

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



VIGAS DE CONCRETO REFORZADAS CON BAMBÚ

***(Guadua Angustifolia)* PARA CONSTRUCCIONES RURALES**

Presentado por:

WILDER ROGER VARGAS VASQUEZ

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO AGRÍCOLA

LIMA – PERÚ

2016

DEDICATORIA

A mi padres Hilario y Gabina por su incondicional apoyo y confianza.

A mi compañera Arelis, que siempre me ha acompañado y apoyado.

En memoria de mamá Nicolasa y Delfina.

AGRADECIMENTOS

A Dios que siempre me ha acompañado y ayudado.

Al Mg. Sc. Ing. Alfonso Cerna Vasquez, patrocinador de la tesis, por su apoyo, orientación y acompañamiento en la elaboración de la tesis.

A la Ing. Caori Patricia Takeuchi de la Universidad Nacional de Colombia por su colaboración con el material bibliográfico.

A todas las personas que de una u otra forma colaboraron con la ejecución de la tesis, las cuales me brindaron sus conocimientos y su interés para el buen desarrollo de esta tesis.

A mis amigos que me ofrecieron su apoyo incondicional.

RESUMEN

El estudio muestra experimentalmente las propiedades mecánicas del bambú (*Guadua angustifolia*) y su utilización como refuerzo en vigas, lo cual podría facilitar su utilización como elemento estructural en las construcciones de viviendas rurales.

El objetivo de la presente investigación fue estudiar el comportamiento de las vigas de concreto reforzadas con bambú sometidas a esfuerzos de flexión.

Inicialmente se realizaron ensayos mecánicos al bambú para determinar la resistencia a tensión, compresión y corte, y se complementaron con ensayos físicos (hinchamiento y contenido de humedad).

Posteriormente se realizaron ensayos de adherencia, para lo cual se elaboraron 48 especímenes (probetas de concreto de 4"x8" embebidas en su interior tablillas de bambú impermeabilizadas con asfalto líquido RC-250) de los cuales 24 fueron con tablillas acanaladas y las restantes con tablillas lisas además se les añadió arena media a la mitad de cada tipo de tablilla (la arena media se mezcló con el asfalto para luego impermeabilizar la tablilla), y se determinaron los valores de esfuerzo de adherencia.

Finalmente, las vigas reforzadas con bambú fueron sometidas a flexión mediante la aplicación de cargas concentradas en los tercios de la luz libre, obteniéndose la resistencia a la tracción por flexión, el momento último y la carga de falla.

Los resultados mostraron un mejor comportamiento de las tablillas acanaladas e impermeabilizadas con asfalto y aditamento de arena media, llegando a un esfuerzo de adherencia de 6,7 kg/cm²

El comportamiento de las vigas reforzadas con bambú presentó un incremento del orden de 2,5 veces la resistencia de tracción en comparación a una viga sin refuerzo.

Palabras claves: Vigas reforzadas, bambú, esfuerzo a flexión, resistencia a tracción.

ABSTRACT

In this work we have studied, in the experimental way, the mechanical properties of bamboo (*Guadua angustifolia*) and its use as reinforcement in beams, which could facilitate its use as a structural element in rural housing constructions.

The objective of the present investigation was to study the behavior of bamboo reinforced concrete beams subjected to bending stresses.

Mechanical tests were initially performed on bamboo to determine tensile strength, compression and shear strength, and were supplemented with physical tests (swelling and moisture content).

Subsequently, adhesion tests were carried out, for which 48 specimens (4 "x8" concrete specimens were embedded inside of bamboo boards waterproofed with liquid asphalt RC-250) which 24 were with grooved splints and the remaining with Smooth slabs. in addition to this, half sand was added to the middle of each type of slab (the middle sand was mixed with the asphalt to then waterproof the slab), and the values of bond strength were determined.

Finally, the bamboo-reinforced beams were subjected to flexion by the application of concentrated loads in the thirds of the unsupported span, obtaining the flexural tensile strength, the ultimate moment and the load of failure.

The results showed a better behavior of the grooved and waterproofed boards with asphalt and medium sand addition, reaching an adhesion stress of 6,7 kg / cm²

The behavior of the bamboo-reinforced beams increased by 2,5 times the tensile strength compared to a non-reinforced beam.

Key words: Reinforced beams, bamboo, flexural strength, tensile strength.

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN	
II.	REVISIÓN DE LITERATURA	
2.1	LA GUADUA	
2.2	BAMBÚ (GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH)	
2.2.1	Morfología general del bambú <i>Guadua angustifolia</i>	
2.2.2	Anatomía del culmo del bambú <i>Guadua angustifolia</i>	
2.2.3	Enfermedades y plagas	
2.2.4	Preservación de <i>Guadua angustifolia</i>	
2.2.5	Propiedades físicas del bambú.....	
2.2.6	Comportamiento del bambú en movimientos sísmicos.....	
2.2.7	Comportamiento físico mecánico de la <i>Guadua angustifolia</i>	
2.2.8	El bambú <i>Guadua angustifolia</i> como material compuesto	
2.3	VALOR CARACTERÍSTICO	
2.4	ESFUERZO ADMISIBLE	
2.5	MÓDULO DE ELASTICIDAD	
2.6	ADHERENCIA DEL REFUERZO	
2.6.1	Mecanismos que originan la adherencia.....	
2.6.2	Esfuerzo de adherencia en una viga	
2.7	BAMBÚ COMO REFUERZO DEL CONCRETO.....	
2.7.1	Mecanismo de la adherencia entre el bambú y concreto	
2.7.2	Limitaciones en el área de refuerzo.....	
2.8	ANTECEDENTES DEL CONCRETO REFORZADO CON BAMBÚ	
2.9	DISEÑO EXPERIMENTAL Y MÉTODOS ESTADÍSTICOS	
2.9.1	Diseño factorial multinivel	
2.9.2	Análisis de la varianza.....	
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	
3.1	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	
3.2	DESPACHO, RECEPCIÓN Y ALMACENAMIENTO	
3.3	OBTENCIÓN DE PROBETAS.....	44
3.4	CARACTERIZACIÓN DEL BAMBÚ	46

3.4.1	Propiedades Físicas	
3.4.2	Propiedades Mecánicas.....	
3.4.3	Determinación de los valores máximos admisibles.....	
3.4.4	Módulo de elasticidad.....	
3.5	ENSAYO DE ADHERENCIA BAMBÚ – CONCRETO.....	
3.5.1	Fabricación de los especímenes (Tablillas de bambú – probeta de concreto.....	
3.5.2	Características del ensayo.....	
3.5.3	Análisis de datos del ensayo de adherencia.....	
3.6	ENSAYO DE VIGAS DE CONCRETO REFORZADAS CON BAMBÚ	
3.6.1	Resistencia a la tracción por flexión.....	
3.6.2	Fabricación de vigas	
3.6.3	Características del ensayo.....	
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIONES	
4.1	HINCHAMIENTO	
4.2	CONTENIDO DE HUMEDAD (CH)	
4.3	TENSIÓN PARALELA A LA FIBRA (T)	
4.4	COMPRESIÓN PARALELA A LAS FIBRAS (C)	
4.5	CORTE PARALELO A LA FIBRA (V).....	
4.6	ESFUERZO ADMISIBLE	
4.7	MÓDULO DE ELASTICIDAD	
4.7.1	Tensión paralela a la fibra	
4.7.2	Compresión paralela a la fibra.....	
4.8	ADHERENCIA ENTRE EL BAMBÚ Y EL CONCRETO.....	
4.8.1	Análisis ANOVA.....	
4.8.2	Prueba POST HOC.....	
4.9	VIGAS DE CONCRETO REFORZADAS CON BAMBÚ	
V.	CONCLUSIONES.....	
VI.	RECOMENDACIONES	
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	
VIII.	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación taxonómica de la guadua
Tabla 2: Factores climáticos que condicionan el crecimiento de la guadua.....
Tabla 3: Coeficientes de modificación por contenido de humedad.....
Tabla 4: Factores de reducción
Tabla 5: Promedios de las fuerzas de arrancamiento aplicadas (kg).....
Tabla 6: Pautas generales para diseñar un experimento
Tabla 7: Plan experimental para la caracterización de la Guadua angustifolia
Tabla 8: Cantidad de muestras y características del ensayo de hinchamiento
Tabla 9: Cantidad de muestras para los ensayos de contenido de humedad
Tabla 10: Distribución de las probetas ensayadas a tensión.....
Tabla 11: Distribución de las probetas ensayadas a compresión.....
Tabla 12: Distribución de las probetas ensayadas a corte
Tabla 13: Características y dimensiones de las tablillas de bambú entero
Tabla 14: Características y cantidades de las tablillas de bambú entero
Tabla 15: Factores y niveles de factor
Tabla 16: Clasificación de los datos según el factor y sus niveles correspondientes
Tabla 17: Resultados de contraste de hipótesis
Tabla 18: Característica de las vigas
Tabla 19: Incremento porcentual de los parámetros de las probetas sumergidas.....
Tabla 20: Máximos incrementos promedios producidos en las probetas de bambú
Tabla 21: Máximos incrementos promedios producidos en las probetas de bambú
Tabla 22: Resumen de resultados y análisis estadístico para el contenido de humedad
Tabla 23: Esfuerzo último promedio de tensión paralela a las fibras del culmo.....
Tabla 24: Comparativo con otras investigaciones promedio.....
Tabla 25: Esfuerzo último promedio de compresión paralela a las fibras del culmo.....
Tabla 26: Comparativo con otras investigaciones promedio.....
Tabla 27: Esfuerzo último promedio de corte paralelo a las fibras del culmo
Tabla 28: Comparativo con otras investigaciones promedio.....

Tabla 29: Valor característico y esfuerzo admisible para cada tipo de ensayo
Tabla 30: Esfuerzos admisibles mínimos
Tabla 31: Módulo de elasticidad promedio a tensión paralela a las fibras.....
Tabla 32: Módulo de elasticidad promedio a compresión paralela a las fibras.....
Tabla 33: Comparativo con otras investigaciones
Tabla 34: Valores recomendados del módulo de elasticidad
Tabla 35: Ensayo de adherencia entre el bambú y el concreto.....
Tabla 36: Análisis de varianza multifactorial para el esfuerzo de adherencia
Tabla 37: Comparaciones múltiples – Tipo de tablilla.....
Tabla 38: Comparaciones múltiples – Tipo de tratamiento.....
Tabla 39: Resumen de los ensayos de adherencia.....
Tabla 40: Comparativo con otras investigaciones promedio.....
Tabla 41: Valores de resistencia a tracción por flexión.....
Tabla 42: Máximos momentos y resistencias teóricas y experimentales

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Rodal de Guadua angustifolia en La Florida, Cajamarca	
Figura 2: Partes de la Guadua angustifolia.....	
Figura 3: Partes del culmo o tallo de la Guadua angustifolia	
Figura 4: Haz vascular del bambú	
Figura 5: Distribución de fibras en la sección transversal del bambú	
Figura 6: Haces vasculares en la región del nudo	
Figura 7: Bambú atacado por el Dinoderus minutus	
Figura 8: Falla por compresión paralela a las fibras.....	
Figura 9: Distribución de las fibras de bambú en el espesor de la pared	
Figura 10: Curva esfuerzo (σ) vs deformación (ϵ)	
Figura 11: Viga sin adherencia entre acero y el concreto.....	
Figura 12: Equilibrio de esfuerzos de adherencia	
Figura 13: Esfuerzos de adherencia en un segmento de viga	
Figura 14: Tablilla de bambú	
Figura 15: Mecanismo de interacción bambú-concreto	
Figura 16: Resistencia a la adherencia vs longitud de la parte embebida en el concreto...	
Figura 17: Deflexiones a largo plazo.....	
Figura 18: Desarrollo de grietas en vigas sin estribos	
Figura 19: Principios de diseño de experimentos.....	
Figura 20: Diagrama general del proceso de investigación.....	
Figura 21: Almacén de bambú en Lurín.....	
Figura 22: Recepción y marcación del bambú	
Figura 23: Formato para la caracterización de culmos y esquema de corte de probetas....	
Figura 24: Nomenclatura para la identificación de las probetas usadas en cada ensayo....	
Figura 25: Corte y preparación de las probetas	
Figura 26: Probetas de bambú para los ensayos	
Figura 27: Probetas elaboradas para el ensayo de hinchamiento	
Figura 28: Medición de las dimensiones y peso.....	

Figura 29: Procedimiento para el ensayo de contenido de humedad	
Figura 30: Identificación de probetas para los ensayos a tensión paralela	
Figura 31: Sección de la probeta para los ensayos a tensión paralela	
Figura 32: Ensayo de tensión paralela	
Figura 33: Falla típica de las probetas en el ensayo de tensión paralela	
Figura 34: Identificación de probetas para los ensayos a compresión	
Figura 35: Ensayo de compresión paralela	
Figura 36: Fallas en la probetas a compresión	
Figura 37: Dispositivos para someter a carga las cuatro secciones longitudinales	
Figura 38: Ensayo de corte paralelo	
Figura 39: Falla típica del ensayo de corte paralelo	
Figura 40: Dispositivo (Dial) para medir la deformación en el ensayo de tensión	
Figura 41: Ajuste lineal de la curva para determina	
Figura 42: Dispositivo (Dial) para medir la deformación en el ensayo de compresión	
Figura 43: Ajuste lineal para determinar el módulo de elasticidad	
Figura 44: Tipos de tablillas de bambú utilizadas en el ensayo de adherencia	
Figura 45: Fabricación de tablillas de bambú entero lisas y acanaladas	
Figura 46: Impermeabilización de tablillas de bambú entero	
Figura 47: Secado de tablillas impermeabilizadas con asfalto RC-250	
Figura 48: Tablillas impermeabilizadas con la mezcla de arena media y asfalto líquido ..	
Figura 49: Mezcla de arena media y asfalto liquido	
Figura 50: Especímenes para el ensayo de adherencia	
Figura 51: Proceso de elaboración de especímenes	
Figura 52: Desencofrado y curado de los especímenes	
Figura 53: Nomenclatura para identificar los especímenes	
Figura 54: Ensayo de adherencia entre el bambú y concreto	
Figura 55: Habilitado del refuerzo y encofrado de las vigas	
Figura 56: Viga con refuerzo de varillas de acero de 3/8" (cuantía 0.82%)	
Figura 57: Viga con refuerzo de varilla de acero de 3/8" sin estribos (cuantía 0.82%)	
Figura 58: Viga con refuerzo de tablillas de bambú (cuantía 2.3%)	
Figura 59: Viga con refuerzo de tablillas de bambú sin estribos (cuantía 2.3%)	

Figura 60: Desencofrado y curado de las vigas	
Figura 61: Diagrama de esfuerzos solicitantes	
Figura 62: Elementos de transferencia de cargas y apoyos	
Figura 63: Distribución de los esfuerzos	
Figura 64: Distribución F, para cada tipo de prueba	
Figura 65: Espécimen con tablilla acanalada e impermeabilizada	
Figura 66: Tablillas sin impermeabilizar y varilla de acero	
Figura 67: Estado final de fisuración de las vigas de flexión	
Figura 68: Corte de la viga y sección analizada	

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1.....	115
ANEXO 2.....	116
ANEXO 3.....	117
ANEXO 4.....	121
ANEXO 5.....	123
ANEXO 6.....	124
ANEXO 7.....	125
ANEXO 8.....	131
ANEXO 9.....	134
ANEXO 10.....	145
ANEXO 11.....	159
ANEXO 12.....	173
ANEXO 13.....	175
ANEXO 14.....	183

I. INTRODUCCIÓN

El amplio uso del bambú como material de construcción se remonta a miles de años, siendo utilizado principalmente en países orientales. En el Perú, el uso del bambú data de la época pre inca donde se han encontrado vestigios en las culturas Mochica y Chimú (2000 años ADC) en la costa, posteriormente en la época colonial y republicana se mejoraron las técnicas en las construcciones de las viviendas de quincha donde el bambú se utilizaba como entramado en las paredes gracias a sus características de resistencia, flexibilidad y ligereza con el objeto de prevenir los daños que causan los frecuentes movimientos sísmicos en las edificaciones y consecuentemente en la vida de los pobladores, en especial de la costa del Océano Pacífico.

La poca información en nuestro medio sobre su comportamiento físico – mecánico y estructural del bambú (*Guadua angustifolia*) en comparación con el acero y concreto, hace que los arquitectos e ingenieros tomen poco interés a pesar de ser un material renovable y de fácil obtención; sin embargo en la actualidad hay investigaciones que podrían revertir esta situación.

En la actualidad se cuenta con la norma E.100 sobre bambú, pero esta norma no menciona nada con respecto a la construcción del bambú asociado a otros materiales; asimismo se tienen especificaciones y normas para la construcción de vigas con diferentes materiales homogéneos y compuestos, tales como el acero, madera y concreto armado con acero; pero en el caso del bambú asociado al concreto hay poca información que sustente dicha posibilidad.

López (2010) señala que, debido a que nuestro país cuenta con el bambú (*Guadua Angustifolia*), como recurso abundante distribuido a lo largo de nuestro territorio, desde Piura a Tacna, ocupando aproximadamente 40 000 km², lo cual representa el 3,12 por ciento del territorio nacional ; esta debe ser tomada en consideración como una alternativa de construcción sostenible.

El bambú posee una alta resistencia a la tracción, una gran resistencia a flexión y capacidad de deformación, esto hace posible que se la utilice como refuerzo en elementos de concreto

reforzado, otra de las razones para su uso es su bajo costo en comparación al acero, el cual no está al alcance de los pobladores de las zonas rurales.

Se han realizado un sin número de investigaciones a nivel internacional sobre la utilización del bambú como refuerzo del concreto, con resultados poco alentadores. Siendo el problema principal la baja adherencia entre el bambú y concreto, la cual se debe principalmente al aumento de volumen del bambú con la humedad al embeberse en el concreto fresco y su posterior contracción al secarse, esto origina que se produzca grietas en la superficie del concreto y la pérdida de la adherencia entre los dos materiales. Ante este problema diferentes investigadores han tratado de reducir la absorción de agua usando diferentes tratamientos de impermeabilización, con una mejora significativa en la adherencia.

El propósito de la presente investigación es proponer un tratamiento alternativo que permita mejorar la adherencia y el consecuente uso del bambú como refuerzo longitudinal en vigas de concreto que cumplan con los parámetros de resistencia y deformaciones admisibles para una vivienda típica en la zona rural.

En primer lugar se determinó las características físicas y mecánicas del bambú, para esto se realizaron ensayos de contenido de humedad, densidad básica, hinchazón, compresión paralela a la fibra, tensión paralela a la fibra y corte paralelo a la fibra.

Posteriormente se fabricaron 48 especímenes de tablillas de bambú embebidas en concreto con diferentes características, luego se realizaron ensayos de adherencia, donde se determinó la fuerza de extracción y se realizó un análisis estadístico con el propósito de encontrar el espécimen que adquiriera mayor esfuerzo de adherencia.

Por último, ya conocida la característica de la tablilla que adquiere mejor esfuerzo de adherencia; se fabricaron seis vigas dos con refuerzo de acero, tres con refuerzo de bambú y la última sin refuerzo bambú, se ensayaron a flexión simplemente apoyadas y cargadas a los tercios de la luz libre entre apoyos, donde se determinó la resistencia a tracción por flexión y el momento resistente de cada viga y se realizó un análisis sobre el comportamiento en flexión para diferentes cuantías de refuerzo de bambú y una comparación con vigas reforzadas con acero.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 LA GUADUA

De acuerdo con Hidalgo (1974), a pesar de que el bambú ha sido una planta conocida y empleada a través de la historia de la humanidad, su clasificación botánica ha sido difícil por las características mismas de la planta, debido a que su florecimiento solo se presenta en intervalos de 30, 60, 90 e incluso 100 años después y las flores y los frutos son indispensables para la clasificación.

Taxonómicamente pertenece a la familia *Poaceae*, a la subfamilia *Bambusoideae*, la cual se encuentra subdividida en dos grandes grupos o supertribus: *los bambúes herbáceos u Olyrodae* y *los bambúes leñosos o Bambusodae*. Los bambúes leñosos son los más numerosos y dispersos de la subfamilia *Bambusoideae* con 61 géneros en todo el mundo agrupadas en nueve subtribus.

De acuerdo con Uribe y Durán citado por Takeuchi (2014), la guadua es una gramínea nativa, de amplia distribución en América, donde ha cumplido un importante papel ambiental, sociocultural y económico; la guadua es un género que forma parte de la subtribu *Guaduinae* y contiene entre sus especies a la *Guadua angustifolia*.

El Código Internacional de Nomenclatura Botánica ha establecido para la guadua 14 rangos taxonómicos (Tabla 1).

El género guadua consta de aproximadamente 30 especies, las cuales se pueden encontrar desde México a los 23° latitud Norte, hasta Argentina a los 35° latitud sur, y en alturas sobre el nivel del mar comprendidas entre los 0 m.s.n.m. a los 2800 m.s.n.m. (Gutiérrez 2011).

Según Castaño, citado por Capera y Erazo (2012), expone que este género se adapta y desarrolla en diversas condiciones, sin embargo, sostiene que existen sitios con ciertas características que proporcionan un mejor ambiente y permiten su desarrollo y crecimiento óptimo (Tablas 2).

Tabla 1: Clasificación taxonómica de la guadua

REINO	Vegetal
DIVISIÓN	Spermatofitas
SUBDIVISIÓN	Angiospermas
ORDEN	Glumiflorales
CLASE	Monocotiledóneas
FAMILIA	Poaceae
SUBFAMILIA	Bambusoideae
SUPERTRIBU	Bambusodae
TRIBU	Bambuseae
SUBTRIBU	Guadinae
GÉNERO	Guadua
ESPECIE	Angustifolia Kunth
VARIEDAD	Bicolor
FORMA	Catilla, Cebolla, Macana, Cotuda, Rayada
NOMBRE CIENTÍFICO	Guadua Angustifolia Kunth (Bambusa guadua H et B)

FUENTE: Uribe y Durán 2002.

En el Perú, numerosas especies nativas y exóticas se desarrollan desde el nivel del mar hasta los 4,000 msnm, en los valles de la costa, los bosques húmedos de la región andina y amazónica, en la mayoría de los casos en lugares de difícil acceso por vía terrestre, haciendo su aprovechamiento sin valor agregado económicamente inviable (MINAGRI 2008).

Ocupando aproximadamente 71,000 km² de área, entre cultivado y nativo (Räsänen *et al.* 1993, INRENA 1995, CONAM 1998).

Según el inventario de bambúes realizado por Londoño (2010) para América Latina y en particular para el Perú, existen 37 especies reunidas en 8 géneros. Los departamentos de Pasco y del Cuzco son los que albergan la mayor diversidad, mientras que los departamentos de Madre de Dios y del Amazonas son los que tienen la mayor área cubierta por bambúes.

En el sureste de la Amazonía, en los departamentos de Ucayali, Madre de Dios, Cusco y Junín, existen grandes extensiones de bosques naturales con bambú, que de acuerdo a la información oficial del INRENA, corresponden a aproximadamente 39,978 km² (cuatro millones de hectáreas) de bosques con bambú, siendo las especies dominantes *Guadua affinis angustifolia*, *G. sarcocarpa*, *G. superba*, *G. chacoensis* y *G. paniculata* (Londoño 2001), y

son considerados como una formación vegetal única en la Amazonía Peruana (Räsänen *et al.* 1993, INRENA 1995). Pero reportes recientes indican que se encuentran en densidades del 30 al 70 por ciento (Takahashi y Asencio 2003).

De manera similar, en los departamentos del noroeste del país, especialmente en Amazonas, San Martín, Cajamarca y en menor grado en Tumbes y Piura, se encuentran bosques naturales de bambú, mayormente del género *Guadua angustifolia* y/o *G. affinis angustifolia*, además de diversas especies del género *Chusquea spp.* En el valle de Cañete, en ambas márgenes del río del mismo nombre, existen plantaciones de *Guadua angustifolia* que son aprovechadas por la población local para sus construcciones rústicas; así como en diversos lugares de la Amazonía (Ucayali, San Martín, Huánuco, Pasco y Junín) se encuentran pequeñas plantaciones de *Bambusa vulgaris* y *B. vulgaris* variedad *striata* o *variegata* (bambú amarillo con rayas verdes), *Dendrocalamus asper* y en mayor superficie, *Phyllostachys aureus* (MINAGRI 2008).

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 *Guadua*, *Chusquea*, *Alouvenia* y *Rhipidocladum* (MINAGRI 2008).

Tabla 2: Factores climáticos que condicionan el crecimiento de la guadua

Factor	Rango General	Rango óptimo
Altitud (m.s.n.m.)	40 – 2600	60 - 2000
Temperatura (°C)	14 - 26	20 - 26
Precipitación (mm/año)	950 - 5000	1800 - 2000
Brillo Solar (Hora/Luz/año)	1400 - 2200	1800 - 2000
Humedad Relativa (%)		75 - 85

FUENTE: Capera y Erazo 2012.

2.2 BAMBÚ (GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH)

De acuerdo con Giraldo y Sabogal, citados por Uribe y Durán (2002), en América las primeras especies de guadua fueron recolectadas durante la Real Expedición Botánica en 1783, por José Celestino Mutis. Los primeros en analizar las especies de guadua fueron el taxónomo y naturalista francés Aimé Bonpland y el alemán Alejandro Von Humboldt naturalista y explorador quienes la clasificaron como *Bambusa Guadua*; en 1822 el alemán Karl Sigismund Kunth, crea el género *Guadua*, haciendo uso del vocablo indígena “guadua” con la que identificaban las comunidades indígenas de Colombia y Ecuador. Kunth rebautiza la especie con el nombre de *Guadua angustifolia* (Figura 1) que significa “hoja angosta” (Londoño 2001).



Figura 1: Rodal de *Guadua angustifolia* en La Florida, Cajamarca
FUENTE: Cerrón 2014.

Pantoja y Acuña, citado por Alarcón y Olearte (2013), indican que la *Guadua angustifolia* tiene altas velocidades de crecimiento, de aproximadamente 13 centímetros por día; en los primeros seis o siete meses de vida, esta alcanza una altura final de 20 a 30 metros y un diámetro de hasta 18 centímetros, luego de este proceso y a partir del séptimo mes crecen las ramas tamizadas, que se encuentran en forma de espina en toda el tallo mostrando las hojas. En su comienzo, el tallo se envuelve en una cáscara peluda, que se cae después de los dos años de vida y es la que brinda la protección en el ciclo inicial de la guadua.

Al referirnos al bambú, aludimos a la especie *Guadua angustifolia*, conocida en Ecuador como caña o caña guadúa, en Perú como caña Guayaquil o simplemente Guayaquil y en Colombia como “guadua”. (Morán 2015).

2.2.1 Morfología general del bambú *Guadua angustifolia*

Las partes principales de la *Guadua angustifolia* (Figura 2) son: el rizoma, el tallo o culmo, las ramas y las hojas. El rizoma es el sistema de soporte de la guadua. Tiene una parte superficial y una parte subterránea donde se encuentran las raíces de la planta, las cuales se ramifican y propagan generando brotes de nuevas guaduas.

