 000 Kg/cm<sup>2</sup>, y también resultado cercano a las investigaciones de otros especímenes de bambú de la especie guadua, por lo que se manifiesta y se corrobora las propiedades mecánicas de esta especie de bambú, tanto en resistencia como en ductilidad.

El bambú además tiene un módulo de elasticidad cercano a la del concreto es por ello que tendrán deformaciones similares al aplicarles carga.

Asimismo el porcentaje de elongación del espécimen de bambú resultó ser del 16 % mismo que se asemeja a los resultados obtenidos mediante ensayo a tensión, realizado en la Universidad Nacional de Colombia para varillas de acero corrugado de 3/8" y 5/8" por (Sarah Carrasco, 2016) en el cual se obtuvo un porcentaje de elongación de 18% aproximadamente, para ambas varillas.

### **5.2 Comportamiento en flexión del bambú como refuerzo del concreto.**

En la actualidad no se cuenta con mucha información de ensayos a flexión con carga en el centro de luz de una viga de concreto utilizando como refuerzo principal a un bambú de la especie guadua en su estado natural de caña propiamente dicha y a escala natural.

## **VI. Conclusiones**

### **6.1 Comportamiento estructural**

Se ha determinado, que el comportamiento estructural en el ensayo a flexión de la viga reforzada con bambú, el refuerzo de bambú siguió desarrollándose tal y como muestra el Grafico N° 46, después de ocurrida la falla en el concreto, desde los 10 mm hasta los 32.5 mm, con un valor de ductilidad de 3.25, mientras que en la viga de concreto reforzada con acero (M-3) se muestra una ductilidad de curvatura de 5.14 tal como se indica en la tabla N° 01; ambos resultados muestran, el comportamiento dúctil de ambos materiales de refuerzo, aunque el acero es 58% mayor que el del bambú.

### **6.1 Esfuerzos máximos**

Se ha determinado que la viga con refuerzo de bambú (M -1) presenta los siguientes esfuerzos máximos a flexión de 20.64 kg/cm<sup>2</sup> en compresión y 20.25 kg/cm<sup>2</sup> en tracción, en compresión y tracción, tal y como se indica en la tabla N°02, y que la viga con refuerzo convencional (M -2) presenta esfuerzos máximos en flexión de 40.66 Kg/cm<sup>2</sup> en compresión y de 39.26 kg/cm<sup>2</sup> en tracción, como se indica también en la tabla N°02, se verifica que los esfuerzos que soporta la viga con refuerzo convencional son 50 % de más que los de la viga con refuerzo de bambú, a pesar de ello la viga con refuerzo en bambú soporta 107.14 kg/m<sup>2</sup> la cual vendría hacer una carga mínima de losa, por lo que la viga con refuerzo de bambú se podría utilizar como una viga secundaria, de amarre o como una viga que soporte sobrecargas mínimas de techo.

### **6.3 Deformaciones máximas**

La máxima deformación en el centro de luz de la viga reforzada con bambú (M – 1) es de 5 mm, y en la viga de concreto con refuerzo convencional (M -2) es de 2.11 mm por lo que se concluye que la flecha máxima en la viga con refuerzo con acero representa un 42.2 % que de la viga reforzada con bambú, esto nos habla de la buena elasticidad y ductilidad del bambú como refuerzo.



## **VII. Recomendaciones**

- Se recomienda seguir investigando y sobre todo realizar ensayos experimentales del bambú de la especie guadua angustifolia como material de refuerzo en vigas, para tener mayor información sobre el comportamiento del bambú ante esfuerzos en flexión.
- Colocar una varilla de bambú de similar dimensión en la parte superior a modo de refuerzo negativo con el fin de mejorar el comportamiento en flexión y obtener mayor resistencia para los esfuerzos en tracción y flexión.
- Se recomienda profundizar sobre el tema de la adherencia, entre el bambú y el concreto utilizando nuevos aditivos con el fin de obtener un mejor contacto entre las varillas de bambú y la mezcla de concreto ,para que trabajen de manera conjunta a fin de mejorar el desempeño del refuerzo y obtener mejor respuesta concerniente a los desplazamientos.

## VIII. Referencias

Añazco M. (2013). Estudio de Vulnerabilidad al cambio climático orientado a la caña guadua en la región costa de Ecuador y Perú. Quito: INBAR

Bambú, la madera ecológica. (2016). Green Área. Líbano: Lebanese Company for Information & Studies.

Recuperado de <http://greenarea.me/es/102630/bambu-la-madera-ecologica/>

Carrasco Ortiz, S., & Díaz Tamayo F., & Prieto Novoa L. (2016). Informe 2: Ensayo a tensión.