Sus rizomas se denominan paquimorfos, por ser cortos y gruesos, de forma más o menos curva y diámetro generalmente mayor que el del culmo (Mc Clure, citado por Takeuchi 2014).

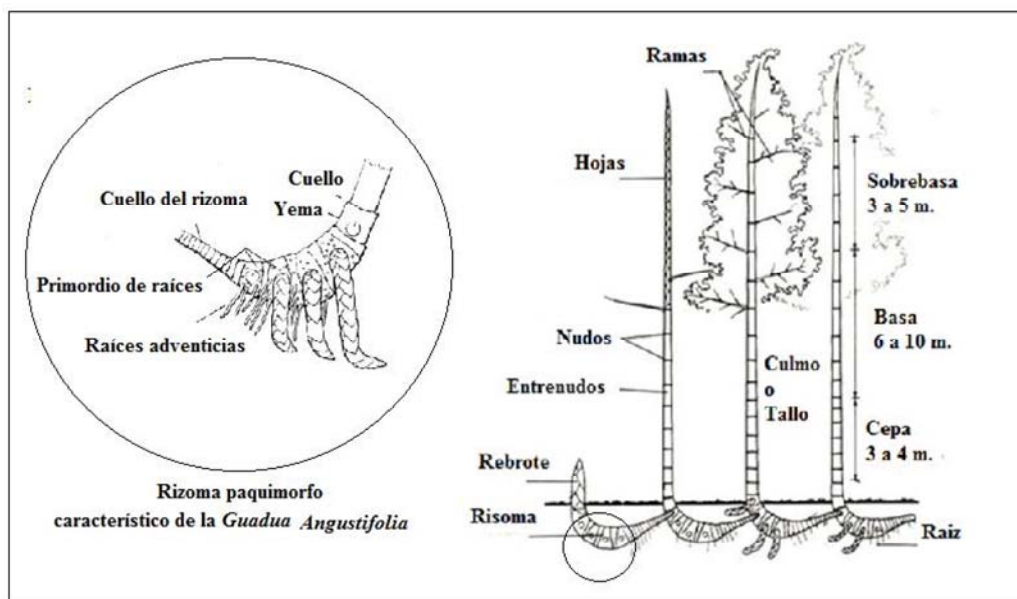


Figura 2: Partes de la *Guadua angustifolia*
FUENTE: Adaptado de Camacho y Páez 2002.

El *culmo* del bambú guadua es su tallo y sale del rizoma. Se caracteriza por tener forma cilíndrica y hueca con segmentos formados por entrenudos, separados transversalmente por tabiques o nudos (Figura 3), la distancia entre los nudos puede variar entre 10 cm y 40 cm de

acuerdo a la variedad y posición en altura del culmo. El diámetro y el espesor de la pared del culmo disminuyen con la altura mientras la densidad, la concentración de fibras y la distancia entre nudos aumentan con ésta. Puede alcanzar alturas promedio de 18m a 20m y tener diámetros entre 5cm y 25cm (Takeuchi 2014).

De la sección longitudinal del culmo se pueden diferenciar además del rizoma, la cepa, la basa, la sobrebasa.

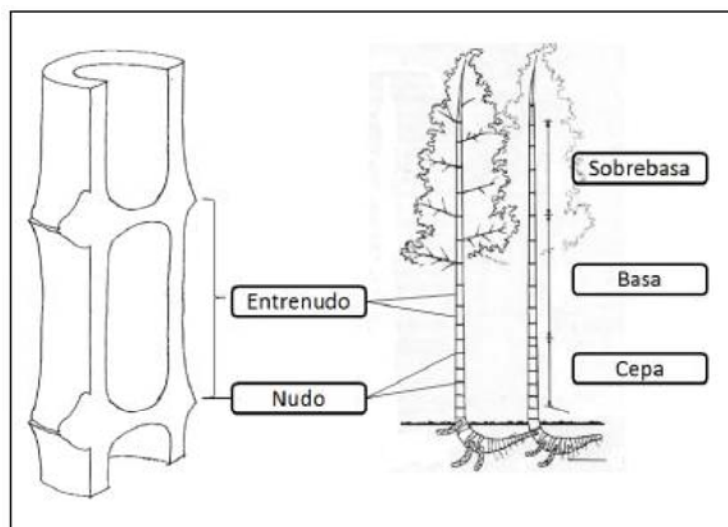


Figura 3: Partes del culmo o tallo de la *Guadua angustifolia*

FUENTE: Rojas 2013.

A diferencia de la madera, el culmo no posee cambium y su crecimiento se realiza al alargarse los entrenudos. El proceso, que dura aproximadamente seis meses, comienza en el entrenudo inferior y termina en el superior disminuyendo paulatinamente su diámetro.

2.2.2 Anatomía del culmo del bambú *Guadua angustifolia*

El comportamiento mecánico del culmo del bambú ante diferentes solicitaciones y direcciones depende de su anatomía interna. En la sección transversal de los culmos de los bambúes, incluyendo la *Guadua angustifolia*, se pueden distinguir: la corteza exterior, la capa interna, los haces vasculares y el tejido parenquimático.

De acuerdo con Londoño *et al.* (2010), la *corteza* es la parte exterior del culmo y tiene la función de proteger la parte interna e impedir el paso de agua que pueda deteriorar el tejido interno. Esta es la razón por la cual posee además de las células alargadas axialmente, propias del tejido, parejas de células cortas de corcho y sílice que le dan características de dureza e impermeabilidad. Las células de la epidermis están cubiertas además de una capa cutinizada de celulosa, en la *Guadua angustifolia* no se evidencia un recubrimiento de cera que se encuentra en otros bambúes

La *capa interna*, está compuesta de capas de células que rodean la cavidad interna de la guadua.

Los *haces vasculares* están compuestos por el sistema conductivo (formado por dos vasos, el floema y el protoxilema), las células parenquimáticas entre los tubos que forman el sistema conductivo y los haces de fibras (Figura 4).

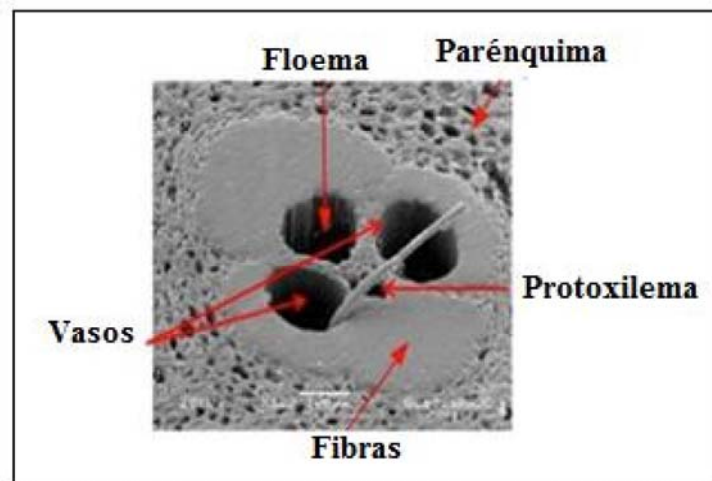


Figura 4: Haz vascular del bambú
FUENTE: Sánchez y Rodríguez 2010.

La matriz que rodea los haces vasculares es la *parénquima* la cual es la encargada del almacenamiento y el soporte del culmo. El parénquima se relaciona con el contenido de humedad del bambú. Se ha encontrado que el contenido de humedad de un culmo es mayor en la base que en la parte superior, esto se atribuye al porcentaje de parénquima que existe y que muestra la capacidad de almacenamiento que este tiene, ya que la diferencia del contenido de humedad en época lluviosa a época seca varía significativamente en los bambúes. (Liese, citado por Takeuchi 2014)

2.2.2.1 Distribución de las fibras

En la Figura 5 se observa la distribución de las fibras. En la Figura 5(a) se observa un tramo de culmo de bambú *Guadua angustifolia*, en la Figura 5(b) la distribución de los haces vasculares en la pared del culmo, en la Figura 5(c) un haz vascular compuesto por vasos (I), floema (II), protoxilema (III), parénquima (IV) y haces de fibras, en la Figura 5(d) el haz de fibras cercano al floema, en la Figura 5(e) un acercamiento de éste donde se ven las fibras elementales con forma pentagonal y hexagonal y por último se aprecia en la Figura 5(f) el modelo de polilamelas propuesto por Liese , citado por Takeuchi (2014) .

Como se observa en la Figura 5(c), en el haz vascular se encuentran cuatro haces de fibras, los dos primeros rodean los vasos y los otros dos se encuentran junto al floema y al protoxilema. Los haces de fibras no se tocan entre sí en la parte media e interna de la pared del culmo, mientras que en las zonas de periferia y transición se unen rodeando el tejido conductivo.

En la *Guadua angustifolia*, las fibras ocupan aproximadamente el 40 por ciento del volumen del culmo mientras que la parénquima el 51 por ciento y el tejido conductivo el 9 por ciento. (Londoño et al. 2010).

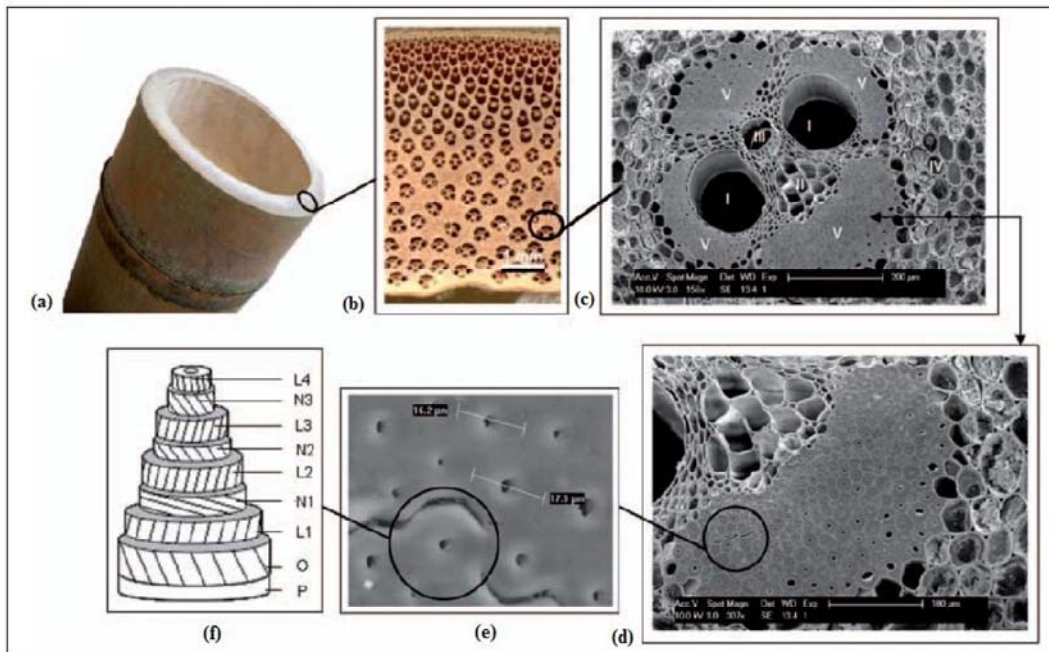


Figura 5: Distribución de fibras en la sección transversal del bambú
 FUENTE: (Osorio et al. 2011).

2.2.2.1 Estructura del nudo

Liese, citado por Takeuchi (2014), señala que mientras en los entrenudos los haces vasculares están orientados axialmente, en la región de los nudos algunos de estos se orientan horizontalmente. Como se observa en la Figura 6 la mayoría de los haces vasculares principales atraviesan longitudinalmente el nudo, en la zona externa se doblan ligeramente y en la zona interna se conectan al diafragma.

Algunas ramas secundarias de las haces vasculares conectan la periferia con la zona interna y muchos pequeños haces se voltean horizontalmente y se doblan entrelazándose.

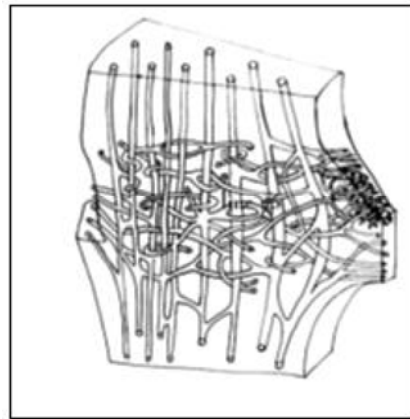


Figura 6: Haces vasculares en la región del nudo

FUENTE: Liese 1998.

2.2.3 Enfermedades y plagas

Son pocos los insectos o enfermedades que atacan a las plantaciones de bambúes. Se han registrado ataques de las especies de insectos denominados, *Estigmaena sinensis*, *Cyrtotrachelus longipes* en la yema apical, cochinillas del bambú (*Asterolecanium miliaris* y *A. bambusae*) y *Ochrophora montana* sobre semillas, así como del hongo *Loculistroma bambusae*. En algunos casos se han utilizado con éxito los coccinélidos como depredadores de las cochinillas (MINAGRI 2008).

En los países asiáticos es donde más investigaciones han realizado en este aspecto. Se sabe que durante la fase de rebrote es cuando el bambú sufre más el ataque por parte de coleópteros, termitas y pulgones los cuales perforan los culmos. Una vez alcanzado la madures los culmos son menos propensos al ataque de los coleópteros; sin embargo después de cortadas y en su estado sobremaduro están expuesta al ataque por una de las plagas más serias del bambú, el *Dinoderus minutus* (Figura 7). Se ha registrado también la especie *Stromatum barbatum* (Cerambicido), estos escarabajos se combaten limitando su aprovechamiento en épocas frías, que es la de actividad mínima de los insectos, y manteniendo las cañas cortadas en agua para extraer los disacáridos de que se alimentan.

El aprovechamiento en determinada época del mes, coincide con la menor actividad de acumulación de azúcares en el tallo y el tratamiento de los tallos por inmersión en la mezcla

de boratos (1:1, bórax y ácido bórico) controla el ataque de los insectos, especialmente en lugares cálidos y húmedos. Las plagas de roedores pueden atacar los rizomas y brotes de bambúes en su etapa inicial de crecimiento (MINAGRI 2008).



Figura 7: Bambú atacado por el *Dinoderus minutus*

FUENTE: Bamboo Arts and Craft Network 2007.

2.2.4 Preservación de *Guadua angustifolia*

El bambú una vez cortado y en particular si el tallo es joven o menor de tres años, es atacado interiormente por insectos xilófagos como el *Dinoderus minutus*, que atraído por el almidón que se deposita en la pared del tallo, construye largas galerías a lo largo de la misma dejándolo inservible.

Con el fin de que los tallos de la guadua sean más duraderos y menos propensos al ataque de los insectos y hongos, el bambú después de cortado, debe someterse a un tratamiento de curado, que tiene como fin reducir o descomponer el contenido de almidón y humedad de los tallos, o a un tratamiento con preservantes químicos contra los insectos y hongos.

Morán (2015), recomienda el tratamiento de inmersión en soluciones de pentaborato. El método consiste en la inmersión de los tallos, una vez hayan sido secadas a la sombra una semana, los tallos se colocan horizontalmente dentro de un tanque con preservante por un tiempo no menor de 5 días. Si en lugar de tallos se tratan tabillas o caña chancada, estos deben permanecer por lo menos 24 horas.

La concentración de la solución de Pentaborato y tiempo de permanencia de las piezas de bambú, recomendable por estudios y experiencias son:

Podría oscilar entre el 2 al 4 por ciento, entre una relación de 1:1 al 2:2. Si fuera 4 por ciento, la relación es 2:2 esto es 2 kg ácido bórico + 2 kg bórax + 100 L de agua, por tiempo de 8 días (Montoya, 2007).

Según la experiencia de Jörg Stam (2011), considera un 5 por ciento con una relación 2,5:2,5 esto es 2,5 kg ácido bórico + 2,5 kg bórax + 100 L de agua, por un tiempo de 5 días.

2.2.5 Propiedades físicas del bambú

Entre las propiedades más importantes se destacan el contenido de humedad.

2.2.5.1 Contenido de humedad

En relación con el contenido de humedad en el bambú es importante mencionar que el bambú es un material higroscópico, el contenido de humedad depende del ambiente al que esté expuesto.

El bambú como cualquier otro material de origen orgánico presenta condiciones particulares dependiendo su contenido de humedad, empezando por la diferencia de resistencia a las diferentes sollicitaciones mecánicas que puede llegar a experimental a lo largo de su vida útil en una estructura (Ardila 2013).

El bambú al igual que la madera pierde resistencia y rigidez, a medida que aumenta su contenido de humedad, por ello la importancia de conocer el contenido de humedad de la *Guadua angustifolia* antes de ser utilizada como material de construcción, debido a que afecta directamente a los esfuerzos a los cuales será sometido el bambú si el CH es superior al 12 por ciento, como se indica en la Tabla 3.

Tabla 3: Coeficientes de modificación por contenido de humedad

Esfuerzos		CH ≤ 12%	CH = 13%	CH = 14%	CH = 15%	CH = 16%	CH = 17%	CH = 18%	CH ≥ 19%
Flexión	F_b	1.0	0.96	0.91	0.87	0.83	0.79	0.74	0.70
Tracción	F_t	1.0	0.97	0.94	0.91	0.89	0.86	0.83	0.80
Compresión paralela	F_c	1.0	0.96	0.91	0.87	0.83	0.79	0.74	0.70
Compresión perpendicular	F_p	1.0	0.97	0.94	0.91	0.89	0.86	0.83	0.80
Corte	F_y	1.0	0.97	0.94	0.91	0.89	0.86	0.83	0.80
Modulo de elasticidad	$E_{0.5}$	1.0	0.99	0.97	0.96	0.94	0.93	0.91	0.90
	$E_{0.05}$								
	E_{min}								

FUENTE: Reglamento Colombiano de Construcciones NSR -10/Tabla G.12.7 -5

2.2.6 Comportamiento del bambú en movimientos sísmicos

Las fuerzas que se presentan en las estructuras debido a las aceleraciones del sismo están directamente relacionadas con el peso de la edificación, por lo tanto a mayor peso mayores fuerzas de inercia.

La constitución anatómica tubular y fibrosa del bambú le permite absorber energía de deformación que redonda en una mayor flexibilidad, retardando las fallas o roturas y permitiendo un comportamiento más dúctil.

Aun cuando se presenten movimientos sísmicos muy intensos las características de absorción y disipación de energía le permiten mostrar ese comportamiento dúctil, absorbiendo y amortiguando sin fallar, efectos mayores a los previstos. (Peñaranda 2015).

2.2.7 Comportamiento físico mecánico de la *Guadua angustifolia*

Takeuchi (2014) indica que, con el fin de diseñar cualquier componente estructural de manera eficiente, es necesario conocer de antemano la capacidad de resistencia del material a ser utilizado. El bambú presenta un problema a este respecto ya que la calidad no puede ser controlada, ya que son materiales de origen natural. Todos los otros materiales que se utilizan estructuralmente son hechos por el hombre y por lo tanto alguna forma de control de la calidad se puede ejercer durante sus producciones, esto ha llevado a algunos trabajos de investigación sobre las propiedades estructurales del bambú.

Por ser los haces de fibras, que en adelante se llamarán fibras, orientados axialmente, la guadua posee una alta resistencia a la tensión paralela a las fibras. La resistencia a la tensión de probetas extraídas de la pared externa es más alta que de la pared completa, debido a que la parte exterior es dura y tiene mayor cantidad de fibras. Por otro lado, la resistencia a la tensión en probetas con nudo es menor que en probetas sin nudo, debido a que el nudo es la parte débil de la guadua por la orientación de algunos haces vasculares.

Carvajal *et al.*, citado por Takeuchi (2014), encontraron valores promedio de resistencia a la tensión de 165MPa, 156MPa y 87MPa de probetas extraídas de la pared externa con nudo, de la pared completa sin nudo y de la pared completa con nudo respectivamente.

La resistencia a la compresión paralela a las fibras en columnas cortas es menor que la resistencia a la tensión (por lo menos en un 25 por ciento), aun considerando en el último caso, probetas de la pared completa con nudo.

En sus trabajos Martín y Mateus (1981) encontraron esfuerzos máximos a compresión paralela a la fibra de 66MPa, para una humedad del 12 por ciento y una edad comprendida entre 3 y 5 años mientras que López y Silva (2000) encontraron valores promedio de 44MPa, Martínez (1992) encontró valores de 34MPa, Durán y Uribe (2002) encontraron valores promedio de resistencia de 50MPa, mínimos de 38MPa y máximos de 62MPa y González (2006) encontró un valor promedio de resistencia de 56MPa.

La menor resistencia a compresión paralela a las fibras, se debe a que la guadua está formada por fibras longitudinales fuertes, pero, a diferencia de la madera no tiene fibras radiales que unan las fibras longitudinales, las cuales están en una matriz relativamente débil y blanda lo que hace que la resistencia a la compresión perpendicular a las fibras de la guadua sea pequeña. Al aplicar la fuerza vertical, se presenta una fuerza radial horizontal hacia afuera que separa las fibras debido a que no existe un mecanismo lo suficientemente fuerte que las mantenga unidas. Los tabiques ayudan en cierta medida, pero al tener un comportamiento pobre ante esfuerzos de tracción en su plano, simplemente se rompen, permitiendo la falla de compresión paralela a las fibras por la separación de las fibras longitudinales (Figura 8).

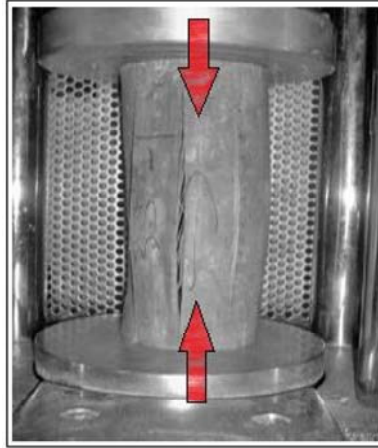


Figura 8: Falla por compresión paralela a las fibras

FUENTE: González 2006.

Por tener únicamente fibras en sentido longitudinal, la resistencia al cortante paralelo a las fibras y a la tensión perpendicular a las fibras es muy baja. Para la *Guadua angustifolia*, Pantoja y Acuña (2005) encontraron en ensayos de cortante paralelo a la fibra valores de resistencia promedio de 7MPa y Pacheco (2006) encontró un valor promedio de resistencia a la tracción perpendicular de 0,74MPa.

Aunque las propiedades mecánicas de la guadua dependen de la especie botánica a la que pertenece; la resistencia a compresión, corte, tensión y flexión también dependen de la edad de corte de la planta, la sección del culmo que se utilice y de las propiedades físicas como son la humedad y la densidad (Gonzales 2011).

2.2.8 El bambú *Guadua angustifolia* como material compuesto

Takeuchi (2014), indica que al estudiar la anatomía del culmo del bambú *Guadua angustifolia* se encuentra que este es un material compuesto de fibras reforzadas continuas unidireccionales, donde la matriz está formada por las células de parénquima que rodean los haces vasculares y las fibras serían el conjunto de haces de fibras que están axialmente orientados a lo largo del entrenudo del culmo.

Como el espesor de la pared del culmo del bambú disminuye con la altura, el porcentaje de fibras con respecto al área de la pared aumenta en altura por lo que se tiene una estructura macroscópica funcionalmente gradada (Amada y Untao, citado por Takeuchi 2014).

Adicionalmente teniendo en cuenta que la separación de los haces vasculares disminuye desde la parte interna a la parte externa y el porcentaje de las fibras en los haces vasculares aumenta desde la parte interna a la externa (Figura 9), el cambio de la fracción volumétrica de fibras en la pared hacen que la estructura microscópica de los bambúes se considere funcionalmente gradada (Amada *et al.*, citado por Takeuchi 2014).

Por ser la *Guadua angustifolia* un bambú, se comporta como un material compuesto de fibras reforzadas continuas unidireccionales funcionalmente gradado.

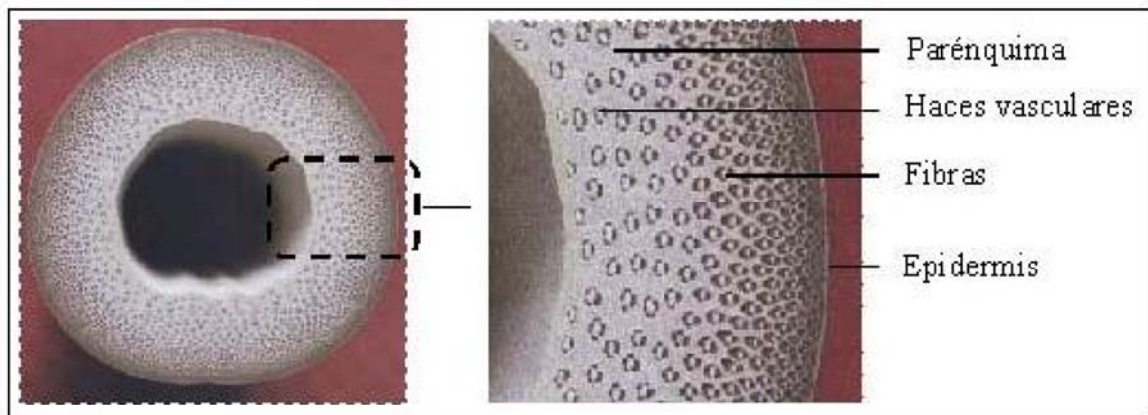


Figura 9: Distribución de las fibras de bambú en el espesor de la pared
FUENTE: López 2009.

2.3 VALOR CARACTERÍSTICO

El valor característico de una acción es su valor de referencia para efectos de proyecto. Puede venir determinado por un valor medio, un valor nominal o, en los casos en que se fije mediante criterios estadísticos, puede venir determinado por un percentil superior (95 por ciento) o inferior (5 por ciento), que tiene en cuenta la vida útil de la estructura y la duración de la acción (Ministerio de fomento del Gobierno de España, citado por Capera y Erazo 2012).

Arboleda *et al.*, citado por Capera y Erazo (2012) proponen que, a la población de guaduas que se utilizan para una caracterización física y mecánica, se le realice una distribución normal de esfuerzos y se determine probabilísticamente el quinto percentil, es decir, que la probabilidad de que el esfuerzo sea menor del valor calculado es del 5 por ciento, para obtener una buena estimación de toda la población de guaduas, no limitando el estudio a las guaduas ensayadas.

Para la determinación del valor característico de todos los ensayos se usa la ecuación 1, tomada de la norma internacional ISO22156:2001 “Bamboo Structural Design” Numeral 7.2.1, la cual es la misma ecuación del Reglamento Colombiano NSR – 10 G.12.7-1.

$$f_{ki} = f_{0.05i} \left[1 - \frac{2.7 \frac{s}{m}}{\sqrt{n}} \right] \quad \dots \text{ecuación 1}$$

En donde:

f_{ki} = valor característico para cada sollicitación

$f_{0.05i}$ = percentil 5 de los datos de cada ensayo en la sollicitación i

s = desviación estándar de los datos del ensayo

m = promedio de los datos del ensayo

n = número de datos del ensayo

i = subíndice que indica el tipo de sollicitación mecánica: T para tensión paralela a fibras, C para compresión paralela a la fibra y V para cortante paralelo a la fibra.

2.4 ESFUERZO ADMISIBLE

El esfuerzo admisible, es el máximo al que puede ser sometido el material, con un cierto grado de seguridad en la estructura o elemento que se considere. En un diseño real, el esfuerzo admisible (o esfuerzo de trabajo) ha de ser inferior al límite de proporcionalidad, con objeto de que pueda aplicarse en todo momento la relación lineal entre esfuerzos y deformaciones que establece la ley de Hooke (Pytel y Singer, citado por Capera y Erazo 2012).

Una vez hallado los valores característicos para la totalidad de los ensayos de cada sollicitación mecánica, se determinarán los esfuerzos admisibles aplicando la ecuación 2, tomada de la NSR – 10 G. 12.7-2, y la Tabla G.12.7-3, véase Tabla 4.

$$F_i = \frac{FC}{(F_s)(FDC)} (f_{ki}) \quad \dots \text{ecuación 2}$$

En donde:

F_i = esfuerzo admisible en la sollicitación i

f_{ki} = valor característico del esfuerzo en la sollicitación i

FC = factor de reducción por diferencias entre las condiciones de los ensayos en el laboratorio y las condiciones reales de aplicación de las cargas en la estructura (véase Figura 17)

F_s = factor de Seguridad (véase Figura 17)

FDC = factor de duración de carga (véase Figura 17)

i = lo mismo de la ecuación 1

Tabla 4: Factores de reducción

Factor	Flexión	Tracción	Compresión 	Compresión ⊥	Corte
FC	-	0,5	-	-	0,6
Fs	2	2	1,5	1,8	1,8
FDC	1,5	1,5	1,2	1,2	1,1

FUENTE: NSR-10 2010.

2.5 MÓDULO DE ELASTICIDAD

Es la propiedad de cuerpos sólidos de deformarse bajo la acción de una fuerza y regresar a la forma original, cuando aquella deja de aplicarse. Este comportamiento se mantiene hasta cierto límite, por encima del cual la deformación total no es recuperable, es decir, se produce una deformación permanente en la muestra. Si continua aplicándose una carga creciente se llega a la falla de la muestra (Seely, citado por Capera y Erazo 2012).

El esfuerzo (σ) se expresa como la fuerza que se distribuye uniformemente sobre un área de sección transversal por unidad de área, siempre y cuando la fuerza axial (P) actúe en el centroide del área de la sección transversal. La deformación (δ), se produce cuando un cuerpo está sometido a una carga axial, como resultado se presentan cambios en su longitud. La deformación unitaria (ϵ) se calcula al dividir la deformación por la longitud inicial del sólido a evaluar.

Para la determinación del módulo de elasticidad, se establece la curva esfuerzo vs deformación unitaria (figura 10). Los puntos que reflejan proporcionalidad se ajustan a una línea recta por regresión lineal; en este punto el material debería recuperar sus dimensiones iniciales al retirar lentamente la carga. El módulo de elasticidad se determina a partir de la pendiente calculada.

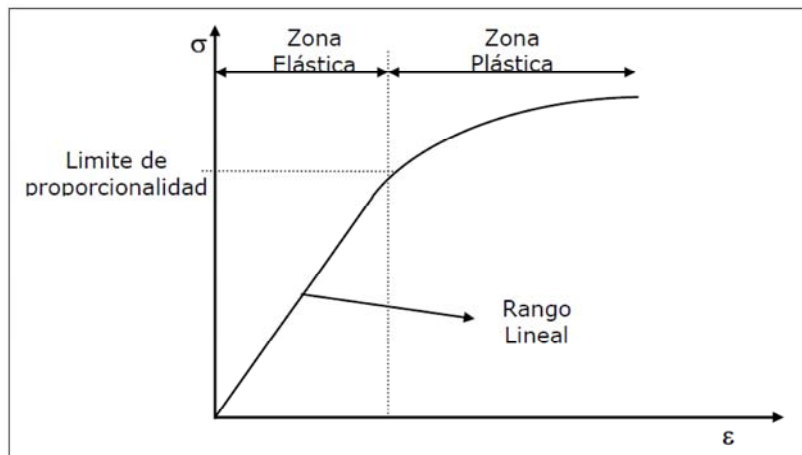


Figura 10: Curva esfuerzo (σ) vs deformación (ϵ)

FUENTE: Seely 1954.

2.6 ADHERENCIA DEL REFUERZO

Ottazzi (2006) señala que, en un elemento de concreto reforzado, es indispensable que exista adherencia entre el acero de refuerzo y el concreto que rodea al acero, de manera que ambos materiales trabajen juntos logrando la acción compuesta.

Si no existiera adherencia, las barras de refuerzo deslizarían dentro de la masa de concreto sin encontrar resistencia en toda su longitud y no acompañarían al concreto en sus deformaciones. Al fisurarse el concreto se producirá una falla brusca, la resistencia de la viga será prácticamente la correspondiente al agrietamiento del concreto en tracción por flexión,

es decir como si el refuerzo de acero no existiera; estas ocurren con frecuencia cuando se emplean barras lisas, sin corrugaciones (Figura 11).

Las fuerzas de adherencia actúan en el concreto y el acero como resultado de la flexión, tienen la misma magnitud pero dirección contraria, e impiden el deslizamiento (Figura 12).

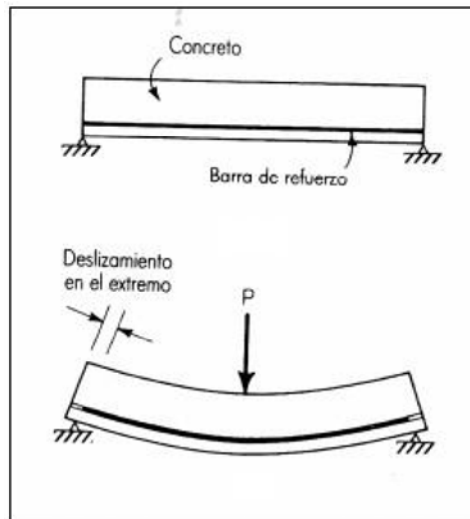


Figura 11: Viga sin adherencia entre acero y el concreto
FUENTE: ACI 2006

Gracias a la adherencia, las barras de refuerzo pueden trabajar, inicialmente, a la vez que el concreto y después, cuando éste se fisura, lo hacen de forma más o menos regularmente distribuida a lo largo del elemento. La adherencia permite que el acero de refuerzo tome los esfuerzos de tracción, manteniendo la unión entre los dos materiales en las zonas entre fisuras.

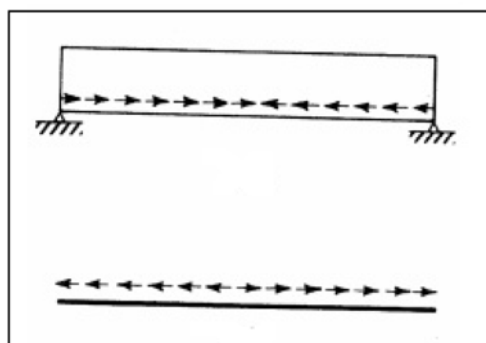


Figura 12: Equilibrio de esfuerzos de adherencia
FUENTE: ACI 2006

2.6.1 Mecanismos que originan la adherencia

La adherencia o resistencia al deslizamiento se origina por dos fenómenos: uno de naturaleza física (o físico - química) y otros de naturaleza mecánica.

El primero genera la adhesión del acero con el concreto, a través de fuerzas capilares y moleculares que se desarrollan en la interfase. Es como si el acero absorbiese pasta cementante y se forme una interconexión físico-química de las partículas de la pasta de cemento con la rugosidad de la superficie de contacto del acero (Ottazzi 2006).

Según el fib Bond Models, citado por Molina (2005), este fenómeno corresponde a tensiones de adherencia bajas, entre $0,2f_{ct}$ y $0,8f_{ct}$, siendo f_{ct} la resistencia del concreto a tracción.

El segundo, más importante que el anterior, proviene de la resistencia al deslizamiento debida a la penetración de la pasta de cemento en las irregularidades de la superficie de las barras de refuerzo. Esta causa de origen mecánico, puede denominarse *rozamiento o fricción*, a esto se le debe añadir el efecto de *acuñamiento o de apoyo directo de las corrugaciones* o resaltos de las barras contra el concreto circundante (Ottazzi 2006).

La adhesión queda anulada cuando el deslizamiento de la barra alcanza una cierta magnitud. La fricción y las fuerzas de acuñamiento son las únicas que quedan, no siendo posible separar ambos efectos, sin embargo, las fuerzas de acuñamiento son las más importantes. Las fuerzas de acuñamiento dependen de las características de las barras de refuerzo (Ottazzi 2006).

Debido a la complejidad del fenómeno de la adherencia entre el concreto y el acero son muchos los factores y parámetros que intervienen en ella tanto de carácter físico como químico. Además de los relacionados con las características de la barra hay que tener en cuenta otros aspectos como las propiedades del concreto, el recubrimiento, la posición de la refuerzo respecto a la dirección de concreto, el confinamiento, la historia de carga, ya que influyen en el estado tensional del concreto que rodea a la barra (Molina 2005).

2.6.2 Esfuerzo de adherencia en una viga

Según Ottazzi (2006), la distribución real de los esfuerzos de adherencia es compleja. El concreto deja de resistir esfuerzos de tensión donde queda ubicada la grieta; allí la tensión en el acero es máxima.

Entre las grietas, el concreto resiste cantidades menores de tensión, transmitidas como consecuencia de los esfuerzos de adherencia, reduciendo la fuerza de tensión en el refuerzo.

Los esfuerzos de adherencia u son proporcionales a la variación del momento en la barra. Son máximos donde la pendiente de la curva de la fuerza en el acero es mayor y son nulos donde la pendiente es cero (Figura 13).

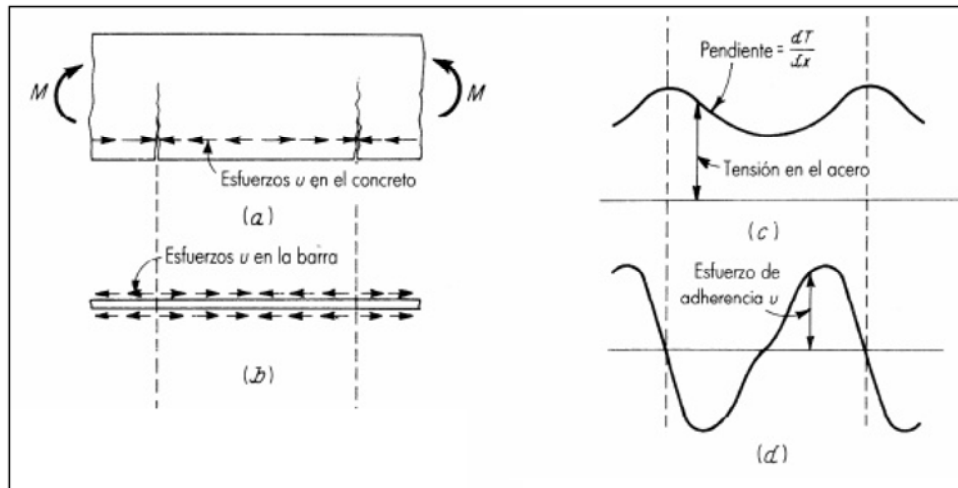


Figura 13: Esfuerzos de adherencia en un segmento de viga
FUENTE: ACI 2006.

2.7 BAMBÚ COMO REFUERZO DEL CONCRETO

El empleo del bambú como elemento de refuerzo en el concreto en el reemplazo de las varillas de acero, es una de las aplicaciones más importantes que tiene este material en la construcción. La alta resistencia a la tracción del bambú hace posible este tipo de aplicaciones, lo cual no sería posible en otros materiales como la madera (Hidalgo, citado por Atauje 1986).

Atauje (1986) indica que, el concreto reforzado con acero es un material de construcción que no está al alcance de la mayoría de los peruanos, especialmente en zonas rurales. Ya sea por el alto costo del acero, como por las dificultades que implica su transporte a estas zonas.

Dentro de los vegetales, el bambú posee alta resistencia a la tracción, además de ventajas de forma y relación resistencia/peso.

Se han investigado aplicaciones del bambú como refuerzo en el concreto en varios países de Asia, Europa, etc., con resultados poco satisfactorios. Estos resultados se deben a que las cañas de bambú aumentan de volumen con la humedad al embeberse en el concreto fresco y posteriormente se contraen al secarse, lo cual no solo produce el agrietamiento de la superficie de concreto sino la pérdida casi total de la adherencia entre los dos materiales (Geymayer *et al.*, citado por Atauje 1986).

Aunque el bambú es un material muy resistente, solo ha sido usado como relleno en muchos países, no habiendo sido explotado mayormente en sus aplicaciones estructurales. Adicionalmente el bambú como refuerzo en el concreto no ha encontrado en alguna medida éxito, principalmente debido a su bajo módulo de elasticidad, no obstante estudios de laboratorio han demostrado que el bambú es perfectamente adaptable como refuerzo en concretos de bajos módulos de elasticidad (Datye y Portfield, citado por Atauje 1986).

Una forma de utilizar el bambú como refuerzo es cortando la caña longitudinalmente en segmentos como se indica en la Figura 14. Estos segmentos pueden ser tensionados para formar cables, los mismos que han sido una forma eficiente de mejorar la adherencia (Hidalgo 1978).

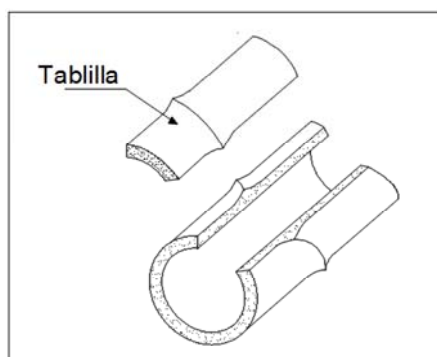


Figura 14: Tablilla de bambú
FUENTE: Adaptado de Atauje 1986.

El bambú ha sido utilizado como material de construcción de bajo costo por muchos años; este contiene un gran porcentaje de fibras que poseen una gran capacidad de tensión, flexión y deformación. Sin embargo el bambú presenta el problema de una alta absorción de agua lo que conduce a una hinchazón-contracción y pudrición. Tal vez estos factores sean la razón principal por la cual el bambú no se utiliza ampliamente hoy en día en la construcción moderna. A fin de utilizar el bambú en aplicaciones técnicas, especialmente como sustituto del acero en barras en el concreto estructural, es necesario comprender el mecanismo de interacción bambú – agua (Fang y Fay, citado por Atauje 1986).

Gonzales (2001) reafirma lo establecido por Atauje y señala que, la dificultad del bambú como refuerzo para el concreto es la poca adherencia que el bambú desarrolla en la matriz. La variación volumétrica del material origina la aparición de fisuras longitudinales en el concreto provocando la disminución de su carga y empeorando la adherencia; tales fisuras aumentan cuando el porcentaje de bambú en la matriz de concreto es alto (mayor del 4 por ciento).

2.7.1 Mecanismo de la adherencia entre el bambú y concreto

La forma más recomendable para el uso de refuerzo de bambú es en forma de “tablillas” (Figura 14). Estas desarrollan mayor adherencia con el concreto que las cañas o bambúes completos que tienen una superficie lisa y cerosa (Hidalgo 1978)

Hidalgo *et al.*, citado por Atauje (1986), indica que el principio de la pérdida de adherencia entre el bambú y el concreto puede ser comprendido a partir del mecanismo de interacción bambú-agua-concreto (Figura 15). Cuando el bambú absorbe el agua se produce un aumento en el volumen del bambú dentro de la masa del concreto. Este cambio volumétrico dependerá de la presión ejercida por el concreto sobre el bambú. Al final del periodo de curación cuando el concreto se endurece, el bambú pierde agua y se contrae dejando vacíos entre la varilla de bambú y el concreto.

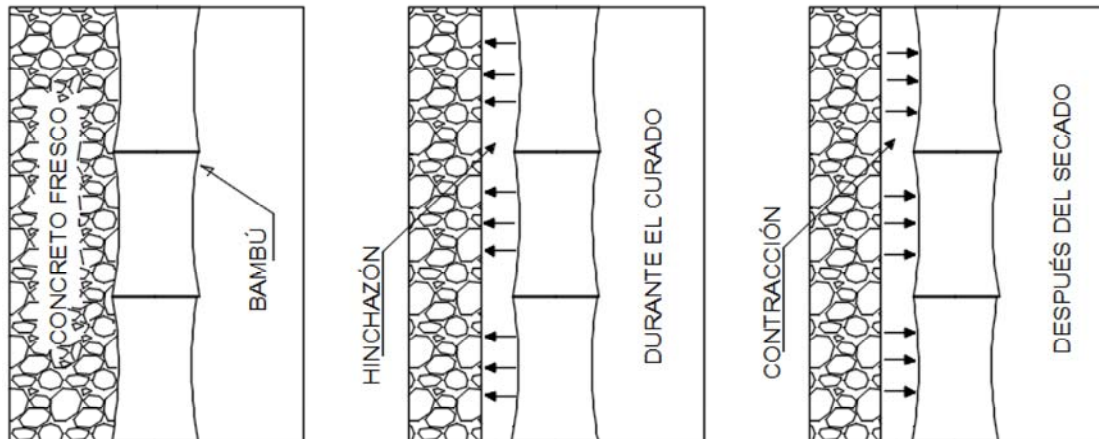


Figura 15: Mecanismo de interacción bambú-concreto

FUENTE: Adaptado de Atauje 1986.

Hidalgo y Fang, citado por Atauje (1986) sostiene que, para entender el mecanismo de interacción entre el bambú y el agua es necesario comprender las características de las fibras del bambú. El bambú está constituido por dos capas de fibras distintas. La parte exterior que contiene de 40 a 60 por ciento de fibras resistentes muestra un color amarillento. La parte interior que contiene de 15 a 30 por ciento de fibras resistentes muestra un color blanco. La parte exterior es más fuerte y rígida, la parte interior es más suave y esponjosa.

Varias investigaciones se han orientado a mejorar la adherencia entre el bambú y el concreto. Muchos de ellos han propuesto un tratamiento químico para disminuir las variaciones volumétricas del bambú, la dificultad radica en el elevado costo de dichos tratamientos y su factibilidad de ser puestos en práctica en el sector rural.

La mayor parte de los investigadores centraron sus experimentos en buscar una solución a este problema, coincidiendo, como es de lógica, que el bambú debe recubrirse con una sustancia impermeable con el fin de evitar que este absorba el agua de la mezcla de concreto; muchos de estos investigadores, en su afán de dar una solución al problema, olvidaron que el usuario principal de estas investigaciones es el campesino de pocos recursos económicos y recomiendan tratamientos sofisticados y costosos, que en la mayoría de los casos resulta mucho más económico el empleo de acero que el bambú (Hidalgo 1974).

Gonzales (2001) menciona algunos tratamientos que se han estudiado y recomienda tanto para impermeabilizar el refuerzo, como para aumentar la adherencia.

- **GLENN (1944):** Recomienda recubrir las tablillas de refuerzo con una capa muy delgada de emulsión asfáltica como impermeabilizante; este tratamiento tiene el peligro de que el usuario aplique una mayor cantidad de emulsión, obteniendo un efecto contrario por lubricación de refuerzo, perdiendo éste totalmente su adherencia. También se ha sugerido el uso de pinturas y barnices, que además de costosos corren el mismo peligro en su aplicación.
- **PALMA (1976):** Recomienda un tratamiento por inmersión del refuerzo de bambú en una solución al 2 por ciento de cloruro de zinc, o el recubriendo del mismo con un adhesivo de neopreno sobre el cual se rocía arena gruesa con el fin de lograr mayor adherencia; este tipo de adhesivo no se consigue fácilmente en el mercado y su costo es elevado.
- **KOWALSKI (1974):** Recomienda usar como refuerzo principal medios tallos, es decir, dividiéndolos longitudinalmente en dos partes, los cuales deben secarse previamente hasta un contenido de humedad del 20 por ciento, después, sus extremos, en una longitud de 25 cm se impregna con un adhesivo, ya sea una resina poliestérica o epóxica, sobre la cual se rocía arena fina o polvo fino de sílice para lograr mayor adherencia. Posteriormente, la parte restante se sumerge por espacio de cuatro días en una mezcla 1:1 de aceite de linaza y trementina, teniendo el cuidado de no sumergir los extremos ya tratados.
- **GEYMAYER, COX:** Recomiendan el recubrimiento completo del refuerzo de bambú con resinas epóxicas, cuyo costo de adquisición es elevado.
- **FANG (1976):** Recomienda el tratamiento de azufre, arena para recubrir cañas de bambú que se utilicen como refuerzo; el proceso seguido en sus experimentos es el siguiente: se perforan parcialmente los tabiques de los nudos, luego se remueve la cutícula o parte brillante del bambú con un chorro de arena a presión, después de lo cual se envuelve con

alambre con el fin de evitar el aumento de volumen, finalmente se sumerge en azufre derretido a una temperatura de 50°C.

- **ATAUJE (1987):** Recomienda usar tallos de 3 a 5 años , debido a que en esta edad se obtiene un alto contenido de fibras fuertes, cuya presencia disminuye la hinchazón debida al cambio en el contenido de humedad .
- **DATYE, NAGARAJU (1978):** Recomienda el uso de concreto pobre (40 a 80 kg de cemento por m³) con una pequeña cantidad de bentonita (10 a 30 por ciento del peso del cemento). Esto último con la finalidad de aumentar la trabajabilidad del concreto fresco y aumentar sus características plásticas necesarias. Todo esto actuando conjuntamente con empalmes, sujetadores extremos y dispositivos mecánicos de transferencia de deslizamiento (como referencia se puede mencionar que usando dispositivos mecánicos de transferencia de deslizamiento y bulbos artificiales se han llegado a valores de adherencia de 56 y 34 kg/cm² respectivamente).

Investigaciones anteriores han cuantificado la resistencia de adherencia entre el bambú y concreto entre las que destaca los ensayos realizados por Glenn H.E. (1944), quien determinó que la adherencia entre el concreto y el bambú varía entre cero y 25 kg/cm². Estos ensayos se realizaron utilizando tallos completos de bambú.

El profesor Hidalgo, realizo ensayos de adherencia entre el concreto y cables de bambú, donde halló una máxima adherencia de 18 kg/cm² y una mínima de 6 kg/cm². También realizo ensayos de adherencia con tabillas, cuyos resultados arrojan un promedio de 5 kg/cm².

Geymayer y Cox (1970), realizaron pruebas de adherencia entre bambú y concreto con especímenes que tenían embebidos tablillas de bambú de longitud 6", 12", 18" y 24", se encontraron que la fuerza de adherencia desarrollada es inversamente proporcional a la longitud de la tablilla embebida (Figura 16).

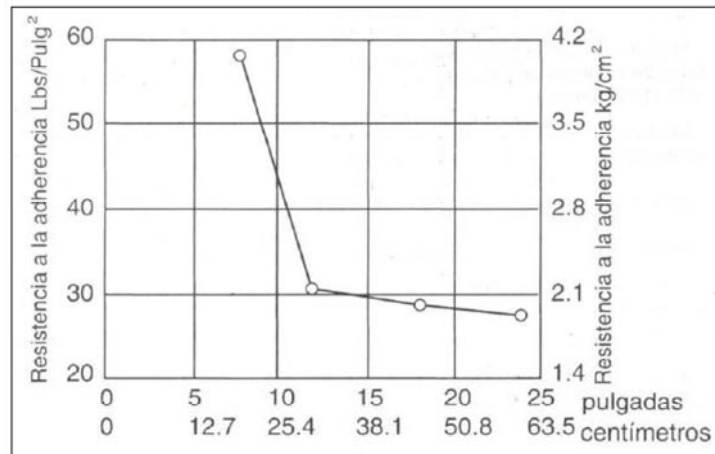


Figura 16: Resistencia a la adherencia vs longitud de la parte embebida en el concreto
 FUENTE: Octavio 2001.

Argollo y Freire, citado por Gonzales (2001) indican que para averiguar la adherencia entre el bambú y el concreto fabricaron probetas de prueba de concreto con tablillas de bambú incrustadas en cada una de ellas. Todas las tablillas fueron sometidas a un pretratamiento de inmersión por treinta minutos en agua hirviendo y posteriormente secado al aire libre durante un mes.

Los tratamientos comprendieron:

- (TT) Testigo: tablilla de bambú sin ningún tratamiento físico.
- (AA) Alquitrán con arena: tablilla inmersa en alquitrán caliente y salpicado con arena media.
- (GC) Grapas de cerca: tablillas clavadas con grapas de alambre
- (AP) Alambre de púas: tablillas envueltas con alambre de púas
- (RC) Raspado de la cutícula: tablillas con la cutícula raspada

Todos los tratamientos probados son de bajo costo y fácilmente aplicables por cualquier usuario, sea de la zona urbana o rural; para cada tratamiento se probaron tres profundidades de anclaje diferentes: a 10, 20 y 30 centímetros. Los ensayos se realizaron a los 28 días de edad del concreto.

En el Tabla 5 se presenta los valores de la fuerza aplicada sobre las tablillas para arrancarlas de los cuerpos de prueba de concreto, que varían de acuerdo con el tratamiento y la profundidad de anclaje probada.

Tabla 5: Promedios de las fuerzas de arrancamiento aplicadas (kg)

Tratamientos	Profundidad de anclaje			
	10 cm	20 cm	30 cm	Promedios
T T	215,01	659,29	822,33	565,55
A A	674,58	1171,85	1847,45	1231,29
G C	601,21	859,02	1309,42	923,21
A P	862,07	627,70	1059,76	849,85
R C	282,26	751,00	793,80	609,02
Promedios	527,03	813,77	1166,55	

FUENTE: Argollo y Freire 1992.

Se observa que extraer una tablilla de bambú tratada con alquitrán y arena (AA), enclavada en un cuerpo de prueba de concreto, exigió mayor fuerza que arrancar tablillas con otros tratamientos, por tanto es el tratamiento recomendado para mejorar la adherencia.

2.7.2 Limitaciones en el área de refuerzo

Datta, citado por Gonzales (2001) indica que, una de las conclusiones a las que llegó en sus experimentos fue que cuando se utilice bambú como sustituto del acero en la zona de tensión de una viga de concreto, el área de la sección transversal del bambú, debido a su bajo módulo de elasticidad a la tensión, debe ser por lo menos doce veces mayor que el área de la sección transversal del acero.

Por otra parte Glenn, citado por Gonzales (2001), sostiene que la capacidad de carga de una viga de concreto reforzada con bambú se incrementa con el aumento del porcentaje de refuerzo hasta un valor óptimo, el cual se logra cuando el área transversal del refuerzo longitudinal del bambú es del 3 a 4 por ciento del área de la sección transversal de la viga de concreto.