Recuperado de

[https://www.academia.edu/25732474/INFORME\\_2\\_ENSAYO\\_DE\\_TENSI%C3%93N](https://www.academia.edu/25732474/INFORME_2_ENSAYO_DE_TENSI%C3%93N)

Castrillón y Malaver (2004), tesis titulada “Procedimientos de ensayo para la determinación de las propiedades físico mecánicas de la guadua”

Cely Moreno, L., & Hernández Rojas, W., & Gutiérrez Junco, O. (2012). Caracterización de la Guadua Angustifolia Kunth cultivada en Miraflores (Boyacá) de acuerdo con la NSR-10. Facultad de Ingeniería, 21 (33), 53-71

Ciro Velásquez, H., & Osorio Saraz, J., & Vélez Restrepo, J. (2005). Determinación de la resistencia mecánica a tensión y cizalladura de la guadua angustifolia kunth. Fac.Nal. Agr.Medellín, 58 (01) 2709-2715

Dirección general de competitividad agraria. (2008). Plan nacional de promoción del bambú. Perú: Ministerio de Agricultura.

Recuperado de <https://www.serfor.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Plan%20Nacional%20del%20Bambu.pdf>

El bambú. (s.f.). Bambú Guazú. Argentina: Bambú guazú  
Recuperado de <https://www.bambuguazu.com/el-bambu/>

Estrada, Martin; Ramírez, Fernando; Maldonado, Andrea; Correal Juan F. (2010) caracterización mecánica de las fibras del bambú colombiano, guadua angustifolia. Universidad Nacional de Colombia, Universidad de los Andes, Colombia-Pre simposio de bambú y madera laminada

Eugenia González, C., & Jairo A. Osorio, S., & Eduard A. García, G. (2002). Resistencia a la flexión de la guadua angustifolia kunt a escala natural. Fac.Nal.Agr.Medellín, 55 (02) 1555-1572

Gonzales Betancourt, H., & Montoya Arango, J., & Bedoya Sánchez, J. (2007). Resultados del ensayo a flexión en muestras de bambú de la especie *guadua angustifolia kunth*. Universidad Tecnológica de Pereira, *Scientia et Technica* Año XIII, No 35 503-508.

López, Luis Felipe, & Correal, Juan Francisco. (2009). Estudio exploratorio de los laminados de bambú *Guadua angustifolia* como material estructural. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 11(3), 171-182. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2009000300001>

Luna, Patricia, Lozano, Jorge, & Takeuchi, Caori. (2014). Determinación experimental de valores característicos de resistencia para *Guadua angustifolia*. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 16(1), 77-92. Recuperado el 25 de noviembre de 2013, de <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2014005000007>

Pascual, M (2008). El bambú, una alternativa sostenible en la solución de la vivienda social. *Ciencia en su pc*.

Recuperado de <https://www.redalyc.org/html/1813/181320674011/>

Rodrigo H. Vega. (2012). Los beneficios ambientales del bambú. Argentina: Sustentator.

Recuperado de <http://www.sustentator.com/blog-es/2012/06/los-beneficios-ambientales-del-bambu/>

Rodríguez, R. (enero- junio 2006). El bambú como material de construcción. Conciencia Tecnológica.

Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/944/94403115.pdf>

Sánchez Medrano, María Teresa, Espuna Mújica, José Adán, & Roux Gutierrez, Rubén Salvador. (2016). El bambú como elemento estructural: la especie *Guadua amplexifolia*. *Nova scientia*, 8(17), 657-677. Recuperado en 07 de diciembre de 2018, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S200707052016000200657&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S200707052016000200657&lng=es&tlng=es).

Takahashi. S (s.f.). El bambú y su potencial para el desarrollo sostenible en el Perú: Universidad Científica del Sur. Perú: Perú bambú.

Recuperado de [https://www.agrobanco.com.pe/pdf\\_cpc/bambu\\_josefinatakahashi.pdf](https://www.agrobanco.com.pe/pdf_cpc/bambu_josefinatakahashi.pdf)

Vélez, S. (2005). La *guadua angustifolia*, El bambú colombiano. Actualidad y futuro de la arquitectura de bambú en Colombia.

Recuperado de

[https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/93442/06\\_ESD\\_Cos\\_pp\\_35\\_81.pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/93442/06_ESD_Cos_pp_35_81.pdf)

Zaragoza Hernández, I., & Ordoñez Candelaria, V., & Bárcenas Pazos, G., & Borja de la Rosa, A., & Zamudio Sánchez, F. (2012). Propiedades físico mecánicas de una guadua mexicana (guadua aculeata). *Maderas. Ciencia y tecnología* 21 (33), 53-71.