Otras de las Conclusiones de Glenn (1944) obtenidas de los resultados de las pruebas efectuadas con vigas de concreto reforzado con bambú fueron:

- El diseño de elementos estructurales de concreto reforzado con bambú, destinado a soportar cargas flexionantes, estará condicionado por la cantidad de flexión permisible. En todos los elementos de concreto sometidos a cargas flexionantes se observa un alto grado de flexión antes de que se presente la falla. A causa de la considerable flexión antes descrita, la falla de elementos de concreto reforzado con bambú obedece a otras causas, que se presentan, generalmente, mucho antes que el refuerzo de bambú llegue al límite de su resistencia a la tensión. Para el diseño de elementos cuya flexión tenga que ser menor que **1/360 de** su longitud máxima, deben considerarse valores no mayores de 210 a 280 kg/cm² para la resistencia del refuerzo de bambú a la tensión. Cuando se considera este pequeño valor en el diseño del elemento de concreto reforzado con bambú sometido a cargas flexionantes, se obtiene un amplio margen de seguridad en el cálculo de la falla definitiva del elemento en cuestión.
- Se recomienda seguir el mismo procedimiento para el diseño de elementos estructurales de concreto con el refuerzo común de acero, y los elementos análogos, reforzados con bambú.

Por otra parte Hidalgo (1974) concluye de las investigaciones de Datta (1935), que las cañas de bambú poseen considerablemente mayor resistencia a la tensión que el concreto; por esta razón pueden usarse en la zona de tensión en lugar del acero de refuerzo de una viga de concreto reforzada. En comparación con el acero, el bambú posee un reducido módulo de elasticidad a la tensión, por lo cual es necesario reemplazar el área de la sección transversal en la zona de tensión de la viga de concreto reforzado, por una mayor área de sección transversal de bambú, para lograr el mismo efecto; en cualquier caso el uso del bambú como sustituto del acero parece posible solamente en vigas que no presenten una función vital

2.8 ANTECEDENTES DEL CONCRETO REFORZADO CON BAMBÚ

Gonzales (2001) indica que, uno de los primeros estudios del bambú es el realizado en 1914 por H.K. Chu en el Instituto Tecnológico de Massachusetts, en Estados Unidos.

En la China se ha investigaciones en este campo desde hace muchos años. Las primeras aplicaciones de que se tiene noticia se realizaron en 1918, pudiendo citar las siguientes:

- En la construcción del cuarto de refrigeración de la International Export Co. En Nanking, se emplearon tablillas cuadradas de bambú de 6 mm como refuerzo de muros de concreto de 5 cm de espesor, que se construyeron con el objetivo de proteger al aislante de corcho
- El gobierno Chino utilizó en la cimentación de algunos puentes de ferrocarril, pilotes de fricción de concreto reforzado con bambú con el objeto de facilitar su transporte y colocación
- La dirección de Conservación de Whangpoo empleo placas de concreto reforzadas con bambú en muros de protección debajo del agua.
- Posteriormente el bambú fue utilizado como refuerzo en concreto durante la segunda guerra mundial. En las islas del Pacífico se realizaron construcciones de instalaciones militares con bloques de concreto reforzados de bambú por parte de las fuerzas armadas de Japón y Estado Unidos. Este último país lo utilizó para los mismos propósitos cuando intentó construir una estructura abovedada en concreto reforzado con bambú, durante la guerra de Vietnam, con resultados poco alentadores.
- En la guerra del sur oeste Asiático (1963), se utilizó en instalaciones militares, a raíz de lo cual se hicieron de nuevo investigaciones en este sentido en los Estados Unidos.

Atauje (1986) señala que, a manera de aplicación, de las investigaciones realizadas por el profesor H.E. Glenn en 1944, en Clemson Agricultural College of South Carolina, Estados Unidos, se construyeron tres tipos de edificios con la finalidad de poner en práctica las recomendaciones de diseño y construcción resultantes del trabajo de laboratorio. Se construyeron unidades cuyas características se explican a continuación:

La unidad 1 estaba destinada para carpintería. Sus dimensiones en planta eran de 9.75 x 9.75 m. las zapatas, viguetas, vigas, losa de piso y la mayor parte de la cubierta se vaciaron in situ en concreto reforzado con bambú. Las paredes estaban formadas por unidades prefabricadas de concreto reforzado con bambú.

La unidad 2 de dimensiones de planta de 18 x 9 m, era mucho más complicada que la estructura 1. El edificio de tres pisos fue construido completamente monolítico en concreto reforzado con bambú. El sistema estructural utilizado en la unidad fue: losas planas con luces continuas y no continuas, vigas rectangulares con luces continuas y no continuas, vigas de sección “T” parciales y totales con luces continuas y no continuas y paredes y viguetas soportadas por columnas portantes.

La unidad 3, destinada para casa de campo, presentaba un sótano cuyo piso fue construido colocando una capa de 3” de escoria compactada sobre tierra y encima de esta una capa de concreto monolítico de 2” de espesor. Tallos nativos de bambú con diámetros de 1/2” y espaciados 12” entre centros, en ambas direcciones, fueron colocados como refuerzo contra esfuerzos de temperatura con la mezcla de estuco.

En un proyecto sanitario realizado por Hazbun (1982) en la Isla Salomón, encontró que el bambú-concreto desarrolla resistencias similares a las que se desarrollan en el fierro-concreto. Hazbun, ha confeccionado un manual donde desarrolla la tecnología de los tanques-paneles; estos elementos aparte de ser económicos, de fácil transporte y colocación, son tan duraderos como los tanques de acero galvanizado, o que los tanques de concreto reforzado con acero (Hazbun, citado por Atauje 1986).

En el Perú, Isabel Moromi (1972) realizó en la Universidad Nacional de Ingeniería una investigación en vigas de suelo-cemento reforzado con bambú, con el fin de determinar la factibilidad de ser utilizadas como vigas de arriostre de muros de adobe. Con el estudio se pudo concluir que la resistencia aumentó al utilizar bambú de refuerzo, este porcentaje fue de 27 por ciento aproximadamente al utilizar bambú impermeabilizado con asfalto RC -2, el refuerzo de bambú además de aumentar la resistencia de las vigas le da mayor ductilidad.

Miguel Atauje Calderón (1987) realizó en la Pontificia Universidad Católica del Perú una investigación sobre el comportamiento de elementos de concreto reforzado con caña brava.

El estudio de las propiedades mecánicas de la caña permitió concluir que la especie denominada *caña brava* es la más adecuada para ser utilizada como refuerzo dada su alta resistencia, y debido a que permite desarrollar una mejor adherencia con el concreto.

En América Central, también se han venido desarrollando investigaciones sobre el tema, prueba de ello son las realizadas por Alejandro Navas y Juan Pastor (1990), quienes realizaron en el laboratorio de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica un estudio sobre la factibilidad del uso de cables de bambú como refuerzo de vigas de concreto. El estudio se realizó en dos etapas: a corto plazo y largo plazo; la primera se evaluó la respuesta carga - deflexión y resistencia bajo cargas concentradas en los tercios medios de la viga mientras que la segunda etapa se analizó las deflexiones generadas por cargas durante 5 meses.

En la investigación se utilizó como refuerzo cables de dos y tres cintas formando una trenza para mejorar la adherencia entre el bambú y el concreto, como refuerzo de cortante se usó estribos fabricados con cintas de bambú. Navas y Pastor llegaron a las siguientes conclusiones:

- El agrietamiento de las vigas reforzadas con bambú se producían cuando la carga alcanzaba un valor aproximado de 683 kg.
- La resistencia de vigas de concreto sin refuerzo puede incrementarse hasta 3,5 veces al utilizar cables de bambú como refuerzo.
- La respuesta carga-deformación de las vigas reforzadas con bambú difieren de la respuesta de las vigas reforzadas con varillas de acero ya que su tasa de deflexión a través del tiempo es mayor. Otra diferencia observada consiste en el cambio brusco de pendiente que presentan las vigas reforzadas con bambú en los primeros 10 días de haber sido cargadas (Figura 17). Este fenómeno coincide con lo observado por Kankam et al. (1988).
- Tanto las vigas reforzadas con acero como las reforzadas con bambú presentan una recuperación de flexión (luego de cinco meses de carga sometida) muy similar a su deflexión instantánea.
- Las vigas reforzadas con bambú fallan por una combinación de flexión y cortante, mientras que las vigas con refuerzo de varillas de acero fallan por flexión solamente. En ningún caso el refuerzo (bambú o acero) se revienta, sino que todas las fallas se producen por agrietamiento (aplastamiento) secundario de la sección comprimida de concreto.

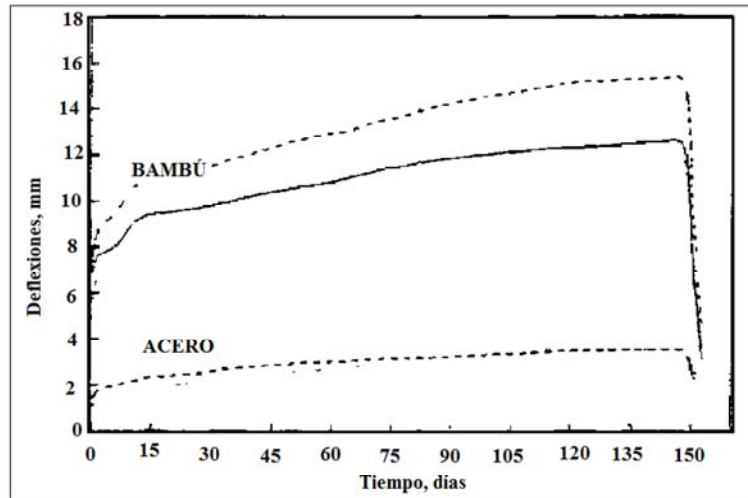


Figura 17: Deflexiones a largo plazo

FUENTE: Navas y Pastor 1990.

Por otra lado Poveda (2011), quien realizó un proyecto en la Escuela de Ingeniería en Construcción del Instituto Tecnológico de Costa Rica donde realiza una comparación del bambú con el acero como material de refuerzo a flexión en concreto.

En el estudio se utilizó como refuerzo tablillas de bambú de superficie lisa y acanalada a los cuales les realizo cuatro tratamientos: secado, estabilización dimensional, estabilización de humedad y mineralización (proceso químico que homogeniza la adherencia entre el bambú y concreto a lo largo de la tablilla). Poveda llega a las siguientes conclusiones:

- El uso de tablillas acanaladas no asegura que se encuentre una adherencia perfecta entre el bambú y el concreto, por lo cual es necesario profundizar el análisis en este tema.
- El uso de tablillas de bambú como refuerzo implica que disminuya la capacidad del concreto en la fibra a tensión cuando este se somete a flexión, esto debido a los valores tan cercanos que existen entre el módulo de elasticidad del bambú y el concreto.
- La falla de los elementos reforzados con bambú, es una falla del tipo frágil, con lo cual se está dejando de lado el principio de ductilidad en el concreto reforzado, lo cual es un principio fundamental del diseño de concreto reforzado.
- Debido a que las fallas en elementos reforzados con bambú son frágiles, no se debe usar elementos de este tipo para fines estructurales o bien en elementos que requieran de cierta ductilidad.

Adom –Asamoh investigador de la Universidad Kwame Nkrumah de Ciencia y Tecnología, Kumasi-Ghana publica en 2011 en la Revista Internacional de Ingeniería Civil y Estructural su trabajo de investigación titulado: Estudio comparativo de vigas de concreto reforzado de bambú con diferentes estribos para la construcción rural.

Para el estudio se elaboraron vigas de concreto reforzadas longitudinalmente con bambú mientras que los estribos fueron de bambú, caña de ratán y acero, se fabricaron un total de 16 vigas que fueron sometidas a ensayo de flexión registrando su comportamiento estructural. No se aplicó ningún tratamiento especial a las tablillas de bambú (por ejemplo, en lo que respecta al tratamiento de la emulsión de asfalto) para no elevar los costos de los materiales, en bambú utilizado en la investigación fue de la especie *Bambusa vulgaris*, por ser la especie de bambú predominante en el sur de Ghana, que constituye el 95 por ciento de las poblaciones de esta zona (Oteng Amoako *et al.*, citado por Adom –Asamoh 2011).

Para poder realizar las comparaciones de los diversos materiales en la elaboración de los estribos Adom, adopta un término llamado índice de rendimiento de la viga (BPI).

La definición de rendimiento en su investigación es una función de las cargas aplicadas y las deflexiones centrales en las vigas. Esto se mide como el trabajo realizado o la energía absorbida por las vigas desde el inicio de la fisuración hasta la falla; el uso de energía absorbida como una definición de rendimiento es todavía insuficiente, una definición más racional es la que incorpora el costo incurrido en la absorción de energía o en el trabajo. Con ello se introduce una medida más práctica del comportamiento estructural de las vigas, que mide la cantidad de energía absorbida o trabajo realizado por costo unitario de construcción de la viga (ecuación 3).

$$\mathbf{BPI} = \frac{\int_{P_{cr} D_{cr}}^{P_f D_f} PD}{\mathbf{Costo\ de\ la\ viga}} \quad \dots \text{ecuación 3}$$

Donde:

- P = carga aplicada
- D = deflexión central
- P_{cr} = primera carga de fisura
- D_{cr} = deflexión en la primera grieta
- P_f = carga de falla
- D_f = deflexión en la falla

La ventaja de utilizar el BPI es que captura el comportamiento no lineal en el rendimiento estructural como el costo de la viga. Estos dos aspectos del diseño y desempeño de la construcción son importantes tanto para el diseñador como para el cliente. La limitación del modelo BPI en la opinión de los autores es que el comportamiento no lineal debe ser calibrado de un proyecto a otro (Adom –Asamoh 2011).

Adom –Asamoh llega a las siguientes conclusiones de su investigación:

- Las vigas que tenían refuerzos longitudinales de bambú entre 4 a 5 por ciento del área de la sección transversal de la viga, registraron los valores más altos comparados con otros grupos de vigas. Esto confirmó investigaciones anteriores de que el porcentaje óptimo de refuerzo de bambú en la matriz del concreto está entre 3 a 5 por ciento.
- El modo de falla para las vigas de concreto armado sin refuerzo de estribos (Figura 18), se propaga una grieta de flexión (a-b) hacia el punto de carga a medida que aumenta la carga V . Un aumento adicional en la carga da lugar gradualmente a un corte de flexión o grieta diagonal (a-b-c), la grieta de tensión diagonal termina en j y se producirán grietas al azar en la región del concreto cerca del refuerzo de tensión longitudinal (g-h). Esta grieta acabará por destruir el enlace entre el concreto y el refuerzo longitudinal que causa la división del concreto a lo largo de (a-h). Si el refuerzo longitudinal se engancha, entonces se produce un colapso repentino. Las grietas diagonales se extienden hacia la zona de compresión del concreto, causando eventualmente el aplastamiento del concreto. Cabe destacar que todas las vigas fallaron por el modo de corte frágil en lugar del modo dúctil lo cual es usual en los refuerzos de tensión sometidos a flexión.

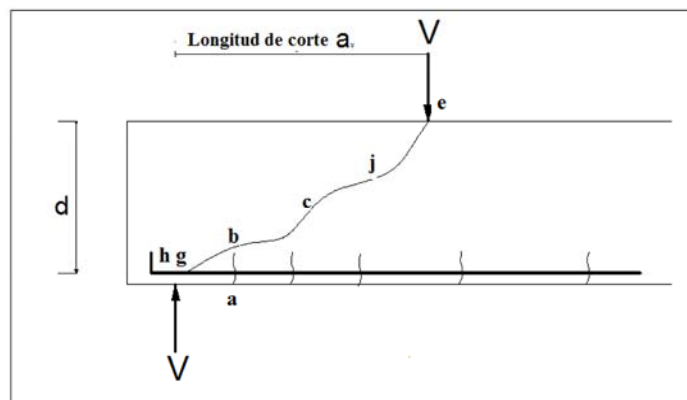


Figura 18: Desarrollo de grietas en vigas sin estribos

FUENTE: Adom –Asamoh 2011.

- Los medios más baratos y económicos de proporcionar refuerzo por corte para vigas reforzadas con bambú según el BPI, son estribos de acero y los medios más caros son los estribos de caña ratán. Por lo tanto, se recomienda que las vigas de concreto armado de bambú estén reforzadas con estribo de acero para mejorar su comportamiento de carga.

2.9 DISEÑO EXPERIMENTAL Y MÉTODOS ESTADÍSTICOS

El diseño experimental toma su origen a través de una serie de investigaciones realizadas por Ronald Fisher que en el año de 1926 publicó el primer resumen de sus ideas en el artículo “The Arrangement of fieldexperiments”; en ese importante artículo describió tres componentes fundamentales de los experimentos en el área de pruebas agrícolas: **control local** de las condiciones de campo para reducir el error experimental, **replicación** como un medio para estimar la varianza del error experimental y **aleatorización** para obtener una estimación válida de esa varianza (Kuehl, citado por Capera y Eriazo 2012), ver Figura 19.

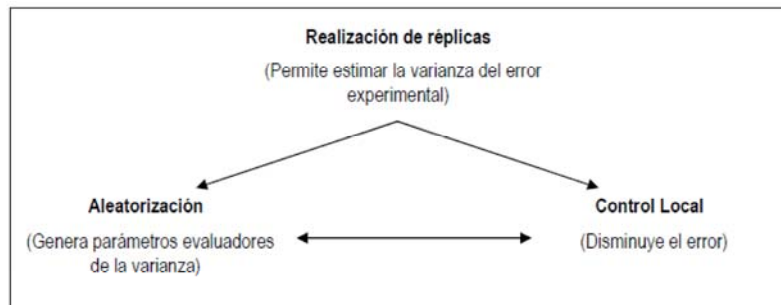


Figura 19: Principios de diseño de experimentos

FUENTE: Triana 2001.

El diseño estadístico de experimentos se refiere al proceso para planear el experimento de tal forma que se recaben datos adecuados que puedan analizarse con métodos estadísticos que llevarán a conclusiones válidas y objetivas. El enfoque estadístico del diseño experimental es necesario si se quieren sacar conclusiones significativas de los datos. Cuando el problema incluye datos que están sujetos a errores experimentales, la metodología estadística es el único enfoque objetivo de análisis. Por lo tanto, cualquier problema experimental incluye dos aspectos: el diseño del experimento y el análisis estadístico de los datos. Estos dos aspectos

se encuentran íntimamente relacionados porque el método de análisis depende directamente del diseño empleado. Ver Tabla 6.

Tabla 6: Pautas generales para diseñar un experimento

1. Identificación y exposición del problema	} Planeación previa al experimento
2. Elección de los factores, los niveles y los rangos.*	
3. Selección de la variable de respuesta.*	
4. Elección del diseño experimental.	
5. Realización del experimento.	
6. Análisis estadístico de los datos.	
7. Conclusiones y recomendaciones.	
* En la práctica, los pasos 2 y 3 suelen hacerse simultáneamente o en el orden inverso	

FUENTE: Montgomery y Douglas 2003.

2.9.1 Diseño factorial multinivel

Los diseños factoriales producen experimentos más eficientes, pues cada observación proporciona información sobre todos los factores, y es factible ver las respuestas de un factor en diferentes niveles de otro factor en el mismo experimento (Kuehl, citado por Capera y Erazo 2012).

El término factor se utiliza en un sentido general para denotar cualquier característica del experimento y los niveles de un factor como los valores reales que se utilizan en el experimento, para cada uno de estos casos es importante no solo determinar si los dos factores tienen una influencia en la respuesta sino también si hay una interacción significativa entre los dos factores (Walpole 1998).

2.9.2 Análisis de la varianza

El análisis de la varianza se considera como una forma de comprobar si dos o más medias de muestrales puede haberse obtenido de poblaciones con la misma media paramétrica respecto de una variable dada; las premisas necesarias para la aplicación ANOVA, requiere que los datos a tratar cumplan los siguientes supuestos; **Independencia de los datos**, el muestreo debe ser aleatorio, lo que asegura la independencia de los datos generados, **Normalidad** la independencia de los datos no permite, en la mayoría de los casos, presuponer que la distribución de los datos corresponde a una normal, **Homoscedasticidad** la igualdad de las varianzas (homogeneidad u homoscedasticidad) en un grupo de muestra es una importante pre- condición para diversos tests estadísticos (Serrano 2003).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Para establecer la capacidad que tienen los elementos de bambú para ser utilizados como refuerzo en elementos de concreto, se realizaron pruebas de laboratorio tanto en el bambú como en las vigas de concreto reforzadas para determinar el comportamiento de ambos materiales en conjunto. La secuencia de la metodología se resume en la Figura 20.



Figura 20: Diagrama general del proceso de investigación

3.2 DESPACHO, RECEPCIÓN Y ALMACENAMIENTO

El bambú utilizado en la investigación fue adquirido de los almacenes de Lurín (punto de venta local), donde llegan de varios rodales del Perú e importados de Ecuador y Chile, en nuestro caso fue de Ecuador. (Figura 21).



Figura 21: Almacén de bambú en Lurín

Una vez recepcionado el material al lugar de disposición final (Figura 22 (a)), que fue el laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Nacional Agraria la Molina, se organizó, inventarió y numeró (Figura 22 (b)).



Figura 22: Recepción y marcación del bambú

Posteriormente, los culmos fueron medidos y caracterizados como lo indica la NTC 5525 (ICONTEC 2007), y toda la información fue consignada en un formato adaptado del laboratorio de Guadua y Madera del Instituto de Investigaciones Tecnológicas de la Universidad Nacional de Colombia (Figura 23).

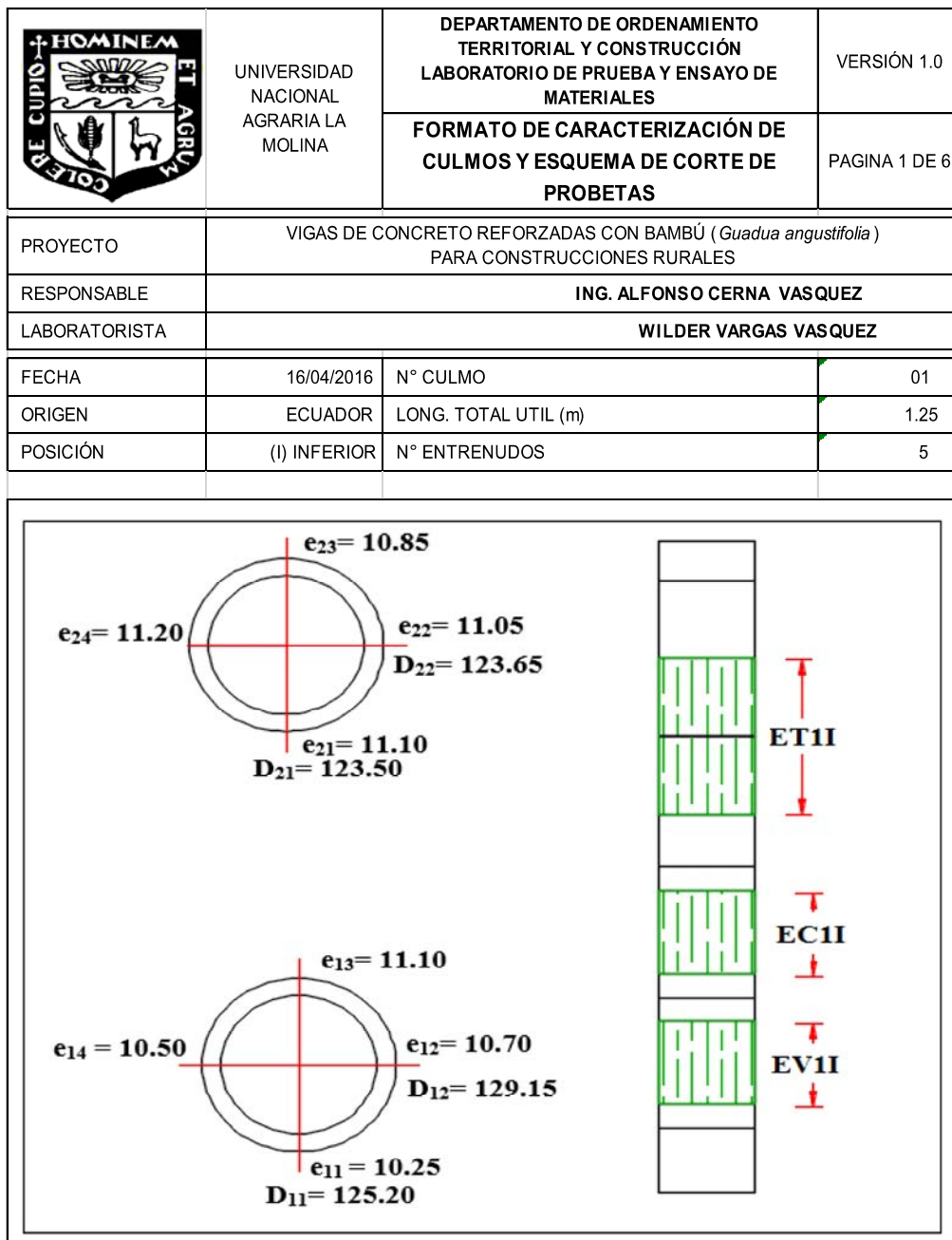


Figura 23: Formato para la caracterización de culmos y esquema de corte de probetas
 FUENTE: Adaptado de Ardila 2013.

3.3 OBTENCIÓN DE PROBETAS

Las probetas obtenidas para la realización de los diferentes ensayos mecánicos fueron rotuladas debidamente, conforme se muestra en la Figura 24, en donde se indica el lugar de origen (Ecuador), el tipo y número de ensayo según correspondió , así como la posición relativa de la probeta en el culmo.

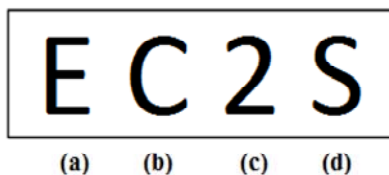


Figura 24: Nomenclatura para la identificación de las probetas usadas en cada ensayo
FUENTE: Adaptado de Ardila 2013.

En donde:

(a) Lugar de origen del material (Ecuador)

(b) Tipo de ensayo:

C Compresión paralela a la fibra

V Corte paralelo a la fibra

T Tensión paralela a la fibra

(c) Número o cantidad de ensayos según tipo:

C 12 ensayos

V 12 ensayos

T 9 ensayos

(d) Posición del culmo de donde es obtenida la probeta:

I Inferior

M Media

S Superior

Antes de realizar el corte en el culmo para la obtención de cada probeta, independiente del tipo de ensayo, es necesario identificar en el culmo el nudo o entrenudo destinado para tal fin, esto se hace mediante la caracterización del culmo y el esquema del corte de cada probeta según el formato como se puede observar en la Figura 23. Así se logra identificar fácilmente

el origen de cada probeta, la longitud del culmo, la longitud de la probeta, diámetro interno y externo del culmo, número de probetas y entrenudos en cada culmo.

Los tallos o culmos registraron las siguientes características:

- Longitud promedio de 3 m
- Distanciamiento promedio de nudos de 23,80 cm
- Diámetro promedio de 92,50 mm
- Espesor promedio de 8,25 mm

Posterior a la identificación de las probetas para cada ensayo en particular se cortaron (Figura 25) y alistaron como se indica en la NTC5525 (ICONTEC 2007), en relación con la exactitud de los cortes para lograr una prueba válida, en la Figura 26 se aprecia algunas de las probetas preparadas para los ensayos.



Figura 25: Corte y preparación de las probetas



Probetas para los ensayos de compresión y corte **Probetas para los ensayos de tensión**
Figura 26: Probetas de bambú para los ensayos

3.4 CARACTERIZACIÓN DEL BAMBÚ

Debido a que las propiedades tanto físicas como mecánicas del bambú dependen de las características medioambientales de la región donde se cosecha, la edad, el contenido de humedad y el estado físico, entre otros factores, y que en los ensayos efectuados por diferentes investigadores se ha observado gran dispersión en los resultados, es necesario, caracterizar y conocer las propiedades físico mecánicas del bambú utilizado, previamente a la evaluación del su comportamiento como refuerzo en vigas de concreto.

Con el fin de obtener las propiedades mecánicas de la *Guadua angustifolia* se realizaron ensayos de compresión paralela a la fibra, corte paralelo a la fibra y tensión paralela a la fibra, de acuerdo con las especificaciones de la Norma Técnica Colombiana NTC5525 (ICONTEC 2007). Adicionalmente para cada una de las probetas ensayadas se determinó el hinchamiento y contenido de humedad.

Con base en los resultados de los ensayos de caracterización se determinaron los valores de resistencia a diferentes acciones: tensión paralela a la fibra, compresión paralela a la fibra, y cortante paralelo a la fibra. De la misma forma se calcularon: el módulo de elasticidad longitudinal en tracción y compresión. El plan experimental planteado para realizar la caracterización de *Guadua angustifolia* se presenta en la Tabla 7.

Tabla 7: Plan experimental para la caracterización de la *Guadua angustifolia*

Ensayo	Cantidad	Propiedad obtenida	Norma
Ensayo de tensión paralela a la fibra	9*	Resistencia a la tensión paralela a la fibra	NTC 5525
		Módulo de Elasticidad Longitudinal	NTC 5525
Ensayo de compresión paralela a la fibra	12	Resistencia a la compresión paralela a la fibra	NTC 5525
		Módulo de Elasticidad Longitudinal	NTC 5525
Ensayo de corte paralelo a la fibra	12	Resistencia al corte paralelo a la fibra	NTC 5525

* Se realizaron solo esta cantidad de ensayos por que las probetas restantes se rompieron antes de culminar el ensayo.

El equipo utilizado para los ensayos mecánicos fue una Máquina Universal de capacidad de carga de 60 000 libras marca TINIUS OLSEN Modelo 1985 ubicada en el laboratorio de Propiedades Físicas - Mecánicas de la Madera del Departamento de Industrias Forestales de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria la Molina.

3.4.1 Propiedades Físicas

Según se ha estudiado, el bambú es un material cuyas propiedades mecánicas dependen de la especie botánica, la edad de corte, la sección del culmo que se utilice y de las propiedades físicas. Los parámetros tenidos en cuenta fueron: Hinchamiento y contenido de humedad.

3.4.1.1 Hinchamiento

Se ha encontrado que la poca adherencia que se desarrolla entre el bambú y el concreto se debe principalmente al cambio volumétrico que experimenta el bambú, con los cambios en su contenido de humedad, por este motivo se ha creído conveniente realizar este ensayo.

El ensayo es una adaptación del ensayo de hinchamiento realizado por Atauje en su estudio de Adherencia Bambú – Concreto elaborado en la Pontificia Universidad Católica del Perú en 1986, consiste en introducir las muestras en un depósito lleno de agua, y tomar lecturas de espesor, diámetro y peso a los 24, 48, 72, 96 y 120 horas de estar sumergidas en agua.

3.4.1.1.1 Fabricación de probetas

Se utilizaron culmos enteros, los cuales fueron cortados en segmentos de 10 cm de longitud, los cortes se hizo con cuidado para no dañar los extremos de la probeta.

Se elaboraron seis probetas, las tres primeras no tuvieron ningún impermeabilizante (Figura 27 (a)), mientras que a la cuarta probeta se le impermeabilizó ambas caras (Figura 27 (b)) y a los dos últimas se les impermeabilizó solo la cara interna (Figura 27 (c)). Tal como se indica en la Tabla 8.

Se utilizó el asfalto líquido RC-250 como impermeabilizante con la finalidad de cuantificar la magnitud del cambio volumétrico, producido en las probetas, cuando estos se encuentran inmersos en el agua. El ensayo nos permitirá averiguar la influencia del asfalto líquido RC-250 como impermeabilizante para minimizar la hinchazón, cuando se le somete a incrementos de humedad.

Tabla 8: Cantidad de muestras y características del ensayo de hinchamiento

Nº	Muestra	Característica
1	EH1I	Probeta sin impermeabilizar, parte inferior del culmo
2	EH2S	Probeta sin impermeabilizar, parte superior del culmo
3	EH3M	Probeta sin impermeabilizar, parte media del culmo
4	EH4IMP	Probeta impermeabilizado con asfalto RC-250 ambas caras
5	EH5SIMP	Probeta impermeabilizado con asfalto RC-250 solo la cara interna
6	EH6SIMP	Probeta impermeabilizado con asfalto RC-250 solo la cara interna

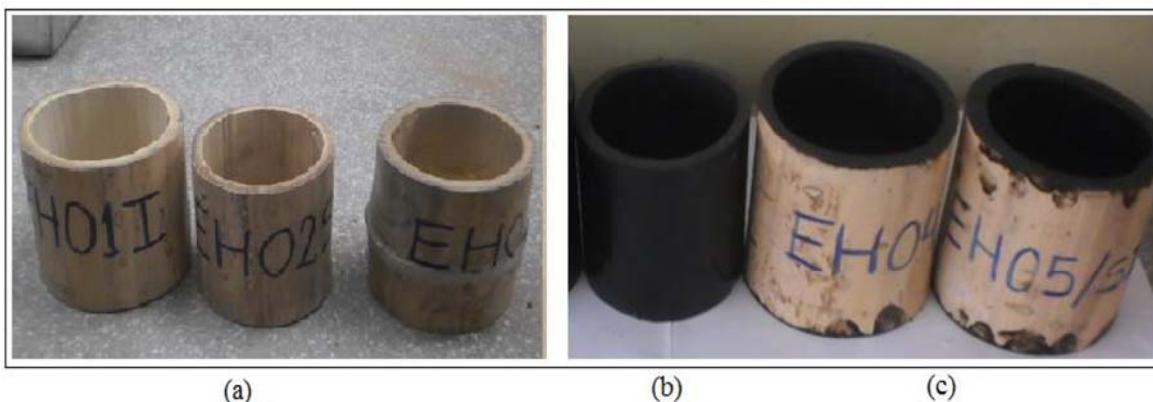


Figura 27: Probetas elaboradas para el ensayo de hinchamiento

3.4.1.1.2 Caracterización del ensayo

En cada extremo de las seis probetas se tomaron lecturas del diámetro y el espesor. Se complementó este ensayo, registrando el peso de la probeta, simultáneamente con las medidas efectuadas. De tal forma que como resultado se obtuvo incrementos de dimensiones y de peso.

Las lecturas fueron tomadas cada 24 horas, durante 5 días. Antes de tomar las lecturas, las probetas fueron secadas superficialmente, ya que lo que se busca es medir la cantidad de agua absorbida. Para realizar las medidas del diámetro y espesor se usó un vernier, la medición de los pesos fue hecha con una balanza graduada al décimo de gramo. Como se indica en la Figura 28.



Figura 28: Medición de las dimensiones y peso

3.4.1.2 Contenido de humedad

El ensayo de contenido de humedad del bambú, se realizó finalizado los ensayos mecánicos, siendo la cantidad de muestras usadas para el ensayo de contenido de humedad igual a la cantidad de probetas usadas para los diferentes ensayos mecánicos (Tabla 9), de las cuales se extrajo una muestra de la parte cercana a la falla.

El contenido de humedad (CH) es el porcentaje en masa, que tiene el agua libre más el agua higroscópica con respecto a la masa del bambú anhidro. Para una muestra cualquiera de bambú se determinó siguiendo las recomendaciones de la NTC 5525, mediante la siguiente fórmula:

$$CH = \frac{m - m_o}{m_o} \times 100$$

Donde:

m = masa de la probeta antes del secado (húmedo)

m_o = masa de la probeta después del secado (anhidro)

La Figura 29(a) muestra las probetas húmedas, y la Figura 29(b) el pesaje de las probetas, finalmente la Figura 29(c) el secado al horno de las probetas.

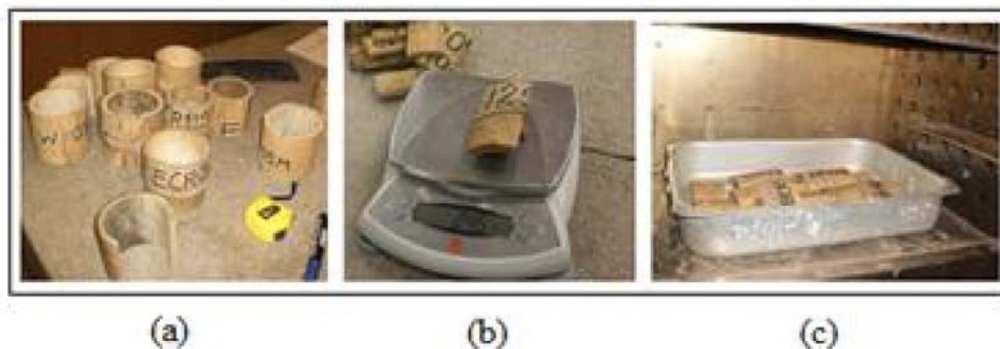


Figura 29: Procedimiento para el ensayo de contenido de humedad

Tabla 9: Cantidad de muestras para los ensayos de contenido de humedad

Propiedades Físicas		
Tipo	Ensayo Mecánico	Nº Muestras
Contenido de Humedad	Compresión	12
	Corte	12
	Tensión	9

3.4.2 Propiedades Mecánicas

Para realizar el diseño de cualquier componente estructural de manera eficiente, es necesario conocer sus propiedades mecánicas y para eso necesitamos realizar algunos ensayos; en el caso de bambú se realizaron los ensayos de compresión paralela a las fibras, corte paralelo y tensión paralela a las fibras. Se obvió el ensayo de flexión por no ser relevante en la investigación.

3.4.2.1 Ensayo de tensión paralela a las fibras

Para determinar la resistencia última del bambú *Guadua angustifolia* ante sollicitaciones de tensión paralela a las fibras, se ensayaron nueve probetas distribuidas de la forma indicada en la Tabla 10.

Tabla 10: Distribución de las probetas ensayadas a tensión

Parte del bambú	Característica	Nº de probetas
Inferior	con nudo	3
Media	con nudo	3
Superior	con nudo	3
Total		9

La rotulación de las probetas para todos los ensayos se hizo como se indica en la Figura 30, mientras que las dimensiones de la probeta utilizada se indican en la Figura 31.



Figura 30: Identificación de probetas para los ensayos a tensión paralela

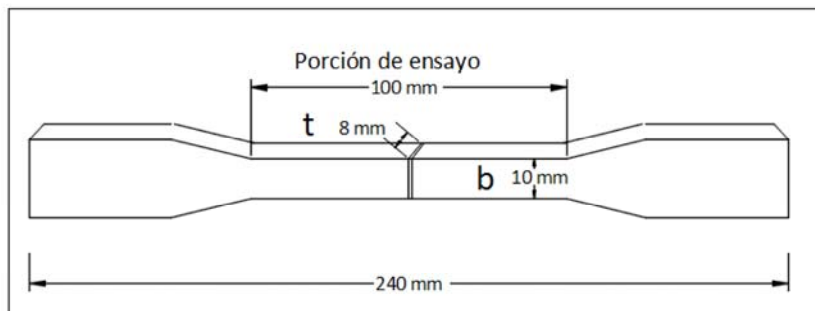


Figura 31: Sección de la probeta para los ensayos a tensión paralela

FUENTE: Elaborado con base a la NTC 5525 2007.

El ensayo de determinación de la resistencia a la tensión paralela a la fibra (Figura 32 (b)) se realizó siguiendo los lineamientos de la NTC5525 todas las probetas ensayadas tuvieron nudo ubicado en la mitad de la porción de ensayo (Figura 32 (a)) cuya medida fue alrededor de los 100 mm, un ancho promedio de 10 mm y espesores que variaron entre 6 y 11,7 mm (Figura 31). La resistencia máxima de tensión se determina con la siguiente fórmula:

$$\sigma_{ult} = F_{ult} / A$$

Donde:

σ_{ult} = esfuerzo último de tensión, en MPa (N/mm²)

F_{ult} = carga máxima a la cual falla la probeta, en N

A = área de la sección transversal de la porción de ensayo, en mm²

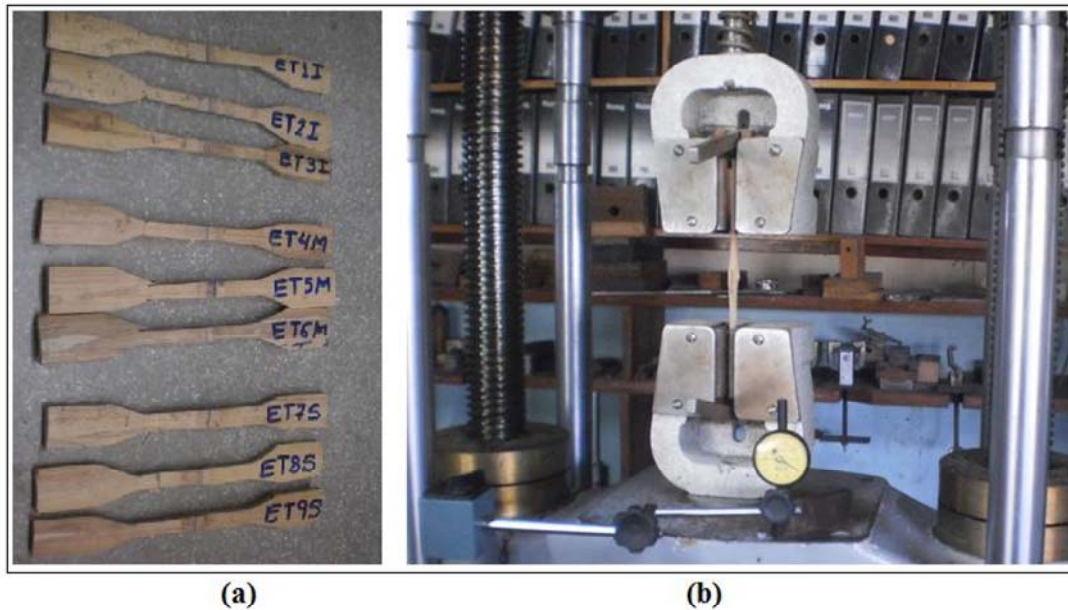


Figura 32: Ensayo de tensión paralela

Luego de la carga última a tensión paralela a la fibra, se evidencio la falla típica dentro de la porción de ensayo (Figura 33).

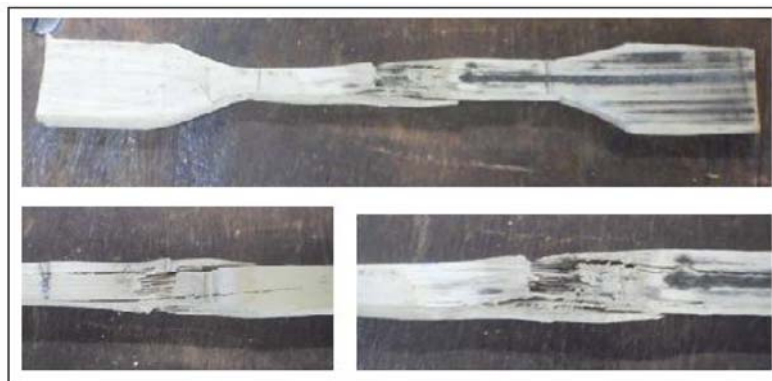


Figura 33: Falla típica de las probetas en el ensayo de tensión paralela

3.4.2.2 Ensayo de compresión paralela

Para determinar la resistencia última del bambú *Guadua angustifolia* ante sollicitaciones de compresión paralela a las fibras, se ensayaron 12 probetas distribuidas de la forma indicada en la Tabla 11.

Tabla 11: Distribución de las probetas ensayadas a compresión

Parte del bambú	Característica	N° de probetas
Inferior	sin nudo	2
	con nudo	2
Media	sin nudo	2
	con nudo	2
Superior	sin nudo	2
	con nudo	2
Total		12

La rotulación de las probetas para todos los ensayos se hizo como se indica en la Figura 34.

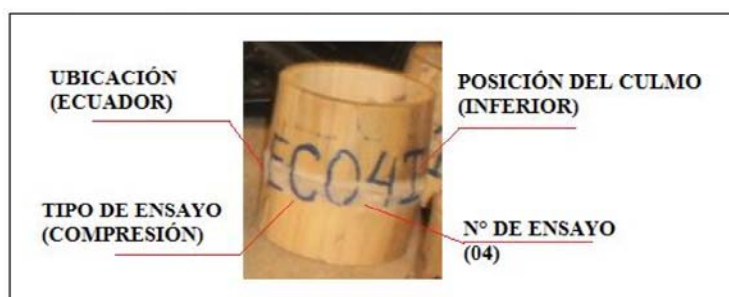


Figura 34: Identificación de probetas para los ensayos a compresión

El ensayo de determinación de la resistencia a la compresión axial o paralela a la fibra se realizó en probetas con una altura igual a su diámetro externo (Figura 35), siguiendo los lineamientos establecidos en la NTC5525.

El esfuerzo último de compresión se determina con la siguiente fórmula:

$$\sigma_{ult} = F_{ult} / A$$

Donde:

σ_{ult} = esfuerzo último de compresión, en MPa (N/mm²)

F_{ult} = carga máxima a la cual falla la probeta, en N

A = área de la sección transversal, en mm²

El Área de la sección transversal está dada por la ecuación:

$A = (\pi/4) \times [D^2 - (D - 2t)^2]$, en donde D es el diámetro externo y t es el espesor de pared, obtenidos de los valores promedios de las mediciones en el segmento.



Figura 35: Ensayo de compresión paralela

Luego de la carga última a compresión paralela a la fibra, se evidenciaron diferentes fallas en las probetas, como la falla por corte (Figura 36(a)) y la falla paralela a las fibras (36(b)).

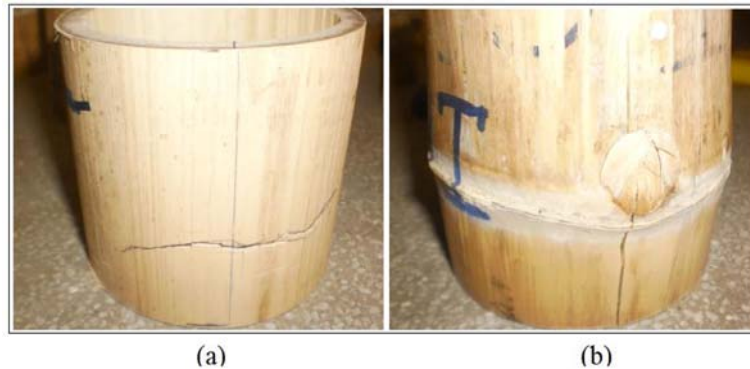


Figura 36: Fallas en la probetas a compresión

3.4.2.3 Ensayo de corte paralelo a las fibras

Para determinar la resistencia última del bambú *Guadua angustifolia* ante solicitaciones de corte paralelo a las fibras, se ensayaron 12 probetas distribuidas de la forma indicada en la Tabla 12.

Tabla 12: Distribución de las probetas ensayadas a corte

Parte del bambú	Característica	Nº de probetas
Inferior	sin nudo	2
	con nudo	2
Media	sin nudo	2
	con nudo	2
Superior	sin nudo	2
	con nudo	2
Total		12

La rotulación de las probetas para todos los ensayos se hizo del mismo modo que el ensayo de compresión.

El ensayo de determinación de la resistencia al corte paralelo a la fibra se realizó en probetas con una altura igual a su diámetro externo (Figura 38), siguiendo los lineamientos establecidos en la NTC5525.

Para este ensayo se apoyaron las probetas en su extremo inferior con sus respectivos platos que procuran la falla por corte (Figura 37).

La resistencia última de corte se determina con la siguiente fórmula:

$$\tau_{ult} = \frac{F_{ult}}{\sum(t \times L)}$$

Donde:

τ_{ult} = Resistencia última al corte, en MPa (N/mm²)

F_{ult} = Carga máxima a la cual falla la probeta, en N

$\sum(t \times L)$ = Suma de los cuatro productos del espesor (t) y altura (L), en mm²



Figura 37: Dispositivos para someter a carga las cuatro secciones longitudinales

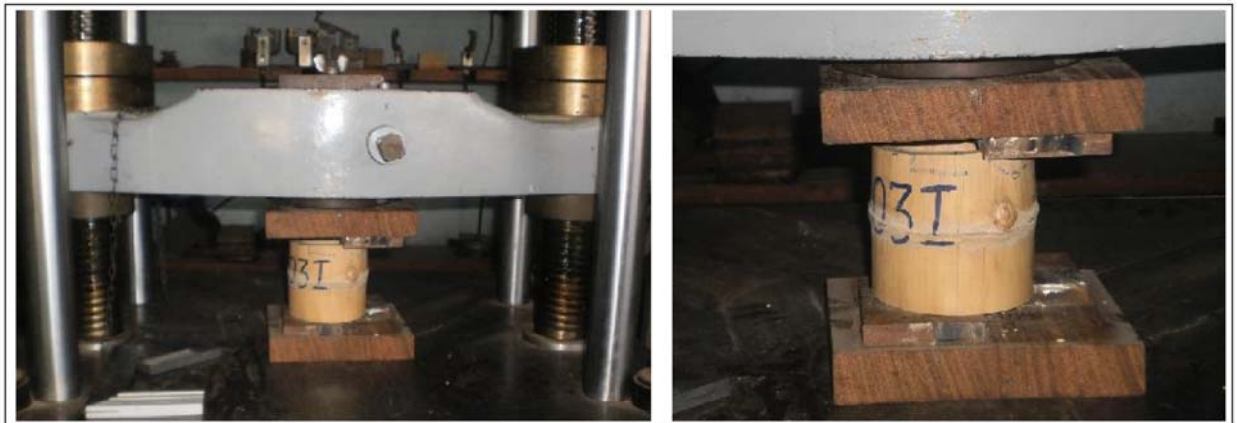


Figura 38: Ensayo de corte paralelo

Luego de la carga última a corte paralelo a la fibra, se evidenciaron la falla típica en las probetas (Figura 39).



Figura 39: Falla típica del ensayo de corte paralelo

3.4.3 Determinación de los valores máximos admisibles

Esta parte del estudio tiene por finalidad presentar el planteamiento metodológico para determinar los valores máximos admisibles de las diferentes sollicitaciones del bambú.

Para el cálculo de valor característico para cada tipo de ensayo se utilizó la siguiente formula:

$$f_{ki} = f_{0.05i} \left[1 - \frac{2.7 \frac{s}{m}}{\sqrt{n}} \right]$$

Una vez determinado el valor característico, se determinó el valor del esfuerzo admisible para cada tipo de ensayo.

Los factores de reducción se tomaron del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 / Tabla G.12.7-3.

$$F_c = \frac{FC}{(F_s)(FDC)} (f_{kc})$$

Factor	Flexión	Tracción	Compresión	Compresión ⊥	Corte
FC	-	0,5	-	-	0,6
Fs	2,0	2,0	1,5	1,8	1,8
FDC	1,5	1,5	1,2	1,2	1,1

3.4.4 Módulo de elasticidad

El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR -10 (2010) establece que, para el análisis de elementos estructurales se debe utilizar el módulo promedio ($E_{0.5}$) como módulo de elasticidad del material, y el módulo mínimo (E_{\min}) se debe utilizar para calcular los coeficientes de estabilidad de vigas (C_L) y de columnas (C_P) mientras que el módulo percentil 5 ($E_{0.05}$) se debe utilizar para calcular las deflexiones cuando las condiciones de servicio sean críticas o requieran un nivel de seguridad superior al promedio.

Sin embargo se enfatiza que la selección del módulo de elasticidad adecuado dependerá del criterio del ingeniero calculista.

3.4.4.1 Módulo de elasticidad a tensión paralela

La preparación y ensayo de las probetas se realizó siguiendo los parámetros establecidos en la NTC5525, se realizaron nueve ensayos y se tomaron datos de carga y deformación cada 36 kg (80 lb).

La Figura 40 muestra la probeta instalada con el deformímetro mecánico (dial) para determinar su deformación vertical para luego calcular su módulo de elasticidad longitudinal.

Los datos obtenidos experimentalmente de esfuerzo y deformación unitaria fueron graficados (Figura 41) para la determinación del módulo de elasticidad a tensión paralela el cual teóricamente corresponde a la pendiente de la curva en la zona que presento un comportamiento elástico en un rango entre el 20 por ciento y el 80 por ciento de la resistencia última a la tensión paralela a la fibra.



Figura 40: Dispositivo (Dial) para medir la deformación en el ensayo de tensión

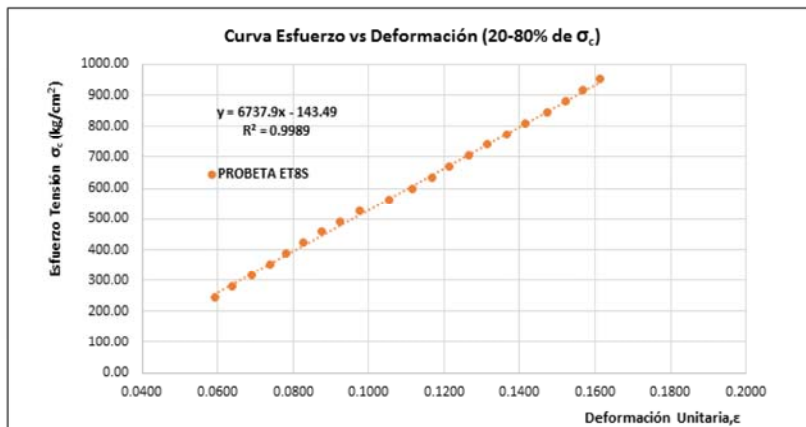


Figura 41: Ajuste lineal de la curva para determina

3.4.4.2 Módulo de elasticidad a compresión paralela

La preparación y ensayo de las probetas se realizó siguiendo los parámetros establecidos en la NTC5525, se realizaron 12 ensayos y se tomaron datos de carga y deformación cada 227 kg (500 lb).

La figura 42 muestra la probeta instalada con el deformímetro mecánico (dial) para determinar su deformación vertical para luego calcular su módulo de elasticidad longitudinal.

Los datos obtenidos experimentalmente de esfuerzo y deformación unitaria fueron graficados (Figura 43) para la determinación del módulo de elasticidad a compresión paralela el cual teóricamente corresponde a la pendiente de la curva en la zona que presentó un comportamiento elástico en un rango entre el 20 por ciento y el 80 por ciento de la resistencia última a la compresión paralela a la fibra.



Figura 42: Dispositivo (Dial) para medir la deformación en el ensayo de compresión

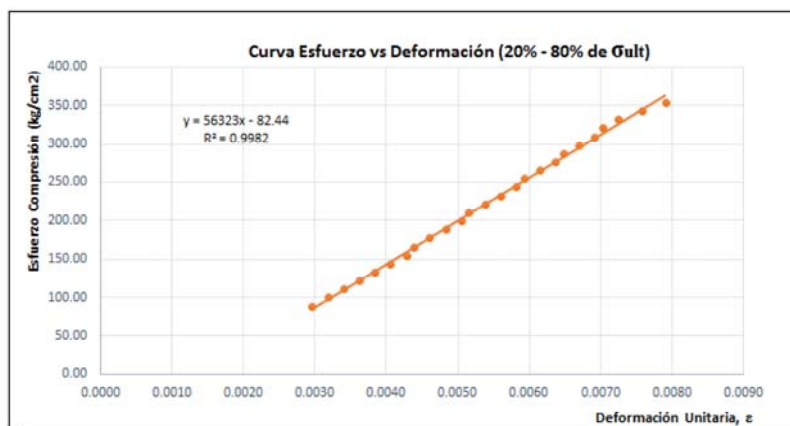


Figura 43: Ajuste lineal para determinar el módulo de elasticidad

3.5 ENSAYO DE ADHERENCIA BAMBÚ – CONCRETO

Se realizaron ensayos con la finalidad de determinar la máxima fuerza de adherencia que se puede desarrollar entre el bambú y concreto. Asimismo, se estudió la influencia del asfalto líquido de curado rápido RC-250 como impermeabilizante y la adición de arena media en el desarrollo de la adherencia.

Para este ensayo se emplearon tablillas de bambú, ya que de esta forma su comportamiento como refuerzo es óptimo (Hidalgo y Fang 1978), además se fabricaron dos tipos de tablillas: lisas (Figura 44(b) y (c)) y acanaladas (Figura 44(a) y (d)).

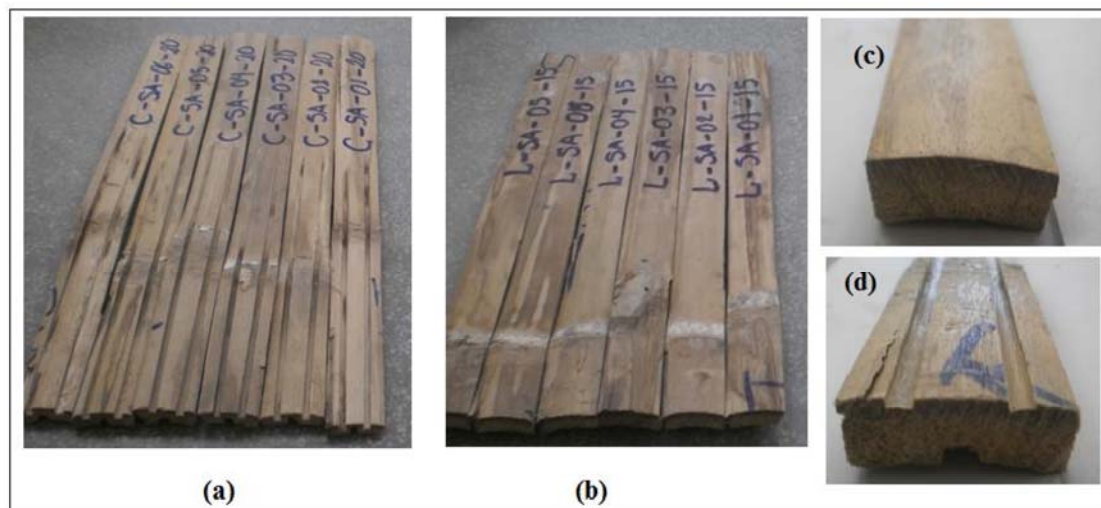


Figura 44: Tipos de tablillas de bambú utilizadas en el ensayo de adherencia

3.5.1 Fabricación de los especímenes (Tablillas de bambú – probeta de concreto)

3.5.1.1 Elaboración de Tablillas de bambú entero

Las tablillas obtenidas para los ensayos de adherencia fueron realizadas conforme se muestra en la Figura 45 mientras que, sus características y medidas se muestran en la Tabla 13.

Se prepararon tablillas lisas y acanaladas de bambú entero; estas últimas fueron ranuradas con sierra eléctrica, preparando dos ranuras de 4 mm en la cara externa y una ranura de 5 mm en la cara interna (Figura 44(d)), los canales fueron elaborados longitudinalmente para que de esta manera se conserve la integridad de la fibra del bambú que es la que aporta la resistencia.



Figura 45: Fabricación de tablillas de bambú entero lisas y acanaladas

Tabla 13: Características y dimensiones de las tablillas de bambú entero

Ensayos de Adherencia	Ancho cm	Espesor cm	Largo cm	Nº muestras
Tablillas Lisas	2,5	0,8	40,0	24
Tablillas Acanaladas	2,5	0,8	40,0	24

Se elaboraron seis especímenes de cada característica, haciendo un total de 48 especímenes (Tabla 14).

Tabla 14: Características y cantidades de las tablillas de bambú entero

características			N° de muestras por edad de ensayo del concreto		N° muestras
			14 días	28 días	
Longitud de Empotramiento 20 cm	Tabilla Lisa	con arena	3	3	6
		sin arena	3	3	6
	Tabilla Acanalada	con arena	3	3	6
		sin arena	3	3	6
Longitud de Empotramiento 15 cm	Tabilla Lisa	con arena	3	3	6
		sin arena	3	3	6
	Tabilla Acanalada	con arena	3	3	6
		sin arena	3	3	6
Total					48

3.5.1.2 Impermeabilización de las tablillas de bambú

Se utilizó asfalto líquido de curado rápido RC-250, de uso en frío como material impermeabilizante del bambú, la función del asfalto sobre las tablillas de bambú (Figura 46) fue impedir la absorción del agua del concreto y con ello anular el hinchamiento del mismo, el cual ocasiona las fisuras dentro del concreto, disminuyendo con eso su resistencia.

Como se pudo corroborar en el ensayo de hinchamiento el asfalto puede impedir la variación de las dimensiones en el bambú en más del 98 por ciento.



Figura 46: Impermeabilización de tablillas de bambú entero

Echazú (1971) trabajo con asfalto liquido RC-2, pero en la actualidad ya no se fabrica ese tipo de asfalto en su lugar se fabrica el asfalto RC-250 con las mismas características del anterior y mejoradas. Él recomienda que una vez aplicado el asfalto como impermeabilizante dejarlo secar aproximadamente una semana y no usarlo antes ya que en contacto con la humedad, disminuye su adherencia.

En la investigación se dejó secar las tablillas aproximadamente tres semanas para no tener ningún inconveniente al momento de realizar el ensayo (Figura 47).

En las tablillas de bambú utilizadas no se realizaron ningún tipo de modificación física, es decir raspado tanto de la parte interna o externa, se utilizaron con las mismas características del tallo o culmo del cual se obtuvo.



Figura 47: Secado de tablillas impermeabilizadas con asfalto RC-250

Además se preparó tablillas impermeabilizadas con una mezcla de arena media y asfalto para averiguar la influencia en el desarrollo de la adherencia (Figura 48). Argollo y Freire (1992) recomienda añadir arena media para dar al bambú una superficie rugosa.



Figura 48: Tablillas impermeabilizadas con la mezcla de arena media y asfalto líquido

Se realizó pre ensayos para determinar la relación adecuada de arena: asfalto, llegando a la relación en peso de 1:2,5 con esta relación se elaboró una mezcla de consistencia plástica y fácil adherencia a la tablilla mediante revoltura mecánica (Figura 49).

Se trabajó con un módulo de finura de 2,81 para la arena media, los resultados del ensayo de granulometría se describen en el Anexo 1.



Figura 49: Mezcla de arena media y asfalto líquido

3.5.1.3 Elaboración de probetas de concreto

Para analizar la adherencia entre bambú y el concreto se elaboraron cilindros de concreto de 10 cm de diámetro y 20 cm de altura donde en su interior se colocaron las tablillas impermeabilizadas con asfalto a diferentes longitudes de empotramiento (Ver Figura 50).

El diseño de mezcla del concreto para dichos cilindros fue de una resistencia a la compresión de 210 kg/cm^2 a los 28 días; para realizar el control de calidad del concreto se vaciaron seis probetas estándar (6"x12") las cuales fueron ensayadas a los 14 días para ver el desarrollo de la resistencia llegando a obtener un 76,5 por ciento de la resistencia de diseño y a los 28 días, arrojando un promedio de $209,6 \text{ kg/cm}^2$. Los resultados de los ensayos se muestran en el Anexo 2.

El diseño de mezcla se hizo usando el método ACI. Se determinó las características físicas y granulométricas de los agregados, necesarias para realizar el diseño. Las características del agregado y el diseño de mezcla, se encuentran en el Anexo 3.

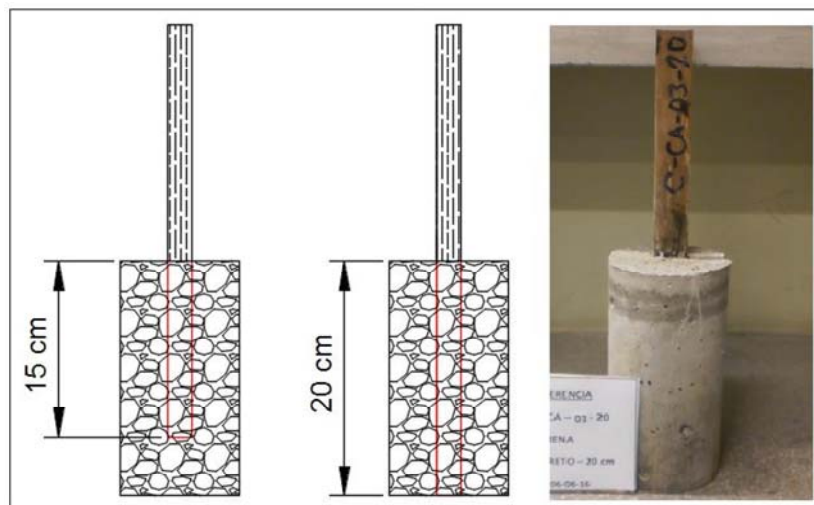


Figura 50: Especímenes para el ensayo de adherencia

Una vez secas las tablillas impermeabilizadas (Figura 51(a)) se procedió al vaciado del concreto, esta se realizó en tres capas, aplicando 36 golpes por cada capa (Figura 51(b)) luego se las dejó reposar por 24 horas antes del desencofrado (Figura 51(c)).

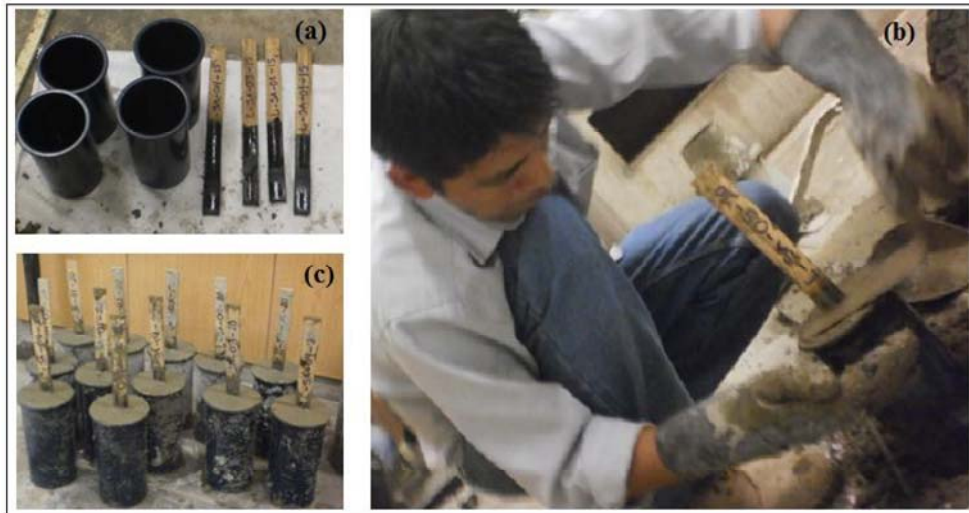


Figura 51: Proceso de elaboración de especímenes

El desencofrado se realizó al día siguiente del vaciado (Figura 52(a)), luego los especímenes se sumergieron en agua (Figura 52(b)), de tal manera que el agua no entre en contacto con el bambú.

Para cada tabilla se registraron el diámetro, espesor y cuerda correspondiente al tramo que esta embutido en el concreto. Esto con la finalidad de poder calcular el área de la superficie de contacto del bambú con el concreto. El procediendo de cálculo de esta área se puede encontrar en el Anexo 4.



Figura 52: Desencofrado y curado de los especímenes

Los especímenes para el ensayo se identificaron como se muestra en la Figura 53.

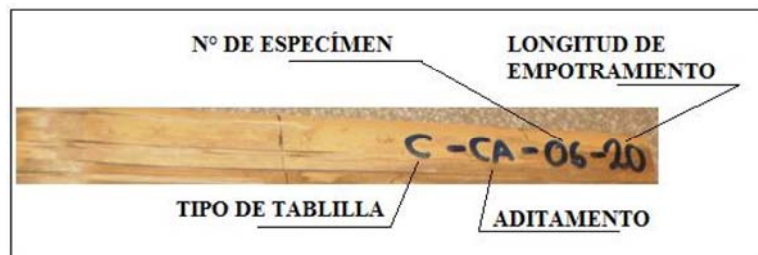


Figura 53: Nomenclatura para identificar los especímenes

Donde:

Tipo de tablilla = liso (L), acanalada (C)

Aditamento = sin arena (SA), con arena (CA)

Longitud de empotramiento = de 15 cm y 20 cm

3.5.2 Características del ensayo

De acuerdo a lo especificado en la norma ASTM C234 -71 para ensayos de adherencia entre concreto y acero, se realizó el ensayo usando una velocidad aproximada de 0.61 mm/min y una frecuencia de 4 Hz. Los especímenes se ensayaron en la Máquina Universal del laboratorio de Propiedades Físicas – Mecánicas de la Madera del Departamento de Industrias Forestales de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria la Molina (Figura 54).

El ensayo se realizó colocando el cilindro sobre el marco de acero, dejando libre la tablilla del bambú para que esta se ancle a la mordaza del equipo y se le aplique una carga hasta que la tablilla de bambú se extraiga del concreto. Con ello se logró medir la fuerza necesaria para extraer la tablilla de bambú, del concreto. Para hallar el valor de la máxima adherencia, basto dividir esta fuerza entre el área de la superficie de contacto.

El ensayo fue realizado en dos etapas: la primera cuando el concreto de los especímenes tenía una edad de 14 días y la segunda a los 28 días. Con esto se busca conocer la influencia de la edad del concreto en el desarrollo de la adherencia.



Figura 54: Ensayo de adherencia entre el bambú y concreto

3.5.3 Análisis de datos del ensayo de adherencia

Para poder definir la incidencia de cada uno de los factores más representativos en la adherencia entre el bambú y concreto y su interacción entre ellos se utilizara el modelo estadístico de Análisis de Variancia ANOVA, con tres repeticiones, con un $\alpha = 0,05$, es decir un nivel de confianza del 95 por ciento.

3.5.3.1 Análisis de varianza multifactorial

En el análisis de varianza multifactorial se evaluaron 48 especímenes. Para el análisis estadístico se utilizó un diseño de varianza multifactorial totalmente aleatorio, donde se evaluaron los esfuerzos de adherencia entre el bambú y el concreto de los especímenes ensayados.

El análisis estadístico fue desarrollado por medio del software SPSS Statistics 22, se utilizó el ANOVA y el la prueba post hoc de Tukey; asumiendo como hipótesis la normalidad, homoscedasticidad e independencia de los datos.

3.5.3.2 Factores, niveles de factor y variable dependiente

La variable dependiente para el diseño ANOVA multifactorial es el esfuerzo de adherencia entre el bambú y el concreto y los factores que pueden afectarla son: el tipo de tablilla, el aditamento, la edad del espécimen y la longitud de empotramiento. Se enumera a continuación en la Tabla 15 cada uno de los factores, niveles del factor y variable dependiente.

Tabla 15: Factores y niveles de factor

Factor	Niveles de factor	Variable dependiente
Tipo de Tablilla	acanalada	Adherencia entre el bambú y el concreto (kg/cm ²)
	lisa	
Aditamento	sin arena	
	con arena	
Longitud de empotramiento	20 cm	
	15 cm	
Edad del espécimen	14 días	
	28 días	

FUENTE: Adaptado de Capera y Erazo 2012.

La clasificación de los datos por factores y niveles de factor previo a la ejecución del ANOVA multifactorial se presenta en la Tabla 16. La información fue procesada por el software SPSS Statistics 22 de forma aleatoria.

Tabla 16: Clasificación de los datos según el factor y sus niveles correspondientes

Tipo de tablilla	Edad del espécimen	Tratamientos			
		A	B	C	D
(T1) acanalada	14 días	6,58	5,21	6,83	6,87
		6,73	5,69	6,69	7,13
		6,28	5,40	7,07	5,88
(T2) lisa	14 días	4,09	5,17	6,64	6,74
		5,25	4,60	6,42	6,19
		5,06	5,35	6,25	6,27
(T3) acanalada	28 días	6,09	5,96	5,57	6,99
		6,17	6,37	6,39	7,21
		5,89	6,09	7,00	6,33
(T4) lisa	28 días	5,56	5,62	5,43	5,88
		5,73	5,56	5,78	5,74
		5,59	5,49	5,66	5,77

Donde:

T1 = tablilla acanalada con 14 días de edad del espécimen

T2 = tablilla lisa con 14 días de edad del espécimen

T3 = tablilla acanalada con 28 días de edad del espécimen

T4 = tablilla lisa con 28 días de edad del espécimen

A = sin arena y 20 cm de empotramiento

B = sin arena y 15 cm de empotramiento

C = con arena y 20 cm de empotramiento

D = con arena y 15 cm de empotramiento

3.5.3.3 Contraste de hipótesis

Como se mencionó anteriormente el análisis de varianza ANOVA requiere del planteamiento de tres hipótesis básicas para su correcta ejecución:

Independencia: Las “n” observaciones para cada combinación corresponden a individuos extraídos independientemente de la población considerada (es decir constituyen una muestra aleatoria simple de dicha población).

Normalidad: La variable estudiada sigue en las I x J poblaciones consideradas distribuciones normales.

Homoscedasticidad: Las I x J poblaciones tienen la misma varianza.

Los valores de I y J corresponden a variantes o niveles en un diseño factorial con “n” replicaciones con un número de combinaciones posibles igual a I x J.

Para validar las hipótesis planteadas se realizaron las pruebas de normalidad y homoscedasticidad, para ello se utilizó la prueba de Levene para ratificar la igualdad de varianza entre los datos, en la Tabla 17 se muestran los resultados. En el Anexo 5 se detalla los resultados de la prueba.

Tabla 17: Resultados de contraste de hipótesis

CONTRASTE DE HIPÓTESIS	CARACTERÍSTICA	VALOR P	OBSERVACIÓN	
PRUEBA DE NORMALIDAD	TIPO DE TABLILLA	T1	0,143	Cumple el supuesto de normalidad, dado que $P > 0,05$
		T2	0,087	
		T3	0,157	
		T4	0,200	
	TIPO DE TRATAMIENTO	A	0,200	Cumple el supuesto de normalidad, dado que $P > 0,05$
		B	0,200	
		C	0,200	
		D	0,200	
PRUEBA DE HOMOCEDASTICIDAD (Igualdad de varianzas)	PRUEBA DE IGUALDAD DE LEVENE DE VARIANZAS	0,733	Cumple el supuesto de homocedasticidad, dado que $P > 0,05$	

3.5.3.4 Prueba de análisis de varianza multifactorial

El análisis se realizó tomando hipótesis tanto para los tipos de tablilla y los tratamientos.

La hipótesis con respecto a los tipos de tablillas:

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$ (hipótesis nula), el esfuerzo de adherencia promedio para cada tipo de tablilla es el mismo.

H_1 : Al menos una de las medias de los esfuerzos de adherencia para cada tipo de tablilla no son iguales (hipótesis alternativa).

La hipótesis con respecto a los tipos de tratamientos:

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$ (hipótesis nula), el esfuerzo de adherencia promedio para cada tipo de tratamiento es el mismo.

H_1 : Al menos una de las medias de los esfuerzos de adherencia para cada tipo de tratamiento no son iguales (hipótesis alternativa).

3.5.3.5 Pruebas post hoc

Una vez que se ha determinado que existen diferencias entre las medias, las pruebas de rango post hoc permiten determinar qué medias difieren. La prueba de rango post hoc identifica subconjuntos homogéneos de medias que no se diferencian entre sí. Las comparaciones múltiples por parejas contrastan la diferencia entre cada pareja de medias y generan una matriz donde los asteriscos indican las medias de grupo significativamente diferentes a un nivel alfa de 0,05.

Se usara la prueba de Tukey, dado que en la prueba todos los grupos tienen el mismo número de individuos y varianzas iguales.

La prueba de la diferencia honestamente significativa de Tukey, se puede considerar a la vez como una técnica de comparaciones múltiples y a la vez de rangos. Es un test que se suele utilizar cuando se requiere comparar cada grupo con todos los demás y el número de grupos es alto (seis o más) (Barrón y Téllez 2004).

3.6 ENSAYO DE VIGAS DE CONCRETO REFORZADAS CON BAMBÚ

3.6.1 Resistencia a la tracción por flexión

La formación y propagación de las grietas de los elementos de concreto sometidos a flexión, dependen notablemente de su resistencia a la tracción. Asimismo, ocurren esfuerzos de tracción en el concreto como resultante de cortante, torsión y otras acciones.

La resistencia a la tracción del concreto sujeto a flexión, llamada módulo de rotura, es una propiedad más variable que la resistencia a la compresión y es aproximadamente del 10 al 15 por ciento de la resistencia a la compresión (ACI 318-02).

En este trabajo de investigación, la resistencia a la tracción ha sido determinada por flexotracción. Para este caso, la NTP 339.078:2012, establece los procedimientos para efectuar el ensayo de tracción por flexión de probetas prismáticas de concreto simplemente apoyadas con cargas a los tercios de la luz.

El objetivo de esta parte de la investigación fue estudiar el comportamiento en flexión de vigas de concreto reforzadas con Bambú. El comportamiento de estos elementos es determinado por las propiedades mecánicas del bambú, el concreto y la adherencia entre ellos.

La limitada fuerza de adherencia que se desarrolla entre el bambú y el concreto hace que el comportamiento a flexión este influenciado en forma importante por este parámetro. Al respecto se busca conocer la resistencia a tracción por flexión que se puede desarrollar en el refuerzo con un esfuerzo de adherencia mejorado entre bambú y concreto.

Los resultados de este ensayo se tomarán como referencia y corroborar los resultados del ensayo de adherencia.

Las variables de la investigación serán: tipo de sección (liso y acanalado) y el área de refuerzo (cuantía).

3.6.2 Fabricación de vigas

Para la realización de este ensayo se elaboraron seis vigas; tres de ellas contaron con refuerzos longitudinales de bambú en forma de tablillas, las dos restantes tuvieron refuerzo de acero y la última fue sin refuerzo. Se utilizaron cuantías aproximadas de 2,3 por ciento para las vigas reforzadas con tablillas de bambú.

Las vigas tenían una sección de 15x15 cm y un largo de 60 cm, se colocaron además refuerzos de corte consistentes en estribos de 6 mm de diámetro ($f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$), esto con la finalidad de excluir en lo posible la falla por corte. Las características de las vigas se muestran en la Tabla 18, además en la Figuras 55 se muestran la preparación del refuerzo longitudinal de bambú y la colocación del mismo dentro de los moldes metálicos.

Los detalles de las vigas ensayadas se muestran en las Figuras 56, 57 ,58 y 59.



Figura 55: Habilitado del refuerzo y encofrado de las vigas

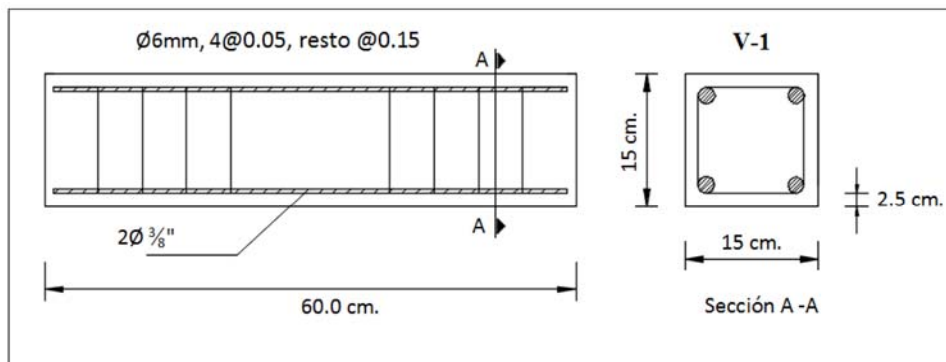


Figura 56: Viga con refuerzo de varillas de acero de 3/8" (cuantía 0.82%)

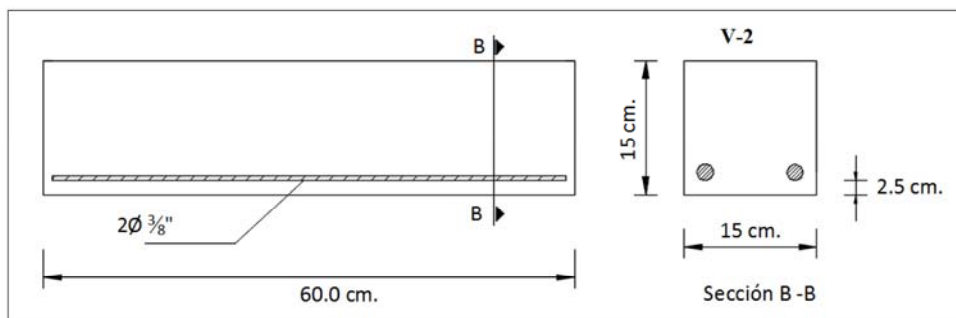


Figura 57: Viga con refuerzo de varilla de acero de 3/8" sin estribos (cuantía 0.82%)

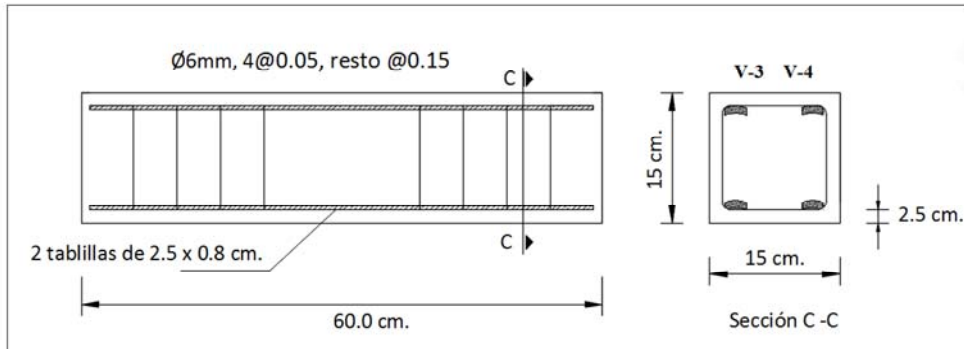


Figura 58: Viga con refuerzo de tablillas de bambú (cuantía 2.3%)

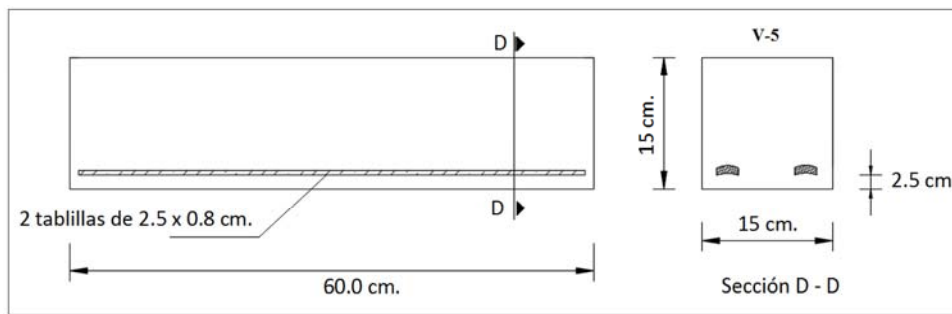


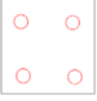





Figura 59: Viga con refuerzo de tablillas de bambú sin estribos (cuantía 2.3%)

El concreto que se utilizó en la elaboración de las vigas fue diseñado para obtener una resistencia a la compresión a los 28 días de 210 kg/cm^2 . Además, se moldearon tres probetas cilíndricas de 15 cm x 30 cm por cada tipo de viga con el fin de tener valores de referencia de la resistencia a compresión. Las mismas fueron moldeadas conjuntamente con las vigas, y luego de 24 horas desmoldadas y colocadas en cámara húmeda.

En el Anexo 6 se muestra los resultados de los ensayo a compresión de las probetas, el diseño de mezcla y las características del agregado para la elaboración de las vigas fue la misma que se utilizó para la fabricación de especímenes para el ensayo de adherencia.

Se vació el concreto en los moldes metálicos en cuatro capas, vibrándose cada una de ellas con un vibrador eléctrico.

Tabla 18: Característica de las vigas

MUESTRA	REFUERZO	RECUBRIMIENTO cm	OBSERVACIONES
V-1	4 varilla de acero 	2.5	Varilla de acero de 3/8" con estribos de 1/4"
V-2	2 varillas de acero 	2.5	varilla de acero de 3/8" sin estribos
V-3	4 tablillas de bambú 	2.5	Latilla Lisa impermeabilizada con asfalto RC-250 con estribos de 1/4"
V-4	4 tablillas de bambú 	2.5	Latilla Acanalada impermeabilizada con asfalto RC-250 con estribos de 1/4"
V-5	2 tablillas de bambú 	2.5	Latilla Acanalada impermeabilizada con asfalto RC-250 sin estribos
V-6		2.5	Sin refuerzo

Las vigas se desencofraron a las 24 horas después de haber sido elaborados e inmediatamente se sumergieron en agua para el curado del concreto (Figura 60). Las vigas se retiraron del curado hasta el día del ensayo, es decir, a los 28 días de ser elaborados.

Posteriormente, fueron trasladados a las instalaciones del laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Nacional de Ingeniería.



Figura 60: Desencofrado y curado de las vigas

3.6.3 Características del ensayo

Las vigas fueron ensayadas a flexión mediante la aplicación de cargas concentradas en los tercios de la luz libre (Figura 61), empleando como referencia la NTP 339.078:2012 que utilizó como antecedente a la norma ASTM C 78/C 78M-10 . Como es sabido, esto nos permite tener el tercio central sometido a flexión pura, ya que el esfuerzo cortante ocasionado por el peso propio en esta zona es aproximadamente nulo.

Las vigas se ensayaron en la Máquina Universal del laboratorio de Ensayos de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Las vigas fueron colocadas de manera que la aplicación de la carga se realice en una cara lateral a la posición de moldeo y apoyadas sobre pedestales metálicos que se comportan como apoyos simples. Para distribuir la carga a los tercios de la luz se colocó una placa metálica que representa el elemento rígido (Figura 62).

A su vez, se tomaron las precauciones necesarias para que las vigas se encuentren centradas y niveladas, se marcaron en las caras laterales el tercio medio de la luz para ubicar la posición de las fracturas.

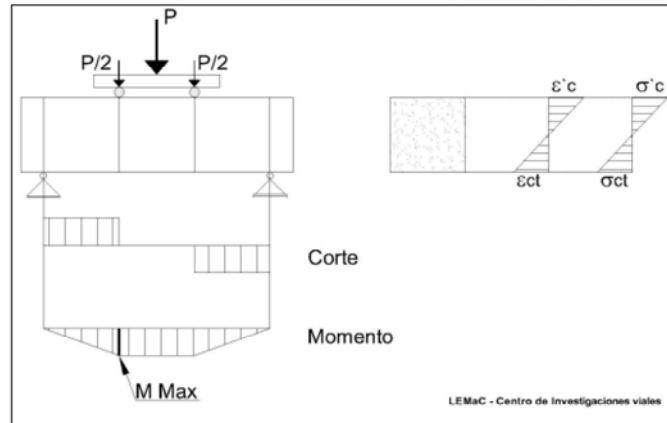


Figura 61: Diagrama de esfuerzos solicitantes
 FUENTE: LEMaC 2008.

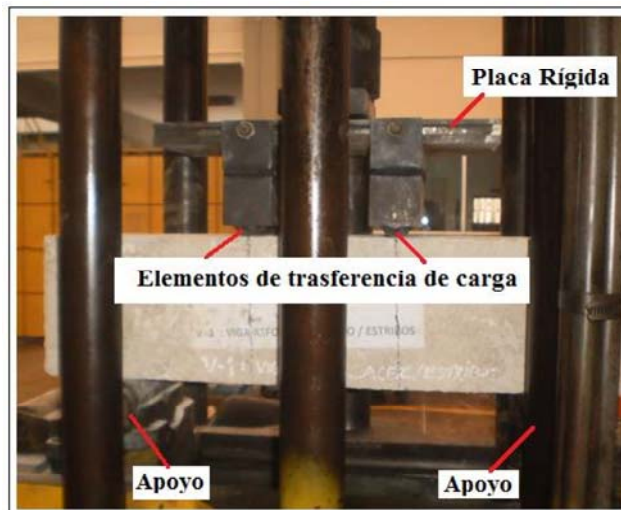


Figura 62: Elementos de trasferencia de cargas y apoyos

Para realizar el cálculo de la resistencia a tracción por flexión se utilizó la fórmula indicada en la norma:

$$M_r = \frac{PL}{bh^2}$$

En donde:

M_r = módulo de rotura, en MPa

P = carga máxima de rotura indicada por la máquina, en N

L = luz libre entre apoyos, en mm

b = ancho promedio de la viga en la sección de falla, en mm

h = altura promedio de la viga en la sección de falla, en mm

Para calcular los máximos momentos y resistencias se tomaron como base los criterios de diseño en rotura - Código ACI (Figura 63).

El momento último se determinó como:

$$M_u = \phi f_c' b d^2 w (1 - 0,59w)$$

$$w = \frac{\rho f_y}{f_c'}$$

Donde:

M_u = momento último

ϕ = coeficiente de seguridad para flexión (0.9)

f_c' = resistencia a compresión del concreto

b = ancho promedio de la viga

d = distancia de la fibra extrema en compresión al centroide del refuerzo de tensión

ρ = cuantía (puede ser bambú o acero)

f_y = esfuerzo a la tensión del refuerzo (puede ser bambú o acero)

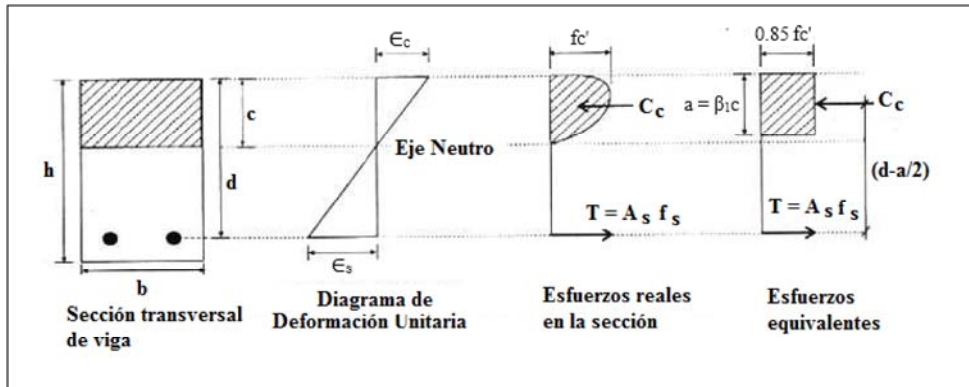


Figura 63: Distribución de los esfuerzos

FUENTE: ACI 2003.

Para el sistema de carga del ensayo, la relación fuerza – momento está dada por la expresión:

$$P = \frac{6M}{L}$$

Donde:

P = carga de falla

M = valor del momento (este a lo largo del tercio medio de la luz libre)

L = luz libre entre apoyos

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 HINCHAMIENTO




En la Tabla 19 se indican los porcentajes de incremento del espesor de pared, diámetro y peso, con respecto al tiempo que llevan sumergidos las probetas. En el Anexo 7, se muestran a detalle los resultados.

En la Tabla 20 se aprecia un resumen de los máximos incrementos producidos por las probetas de bambú cuantificado como el promedio de la variación porcentual de cada uno de los parámetros de este ensayo (espesor de la pared, diámetro y peso), para lo cual se ha agrupado en tres grupos: bambú sin impermeabilizar (EH1I, EH2S, EH3M), bambú con impermeabilizante en la cara interna (EH5SIMP, EH6SIMP) y bambú con impermeabilizante en ambas caras (EH4IMP).

Tabla 19: Incremento porcentual de los parámetros de las probetas sumergidas

Característica	Muestra	Tiempo transcurrido (horas)				
		24	48	72	96	120
		Variación porcentual de las características				
Espesor promedio	EH1I	9,40	14,68	15,53	16,24	16,24
	EH2S	10,84	15,89	16,29	16,69	16,69
	EH3M	7,83	12,70	13,69	14,52	14,52
	EH4IMP	1,26	1,96	2,24	2,42	2,42
	EH5SIMP	3,28	3,80	4,85	6,17	6,17
	EH6SIMP	5,50	6,68	7,50	7,94	7,94
Diámetro promedio	EH1I	3,21	4,34	4,71	4,82	4,82
	EH2S	5,06	5,72	5,95	6,07	6,13
	EH3M	4,14	4,19	4,48	4,64	4,64
	EH4IMP	0,65	0,76	0,82	0,94	0,94
	EH5SIMP	1,66	1,98	2,09	2,25	2,25
	EH6SIMP	1,85	2,64	2,80	2,90	2,90
Peso promedio	EH1I	39,81	57,92	61,73	66,57	67,67
	EH2S	40,90	57,96	62,15	66,16	67,02
	EH3M	33,42	44,32	47,31	49,33	53,56
	EH4IMP	5,95	9,27	12,16	12,33	12,33
	EH5SIMP	15,00	31,70	37,07	38,38	38,38
	EH6SIMP	16,46	32,99	38,16	39,37	39,37

Tabla 20: Máximos incrementos promedios producidos en las probetas de bambú

Muestra	Característica	Incremento de espesor (%)	Incremento de diámetro (%)	Incremento de peso (%)
	Bambú entero sin impermeabilizante	15,82	5,20	62,75
	Bambú entero con impermeabilizante en la cara interna	7,06	2,58	38,88
	Bambú entero con impermeabilizante en ambas caras	2,42	0,94	12,33

En la Tabla 21 se indica los resultados del ensayo de hinchamiento realizado a la *Guadua angustifolia* conocido comúnmente como Guayaquil, el ensayo fue realizado por Atauje (1986). Como se muestra en la Tabla descrita, los datos corresponden al incremento hallado el último día que se tomaron lecturas.

Tabla 21: Máximos incrementos promedios producidos en las probetas de bambú

Variedad	Incremento de espesor (%)	Incremento de Diámetro (%)	Incremento de Peso (%)
Guayaquil*	12,00	4,00	72,00

FUENTE: Atauje 1986.

* Nombre común que se le designa a la *Guadua angustifolia*

Se puede observar en relación al estudio de Atauje (1986), hay un incremento de la variación del espesor en 31,83 por ciento, del diámetro en 30 por ciento, por otro lado para el peso se registra una disminución en 12,85 por ciento. Esto para las probetas con las mismas condiciones que el estudio en comparación, quiere decir bambú entero sin impermeabilizante.

Además se observa una disminución en la variación del 92,94 por ciento en el espesor, 97,42 por ciento en el diámetro y 61,12 por ciento en el peso cuando el espécimen es impermeabilizado solo la cara interna. Mientras que un 97,58 por ciento en el espesor, 99,06 por ciento en el diámetro y 87,67 por ciento en el peso cuando el espécimen es impermeabilizado ambas caras con asfalto líquido RC-250

4.2 CONTENIDO DE HUMEDAD (CH)

La Tabla 22 muestran un resumen de los resultados obtenidos luego del análisis estadístico aplicado, para determinar el contenido de humedad (CH) de muestras extraídas de todas las probetas ensayadas para las diferentes sollicitaciones mecánicas. En el Anexo 8 se indican a detalle los resultados del ensayo.

Tabla 22: Resumen de resultados y análisis estadístico para el contenido de humedad

Ensayo	Unid.	Promedio	Desviación Estándar	C.V (%)
Por compresión	%	10,52	0,39	3,70
Por corte	%	10,01	0,37	3,65
Por tensión	%	11,02	1,34	12,16

Contenido de humedad promedio = 10,52 %

Los datos registrados del contenido de humedad siguiendo la NTC5525 fueron de 10,52 por ciento en promedio. Es importante observar que los datos registrados están dentro del rango establecido por el NSR-10 ($CH \leq 12\%$), para ser utilizados como material estructural sin que la humedad afecte sus características mecánicas.

4.3 TENSIÓN PARALELA A LA FIBRA (T)

Se realizó el análisis estadístico de los datos obtenidos experimentalmente de resistencia última del ensayo a tensión paralela a la fibra para cada sección del bambú.

La Tabla 23 presenta un promedio del ensayo realizado a las diversas partes del culmo del bambú. Asimismo en el Anexo 9 se indica a detalle los resultados del ensayo.

Como se puede observar en la Tabla 23, existe una variación a lo largo de la longitud del bambú, particularmente entre la parte inferior (861,62 kg/cm²) y media (915,78 kg/cm²), incrementando la resistencia hacia la parte superior (1109,29 kg/cm²), esto sucede porque a medida que aumenta la altura disminuye el espesor de la pared mientras que el porcentaje de fibras con respecto al área de la pared aumenta.

Cabe mencionar que la resistencia a la tensión en probetas con nudo es menor que en probetas sin nudo, debido a que el nudo es la parte débil del bambú por la orientación de algunos haces vasculares; el ensayo se realiza en estas condiciones por ser la más crítica. Además los valores de la máxima tensión en probetas sin nudo son superior en un 10 a 20 por ciento al valor de la máxima tensión en probeta con nudo intermedio (Gutiérrez y Takeuchi 2002).

Tabla 23: Esfuerzo último promedio de tensión paralela a las fibras del culmo

Parte	Muestra	σ último (kg/cm ²)	σ último (MPa)
Inferior	ET1I	849,11	83,30
	ET2I	951,81	93,37
	ET3I	783,95	76,90
Medio	ET4M	806,32	79,10
	ET5M	850,75	83,46
	ET6M	1090,26	106,95
Superior	ET7S	951,05	93,30
	ET8S	1177,89	115,55
	ET9S	1198,93	117,61
Promedio		962,23	94,39
Desviación estándar		158,30	15,53
Coeficiente de variación (%)		16,45	16,45
Percentil 5		792,90	77,78

En investigaciones anteriores se han encontrado esfuerzos promedios a la tensión paralela a la fibra (Tabla 24), en el estudio realizado el esfuerzo último promedio es de 94,39 MPa cuyo valor se encuentra dentro del rango de las investigaciones.

Tabla 24: Comparativo con otras investigaciones promedio

Investigador	Año	Tensión Paralelo (MPa)	Observación
ICONTEC	2007	61,20	Investigación en Colombia
López y Trujillo	2002	53,51	Investigación en Colombia
Rivera	2008	128,50	Investigación en Colombia
Echeverri	2007	118,30	Investigación en Colombia
Huarcaya	2010	114,18	Investigación en Perú (UNI)
Claver	2010	107,69	Investigación en Perú (UNI)
Pardavé	2010	85,39	Investigación en Perú (UNI)
Vargas y Cerna	2016	94,39	Investigación en Perú (UNALM)

4.4 COMPRESIÓN PARALELA A LAS FIBRAS (C)

Se realizó el análisis estadístico de los datos obtenidos experimentalmente de resistencia última del ensayo a compresión paralela a la fibra para cada sección del bambú.

La Tabla 25 presenta un promedio del ensayo realizado a las diversas partes del culmo del bambú. Asimismo en el Anexo 10 se indica a detalle los resultados del ensayo.

Como se puede observar en la Tabla 25, hay un aumento de la resistencia a medida que aumenta la altura de la bambú, en la parte inferior se registró un promedio de 424,52 kg/cm², en la parte media 543,23 kg/cm² y en la parte superior 570,14 kg/cm²; esto se debe a que el espesor de la pared del culmo del bambú disminuye con la altura, mientras que el porcentaje de fibras con respecto al área de la pared aumenta en altura. Además la resistencia a la compresión paralela a la fibra no varía significativamente por la presencia de nudo en las probetas.

Tabla 25: Esfuerzo último promedio de compresión paralela a las fibras del culmo

Nº	Parte	Caract.	Muestra	σ último (kg/cm ²)	σ último (MPa)
1	Inferior	sin nudo	EC1I	480,79	47,16
2			EC2I	451,54	44,29
3		con nudo	EC3I	345,20	33,86
4			EC4I	420,55	41,25
5	Medio	sin nudo	EC5M	545,64	53,53
6			EC6M	550,26	53,98
7		con nudo	EC7M	551,67	54,12
8			EC8M	525,35	51,54
9	Superior	sin nudo	EC9S	564,80	55,41
10			EC10S	595,89	58,45
11		con nudo	EC11S	571,66	56,08
12			EC12S	548,22	53,78
Promedio				512,63	50,29
Desviación estándar				73,77	7,24
Coeficiente de variación (%)				14,39	14,39
Percentil 5				386,64	37,93

En investigaciones anteriores se han encontrado esfuerzos promedios a la compresión paralela a la fibra (Tabla 26), en el estudio realizado el esfuerzo último promedio fue de 50,29 MPa cuyo valor se encuentra dentro del rango de las investigaciones.

Tabla 26: Comparativo con otras investigaciones promedio

Investigador	Año	Compresión Paralela (MPa)	Observación
Martín y Mateus	1981	66,00	Investigación en Colombia
López y Silva	2000	44,00	Investigación en Colombia
Durán y Uribe	2002	50,00	Investigación en Colombia
González	2006	56,00	Investigación en Colombia
Huarcaya	2010	37,18	Investigación en Perú (UNI)
Claver	2010	44,37	Investigación en Perú (UNI)
Pardavé	2010	37,90	Investigación en Perú (UNI)
Vargas y Cerna	2016	50,29	Investigación en Perú (UNALM)

4.5 CORTE PARALELO A LA FIBRA (V)

Se realizó el análisis estadístico de los datos obtenidos experimentalmente de resistencia última del ensayo a corte paralelo a la fibra para cada porción del bambú.

La Tabla 27 presenta un promedio del ensayo realizado a las diversas partes del culmo del bambú. Asimismo en el Anexo 11 se indica a detalle los resultados del ensayo.

Tabla 27: Esfuerzo último promedio de corte paralelo a las fibras del culmo

Nº	Parte	Caract.	Muestra	τ último (kg/cm ²)	τ último (MPa)
1	Inferior	sin nudo	EV1I	67,22	6,59
2			EV2I	60,60	5,94
3		con nudo	EV3I	64,92	6,37
4			EV4I	63,83	6,26
5	Medio	sin nudo	EV5M	43,24	4,24
6			EV6M	55,29	5,42
7		con nudo	EV7M	57,68	5,66
8			EV8M	50,80	4,98
9	Superior	sin nudo	EV9S	53,05	5,20
10			EV10S	77,14	7,57
11		con nudo	EV11S	68,39	6,71
12			EV12S	69,96	6,86
Promedio				61,01	5,98
Desviación estándar				9,46	0,93
Coeficiente de variación (%)				15,50	15,50
Percentil 5				47,40	4,65

Como se puede observar en la Tabla 27, existe una diferencia entre el esfuerzo último promedio de la parte media 51,75 kg/cm² y el total de la zona del culmo, en la parte inferior se registró 64,14 kg/cm² y en la parte superior 67,14 kg/cm², por lo que se infiere que la distribución y concentración de las fibras en el sentido longitudinal afecta la resistencia en la parte media del bambú para este tipo de sollicitación mecánica.

Mientras que la diferencia de resistencia al corte paralelo entre probetas con nudo frente a las que no tuvieron nudo fue de un 5,1 por ciento superiores para las probetas con nudo, sin distinción por la sección de la guadua de donde fueron extraídas las probetas. Se puede concluir, que la presencia o no de nudo en el bambú es indiferente al momento de calcular el

esfuerzo último de corte, como se ha demostrado en otras investigaciones (Pantoja y Acuña 2005).

En investigaciones anteriores se han encontrado esfuerzos promedios a corte paralelo a la fibra (Tabla 28), en el estudio realizado el esfuerzo último promedio es de 5,98 MPa cuyo valor se encuentra dentro del rango de las investigaciones.

Tabla 28: Comparativo con otras investigaciones promedio

Investigador	Año	Corte Paralelo (MPa)	Observación
Pantoja y Acuña	2005	7,00	Investigación en Colombia
ICONTEC	2007	5,95	Investigación en Colombia
Ardila	2013	4,47	Investigación en Colombia
Rivera	2008	8,47	Investigación en Colombia
Huarcaya	2010	7,64	Investigación en Perú (UNI)
Claver	2010	6,41	Investigación en Perú (UNI)
Pardavé	2010	5,24	Investigación en Perú (UNI)
Vargas y Cerna	2016	5,98	Investigación en Perú (UNALM)

4.6 ESFUERZO ADMISIBLE

En la Tabla 29 se muestra el resultado del cálculo del valor característico y del esfuerzo admisible para cada tipo de ensayo. En el Anexo 12 se presenta a detalle los cálculos.

Tabla 29: Valor característico y esfuerzo admisible para cada tipo de ensayo

TIPO DE ENSAYO	PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR
TENSÓN PARALELA A LA FIBRA	Valor Característico (f_{kT})	MPa	66,26
	Esfuerzo admisible (F_T)	MPa	11,04
COMPRESIÓN PARALELA A LAS FIBRA	Valor Característico (f_{kC})	MPa	33,67
	Esfuerzo admisible (F_C)	MPa	18,70
CORTE PARALELO A LAS FIBRA	Valor Característico (f_{kV})	MPa	4,09
	Esfuerzo admisible (F_V)	MPa	1,24

En la Tabla 30 se indican los esfuerzos admisibles mínimos para el diseño de estructuras de bambú contempladas en el Reglamento Colombiano, Norma Técnica Peruana y la investigación actual.

Los resultados de la investigación muestran un valor superior para los esfuerzos admisibles de compresión paralela y corte establecidos en el Reglamento Colombiano y Norma Peruana, por otro lado se presenta una disminución en el esfuerzo admisible de tensión de 37,8 por ciento y 30 por ciento, en comparación con el reglamento Colombiano y la Norma Peruana respectivamente.

Tabla 30: Esfuerzos admisibles mínimos

Norma	Esfuerzos Admisibles (MPa)		
	Compresión	Corte	Tensión
Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR -10	14	1,2	18
Norma Técnica Peruana E.100	13	1	16
Vargas y Cerna	18,7	1,24	11,04

La disminución del esfuerzo último a tensión que luego se reflejó en el esfuerzo admisible por tensión, puede estar influenciada por el contenido de humedad (11 por ciento) como lo demuestran estudios realizados por (Gutiérrez y Takeuchi 2002), donde concluyen que la disminución de la resistencia a tensión paralela a la fibra en el rango de humedades por debajo del 10 por ciento del contenido de humedad, puede estar relacionada con el debilitamiento en el tejido de soporte o tejido parenquimático, ya que un gran número de probetas ensayadas, en este rango presentaron una falla de corte longitudinal antes o al mismo tiempo que la falla por tensión. En la investigación se observaron algunas fallas de corte longitudinal.

Otro factor que puedo a ver influenciado en el resultado fue que durante el ensayo de tensión algunas probetas se resbalaban de la mordaza de la Máquina Universal al momento de alcanzar cierta carga.

4.7 MÓDULO DE ELASTICIDAD

4.7.1 Tensión paralela a la fibra

La Tabla 31 muestra los valores promedio, percentil 5 y mínimo de los módulos de elasticidad longitudinal (E_T) de las probetas ensayadas a tensión paralela a la fibra (T).

Los formatos que contienen los diámetros, espesores, carga última, deformaciones y demás información consignada durante el ensayo de cada probeta se encuentran en el Anexo 13.

Tabla 31: Módulo de elasticidad promedio a tensión paralela a las fibras

Muestra	kg/cm ²	Kg/mm ²	MPa
ET1I	14188,0	141,9	1391,4
ET2I	12617,0	126,2	1237,3
ET3I	8961,8	89,6	879,2
ET4M	2234,2	22,3	219,2
ET5M	1799,0	18,0	176,5
ET6M	3204,3	32,0	314,3
ET7S	2504,4	25,0	245,7
ET8S	6737,9	67,4	661,0
ET9S	5350,1	53,5	524,8
Promedio	6399,63	64,0	627,71
Percentil 5	1973,08	19,73	193,56
Mínimo	1799,00	17,99	176,48
Desviación estándar	4623,24	46,23	453,37
Coefficiente de variación (%)	72,24	72,24	72,24

4.7.2 Compresión paralela a la fibra

La Tabla 32 muestra los valores promedio, percentil 5 y mínimo de los módulos de elasticidad longitudinal (E_C) de las probetas ensayadas a compresión paralela a la fibra (C).

Los formatos que contienen los diámetros, espesores, carga última, deformaciones y demás información consignada durante el ensayo de cada probeta se encuentran en el Anexo 14.

Tabla 32: Módulo de elasticidad promedio a compresión paralela a las fibras

Muestra	kg/cm ²	Kg/mm ²	MPa
EC1I *	-	-	-
EC2I	55806,0	558,1	5472,7
EC3I	46655,0	466,6	4576,9
EC4I	56165,0	561,7	5509,8
EC5M	43364,0	433,6	4254,0
EC6M	61622,0	616,2	6045,1
EC7M	69997,0	700,0	6866,7
EC8M	63038,0	630,4	6184,0
EC9S	50112,0	501,1	4916,0
EC10S	71358,0	713,6	7000,2
EC11S	59520,0	595,2	5838,9
EC12S	73211,0	732,1	7182,0
Promedio	59168,00	591,7	5804,22
Percentil 5	45009,50	450,10	4415,44
Mínimo	43364,00	433,64	4254,01
Desviación estándar	9964,27	99,64	977,56
Coefficiente de variación (%)	16,84	16,84	16,84

(*) Hubo distorsión en la toma de datos, por eso se excluyó del análisis.

En investigaciones anteriores se han encontrado valores promedio, percentil 5 y mínimo de los módulos de elasticidad longitudinal a compresión y tensión (Tabla 33), las investigaciones que se muestran fueron realizadas en la Universidad Nacional de Colombia por (Luna *et al.* 2014) y (Ardilla 2013) con el fin de determinar experimentalmente los

valores característicos de resistencia de la *Guadua angustifolia* y para determinar los valores de esfuerzos admisibles del bambú *Guadua angustifolia* respectivamente.

En la Tabla 34 se muestra los valores del módulo de elasticidad establecidos por el Reglamento Colombiano NSR-10 y la Norma Técnica Peruana E.100, que deberán usarse para el diseño de elementos de bambú. En la investigación se toman como parámetros comparativos.

Tabla 33: Comparativo con otras investigaciones

Investigador	Módulo de elasticidad longitudinal a compresión (MPa)			Módulo de elasticidad longitudinal a Tensión (MPa)		
	Promedio	Percentil 5	Mínimo	Promedio	Percentil 5	Mínimo
Luna <i>et al.</i> (2014)	9080,00	2190,00	1080,00	6540,00	3030,00	2010,00
Ardila (2013)	17519,15	11592,93	11468,76	15324,09	10668,14	9937,66
Vargas y Cerna (2016)	5804,22	4415,44	4254,01	627,71	193,56	176,48

Tabla 34: Valores recomendados del módulo de elasticidad

Investigador	Módulo de elasticidad (MPa)		
	Promedio	Percentil 5	Mínimo
Reglamento Colombiano NSR-10	9500	7500	4000
Norma Técnica Peruana E.100	9500	-	7300

Los resultados de la investigación muestran valores inferiores para el módulo de elasticidad tanto de compresión y tensión en comparación con las otras investigaciones.

En el estudio el módulo de elasticidad a compresión representa el 64 por ciento del estudio realizado por (Luna *et al.* 2014) y un 33 por ciento de estudio realizado por (Ardilla 2013) mientras que el módulo de elasticidad a tensión representa el 10 por ciento del estudio realizado por (Luna *et al.* 2014) y un 4 por ciento del estudio realizado por (Ardilla 2013).

Por otra parte el módulo de elasticidad general representa un 34 por ciento de lo establecido tanto por el Reglamento Colombiano NSR-10 como por la Norma Técnica Peruana E.100.

La disminución del módulo de elasticidad en la investigación, pudo estar influenciado por la forma de medir la deformación. La NTC5525 establece usar mínimo dos deformímetros por probeta ubicado cada uno de ellos en el lado opuesto de la probeta, pudiendo ser estos deformímetros eléctricos, mecánicos o electromecánicos. Mientras que en la investigación se usó solo un deformímetro mecánico y se ubicó en el cabezal de la maquina universal.

Otro factor que puedo a ver influenciado en el resultado fue que durante el ensayo de tensión algunas probetas se resbalaban de la mordaza de la Máquina Universal al momento de alcanzar cierta carga.

4.8 ADHERENCIA ENTRE EL BAMBÚ Y EL CONCRETO

Los resultados del ensayo se muestran en la Tabla 35, donde se indican los valores registrados para cada tipo de tablilla, longitud de empotramiento y edad de ensayo. Asimismo los resultados con mayor detalle se encuentran en el Anexo 15.

Tabla 35: Ensayo de adherencia entre el bambú y el concreto

ITEM	Descripción	EDAD : 14 DÍAS		EDAD : 28 DÍAS	
		Muestra	Esf. Adhe. (kg/cm ²)	Muestra	Esf. Adhe. (kg/cm ²)
1	Impermeabilizada Acanalada Sin Arena Empotrado 20cm	C-SA-01-20	6,58	C-SA-04-20	6,09
2		C-SA-02-20	6,73	C-SA-05-20	6,17
3		C-SA-03-20	6,28	C-SA-06-20	5,89
4	Impermeabilizada Acanalada Sin Arena Empotrado 15cm	C-SA-01-15	5,21	C-SA-04-15	5,96
5		C-SA-02-15	5,69	C-SA-05-15	6,37
6		C-SA-03-15	5,4	C-SA-06-15	6,09
7	Impermeabilizada Acanalada Con Arena Empotrado 20cm	C-CA-01-20	6,83	C-CA-04-20	5,57
8		C-CA-02-20	6,69	C-CA-05-20	6,39
9		C-CA-03-20	7,03	C-CA-06-20	7,00
10	Impermeabilizada Acanalada Con Arena Empotrado 15cm	C-CA-01-15	6,87	C-CA-04-15	6,99
11		C-CA-02-15	7,13	C-CA-05-15	7,21
12		C-CA-03-15	5,88	C-CA-06-15	6,33
13	Impermeabilizada Lisa Sin Arena Empotrado 20cm	L-SA-01-20	4,09	L-SA-04-20	5,56
14		L-SA-02-20	5,25	L-SA-05-20	5,73
15		L-SA-03-20	5,06	L-SA-06-20	5,59
16	Impermeabilizada Lisa Sin Arena Empotrado 15cm	L-SA-01-15	5,17	L-SA-04-15	5,62
17		L-SA-02-15	4,6	L-SA-05-15	5,56
18		L-SA-03-15	5,35	L-SA-06-15	5,49
19	Impermeabilizada Lisa Con Arena Empotrado 20cm	L-CA-01-20	6,64	L-CA-04-20	5,43
20		L-CA-02-20	6,42	L-CA-05-20	5,78
21		L-CA-03-20	6,25	L-CA-06-20	5,66
22	Impermeabilizada Lisa Con Arena Empotrado 15cm	L-CA-01-15	6,74	L-CA-04-15	5,88
23		L-CA-02-15	6,19	L-CA-05-15	5,74
24		L-CA-03-15	6,27	L-CA-06-15	5,77
25	Lisa - Empotrado 20cm	L-01-20	*	L-02-20	3,4
26	Lisa - Empotrado 15cm	L-01-15	*	L-02-15	3,6
27	Acanalada - Empotrado 20cm	C-01-20	*	C-02-20	4,66
28	Acanalada - Empotrado 15cm	C-01-15	*	C-02-15	5,19
29	Varilla de acero de 3/8" Empotrado 20cm	AC-01-20	*	AC-02-20	51,83
30	Varilla de acero de 3/8" Empotrado 15cm	AC-01-15	*	AC-02-15	49,26

* No se registraron datos de las seis últimas probetas a los 14 días por problemas con la maquina universal.

4.8.1 Análisis ANOVA

En la Tabla 36 se presenta el análisis de varianza (ANOVA multifactorial), en el cual se determinó la variabilidad del esfuerzo de adherencia según las contribuciones de los factores y sus posibles combinaciones; se utilizó la suma de cuadrados tipo III. El factor tipo de tablilla y aditamento tuvieron un efecto estadísticamente significativo entre los efectos principales y las interacciones de segundo orden, con un valor-P inferior a 0,05 y un nivel de confianza del 95 por ciento.

Tabla 36: Análisis de varianza multifactorial para el esfuerzo de adherencia

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	Gl	Cuadrático promedio	Valor calculado de F	Valor -P	Valor crítico de F
Tablilla	5,73	3	1,911	8,36	0,000	2,90
Tratamientos	6,49	3	2,164	9,47	0,000	2,90
Error	9,37	41	0,229			
Total	21,59	47				

FUENTE: BIM SPSS Statistics

- **La regla de decisión para el caso del tipo de tablillas será:**

Dado que el valor de $F(8,36) > F_c(2,90)$ se rechaza la hipótesis nula (H_0), entonces se queda con la hipótesis alternativa (H_1): Al menos una de las medias de los esfuerzos de adherencia para cada tipo de tablilla no son iguales.

- **La regla de decisión para el caso del tipo de tratamiento será:**

Dado que el valor de $F(9,47) > F_c(2,90)$ se rechaza la hipótesis nula (H_0), entonces se queda con la hipótesis alternativa (H_1): Al menos una de las medias de los esfuerzos de adherencia para cada tipo de tratamiento no son iguales.

En la Figura 64 se muestra la distribución F para los dos casos.

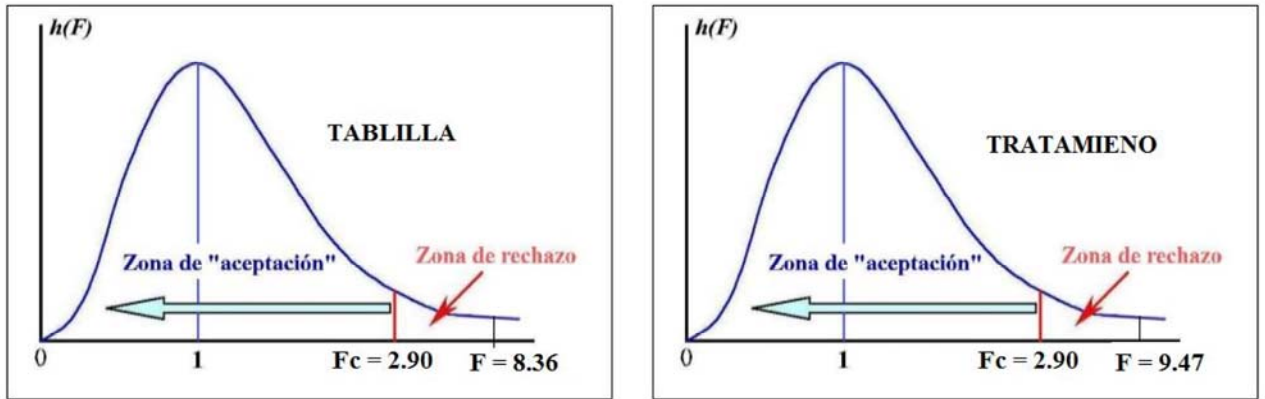


Figura 64: Distribución F, para cada tipo de prueba

4.8.2 Prueba POST HOC

Tipo de tablilla del Bambú

En la Tabla 37 se muestra un resumen de los resultados de la prueba post hoc para el tipo de tablilla del bambú. En el Anexo 16 se muestra a detalle los resultados.

Tabla 37: Comparaciones múltiples – Tipo de tablilla

(I) TIPO DE TABLILLA DEL BAMBÚ	(J) TIPO DE TABLILLA DEL BAMBÚ	VALOR -P
T1	T2	0,005
	T3	0,999
	T4	0,004
T2	T1	0,005
	T3	0,007
	T4	1,000
T3	T1	0,999
	T2	0,007
	T4	0,006
T4	T1	0,004
	T2	1,000
	T3	0,006

De acuerdo con la prueba post hoc de Tukey, se observa que las diferencias significativas se encuentran entre los tipos de tablillas T1 y T2, T1 y T4, T3 y T2, y T3 y T4 ($p < 0,05$).

De acuerdo a los resultados se puede concluir que la tablilla que mejor responde para mejorar el esfuerzo de adherencia entre el bambú y concreto es la tablilla acanalada (T1 ó T3), siendo la edad del espécimen un factor que no tiene influencia significativa en el desarrollo de la adherencia entre el bambú y concreto.

Tipo de tratamiento de cada tablilla

En la Tabla 38 se muestra un resumen de los resultados de la prueba post hoc para el tipo de tratamiento de las tablillas del bambú. En el Anexo16 se muestra a detalle los resultados.

Tabla 38: Comparaciones múltiples – Tipo de tratamiento

(I) TIPO DE TRATAMIENTO DE CADA TABLILLA	(J) TIPO DE TRATAMIENTO DE CADA TABLILLA	VALOR -P
A	B	0,709
	C	0,032
	D	0,008
B	A	0,709
	C	0,002
	D	0,000
C	A	0,032
	B	0,002
	D	0,948
D	A	0,008
	B	0,000
	C	0,948

De acuerdo con la prueba post hoc de Tukey, se observa que las diferencias significativas se encuentran entre los tratamientos A y C, A y D, B y C, y B y D ($p < 0,05$).

De acuerdo a los resultados se puede concluir que la tablilla impermeabilizada con asfalto y aditamento de arena (C o D) es la que mejor se comporta para mejorar el esfuerzo de adherencia entre el bambú y concreto, siendo la longitud de empotramiento un parámetro no tiene influencia significativa en el desarrollo de la adherencia entre el bambú y concreto.

Luego del análisis estadístico se concluye que la tablilla acanalada, impermeabilizada con aditamento de arena es la que mejor trabaja para mejorar la adherencia entre el bambú y concreto, logrando un promedio de $6,66 \text{ kg/cm}^2$.

En la Figura 65 se muestra el espécimen fabricado con tablillas acanaladas e impermeabilizadas con asfalto RC-250 y aditamento de arena media.



Figura 65: Especimen con tablilla acanalada e impermeabilizada

En la investigación también se realizaron ensayos con tablillas sin impermeabilizar y con varillas de acero de $3/8''$, la cantidad fue mínima por eso no se realizó el análisis estadístico. Los datos mostrados en la Tabla 39 corresponden a un resumen de los ensayos, mientras que las Figuras 63(a), 63(b) y 63(c) muestran los especímenes con tablilla sin impermeabilizar y varilla de acero.

Tabla 39: Resumen de los ensayos de adherencia

Descripción de la tablilla de bambú	Esfuerzo de adherencia promedio (kg/cm ²)
Lisa sin asfalto	3,56
Acanalada sin asfalto	4,30
Varilla de acero de 3/8"	50,55
Lisa con asfalto sin arena	5,27
Lisa con asfalto con arena	6,06
Acanalada con asfalto sin arena	6,04
Acanalada con asfalto con arena	6,66



Figura 66: Tablillas sin impermeabilizar y varilla de acero

Como se puede apreciar con la tablilla acanalada e impermeabilizada con asfalto (6,66 kg/cm²) se logra un 35 por ciento más de esfuerzo de adherencia que la tablilla acanalada sin impermeabilizar (4,30 kg/cm²), mientras que solo se logra un 13,20 por ciento del esfuerzo de adherencia logrado por el acero y concreto (50,55 kg/cm²).

En investigaciones anteriores se han encontrado esfuerzos promedios de adherencia entre el bambú y concreto (Tabla 40), en el estudio realizado el esfuerzo de adherencia promedio fue de 6,66 kg/cm² cuyo valor es superior a las otras investigaciones.

Tabla 40: Comparativo con otras investigaciones promedio

Investigador	Año	Esfuerzo de adherencia (Kg/cm²)	Observación
Hidalgo	1974	4,20	Investigación en Colombia, tablilla sin tratamiento
Atauje	1986	2,82	Investigación en Perú (PUCP), tablilla de bambú sin impermeabilizar.
Argollo et al.	1992	5,25	Investigación en Colombia, tablilla tratada con alquitrán y arena media
Poveda	2011	3,04	Investigación en Costa Rica (ICOTEC), tabilla con tratamiento químico de mineralización.
Vargas y Cerna	2016	6,66	Tablilla impermeabilizada con asfalto liquido de curado rápido RC-250 y arena media.

4.9 VIGAS DE CONCRETO REFORZADAS CON BAMBÚ

Para las vigas reforzadas con bambú la mayor resistencia a tracción (módulo de rotura) se presentó en la viga V-4 (cuatro tablillas acanaladas) obteniéndose un valor de 75,32 kg/cm²; la menor resistencia a tracción se presentó en la viga V-5 (dos tablillas acanaladas) y su valor fue de 57,32 kg/cm².

Mientras que en las vigas reforzadas con cuatro tablillas longitudinales, tanto lisas (V-3) y acanaladas (V-4) se observa un aumento del 8,7 por ciento en la resistencia a tracción para la viga V-4 (75,32 kg/cm²) en comparación con la viga V-3 (69,29 kg/cm²).

La resistencia a tracción de la viga V-4 (75,32 kg/cm²) llegó al 46,1 por ciento de la resistencia de la viga reforzada con cuatro varillas de acero V-1 (163,40 kg/cm²).

También se observa un aumento de 2,5 veces en la resistencia de la viga V-4 (75,32 kg/cm²) en comparación con una viga sin refuerzo V-6 (30,39 kg/cm²).

En la Tabla 41 se muestran todos los valores de las resistencias a tracción por flexión de las diferentes vigas ensayadas.

Los valores máximos de la resistencia de tracción del refuerzo de bambú evidencias que estuvo sometido a tensiones bastante bajas en comparación con su resistencia promedio la cual fue de 962,23 kg/cm².

Tabla 41: Valores de resistencia a tracción por flexión

Muestra	Ancho b(cm)	Altura h(cm)	Luz libre L(cm)	Cuantía (%)	Carga de grieta (kg)	Carga de falla (kg)	Módulo de rotura (kg/cm ²)	Módulo de rotura (MPa)
V-1	15,3	15,0	45,0	0,82	7500	12500	163,40	16,34
V-2	15,3	15,0	45,0	0,82	6700	11700	153,95	15,39
V-3	15,3	15,0	45,0	2,3	2380	5300	69,28	6,93
V-4	15,3	15,0	45,0	2,3	2700	5800	75,32	7,53
V-5	15,3	15,0	45,0	2,3	3200	4350	57,24	5,72
V-6	15,4	15,0	45,0	-	-	2355	30,39	3,04

En la Tabla 42, se comparan los máximos momentos y resistencias experimentales y calculadas (teóricos) para las cinco vigas ensayadas, en el Anexo 17 se detalla los cálculos.

Tabla 42: Máximos momentos y resistencias teóricas y experimentales

Muestra	Momento ultimo calculado (kg-m)	Momento ultimo experimental (kg-m)	Carga máxima calculada (kg)	Carga máxima experimental (kg)
V-1	559,62	937,50	7461,60	12500
V-2	559,62	877,50	7461,60	11700
V-3	376,67	397,50	5022,27	5300
V-4	376,67	435,00	5022,27	5800
V-5	376,67	326,25	5022,27	4350

La viga reforzada con bambú que presento un mejor comportamiento en flexión fue la que tenía cuatro tablillas acanalada e impermeabilizada con asfalto y arena (V-4), llegando hasta soportar un momento máximo de 435 kg-m, mientras que el menor momento máximo resistido fue de 326,25 kg-m y se presentó en la viga con refuerzo de dos tablillas acanalada e impermeabilizada con asfalto y arena (V-5).

De las vigas reforzadas con bambú, la que mejor trabajo fue la que tenía cuatro tablillas acanaladas y una cuantía de 2,3 por ciento, el refuerzo adicional en compresión ayudo a mejorar su comportamiento estructural sin que ello implique que el refuerzo en compresión fluya.

Para los cálculos del momento último de las vigas con refuerzo de bambú, se tomaron los criterios de diseño en rotura (Código ACI), como se observa en la Tabla 42 los resultados fueron superiores a los calculados a excepción de la viga V-5, que llego solo al 86,6 por ciento del valor experimental. Este comportamiento puede estar influenciado por los refuerzos adicionales (refuerzo en compresión) que tuvieron las vigas V-3 y V-4 con las dos tablillas adicionales.

La falla típica de las vigas ensayadas consistió en fisuras principales en la zona de flexión pura, con la siguiente pérdida de rigidez. La viga V-4 presento fisuras más pronunciadas en comparación a las otras vigas reforzadas con bambú, este comportamiento se puede explicar por la mayor adherencia lograda por la viga y el refuerzo en la zona de compresión.

En general el comportamiento de las vigas reforzadas con bambú indica que es posible mantener una capacidad de carga muy superior a la carga de fisuración hasta desarrollar la deflexión máxima.

Todas las vigas ensayadas presentaron la fractura dentro del tercio medio de la luz, por lo que no fue necesario descartar ningún resultado (Figura 67).



Figura 67: Estado final de fisuración de las vigas de flexión

Posterior a los ensayos se realizó un análisis cualitativo de la viga con refuerzo de bambú que mejor se desempeñó ante las solicitaciones (V-4), para ello se realizó un corte por el tercio medio de la luz cerca a la fractura de falla (Figura 68). Como se puede cotejar las tablillas se encontraron en un estado óptimo de adherencia.



Figura 68: Corte de la viga y sección analizada

V. CONCLUSIONES

1. El empleo de tablillas acanaladas e impermeabilizadas con asfalto líquido RC-250 y aditamento de arena media es una forma eficiente de mejorar la adherencia entre el concreto y el refuerzo de bambú debido a que este tipo de tratamiento fue el que mejor esfuerzo de adherencia obtuvo, logrando un esfuerzo promedio de 6.7 kg/cm². Verificando de esta forma que el acanalamiento longitudinal le otorga una mayor *fricción y acuíñamiento*.
2. La resistencia a tracción de la viga V-6 sin refuerzo (30.4 kg/cm²) se vio incrementada en 2.5 veces al utilizar tablillas acanaladas e impermeabilizadas como refuerzo, (viga V-4 (cuantía 2.3%) tuvo una resistencia de 75.3 kg/cm²).
3. La diferencia entre el esfuerzo de adherencia de especímenes, con 14 y 28 días de edad del concreto y especímenes, con 15 y 20 cm de empotramiento no es tan significativa como para catalogarlas como parámetros de influencia en la adherencia entre el bambú y concreto.
4. La viga V-4 (con refuerzo de bambú y cuantía 2.3%) alcanzó aproximadamente el 46.5 % de la carga y momento último logrado por la viga reforzada con acero V-1 (varillas de hierro, cuantía 0.82%).
5. Para los ensayos realizados en la presente investigación, la falla se produjo por aplastamiento del concreto.
6. El método de impermeabilizar los refuerzos de bambú con una mezcla de arena media y asfalto líquido RC-250 (1:2,5 en peso) resultan de bajo costo a diferencia de los reportados en la literatura que son tratamientos elaborados y de alto costo.

7. En los ensayos de hinchamiento se pudo establecer que al utilizar el asfalto líquido RC-250 como impermeabilizante se logra una disminución importante de la variación volumétrica del bambú, lo cual garantiza que no se formaran fisuras al momento de la interacción bambú –concreto.
8. El contenido de humedad promedio de la investigación está dentro del rango establecido por el Reglamento Colombiano de Construcción ($CH \leq 12\%$) para ser utilizado como material estructural.
9. En los ensayos mecánicos y su posterior cálculo de los esfuerzos admisibles se pudo encontrar que el esfuerzo admisible por compresión y corte superan los parámetros establecidos tanto por la Norma Peruana y la Colombiana lo cual garantiza un buen comportamiento estructural del bambú, mientras que el esfuerzo admisible por tensión llegó a un 70 % de lo establecido por la Norma Peruana, esto debido a fallas en los ensayos.

VI. RECOMENDACIONES

- Evaluar la interacción entre el concreto y el asfalto, dado que el concreto tiene características alcalinas y puede tener influencia en la película impermeable del refuerzo de bambú, lo cual no se contempló en esta investigación.
- Realizar un estudio de la interacción entre el bambú y concreto a largo plazo, fabricando vigas y someterlas a pequeñas cargas para medir sus deformaciones y capacidad de carga.
- Realizar estudios de la influencia de las cuantías de refuerzo de bambú para lograr una falla dúctil (falla por fluencia del refuerzo).

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adom-Asamoah, M. 2011. A comparative study of Bamboo reinforced concrete beams using different stirrup materials for rural Construction. *International Journal of Civil and Structural Engineering* 2(1): 407-423.
- Adekunle, PA; Adegboyega AO; Oluwole AO; Oladipupo SO. 2015. Comparative Studies of Steel, Bamboo and Rattan as Reinforcing Bars in Concrete: Tensile and Flexural Characteristics. *Scientific Research Publishing* 5: 228-238.
- Akinyele, J.O; Olutoge, FA. 2011. Properties of Rattan Cane Reinforced Concrete Facade Subjected to Axial Loading. *Journal of Civil Engineering and Architecture* 5(11): 1048-1053.
- Alarcón Gutiérrez, JE; Olearte Flores, JF. 2013. Esfuerzo máximo de tensión paralela a la fibra y determinación del módulo de elasticidad de la *Guadua angustifolia* del municipio de Pitalito-Huila. Tesis Ingeniero Agrícola. Neiva, Colombia. USC. 149p.
- Ardila Pinilla, CL. 2013. Determinación de los valores de esfuerzo admisibles del bambú *Guadua angustifolia* Kunth del departamento de Tolima, Colombia. Tesis Magister en Construcción. Bogotá, Colombia, UNC. 96p.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. 2010. Reglamento colombiano de construcción sismoresistente NRS-10. Título G - Estructuras de madera y estructuras de guadua. Bogotá, Colombia. 168p.
- Atauje Calderón, ME. 1986. Adherencia Bambú-Concreto. Tesis de bachillerato. Lima, Perú, PUCP. 103p.
- Atauje Calderón, ME. 1987. Comportamiento de elementos de concreto reforzados con caña. Tesis de Ingiero Civil. Lima, Perú, PUCP. 147p.
- Barnet, Y; Jabrane, F; Nolte, L (coord.). 2013. Estudio de la vulnerabilidad de las viviendas de bambú al cambio climático en el norte del Perú. Quito, Ecuador. 183p.
- Barrón López, F; Téllez Montiel F. 2004. Apuntes de Bioestadística. Universidad de Málaga. Málaga, España. 54p.

- Blanco Blasco, A. 1995. Estructuración y diseño de edificaciones de concreto armado. Lima, Perú, Capitulo de ingeniería civil. 303p.
- Brink, FE; Rush, PJ. 1966. Bamboo Reinforced Concrete Construction. Naval Civil Engineering Laboratory. California, Estados Unidos. 18p.
- Capera Osorio, A; Erazo Espinosa, W. 2012. Resistencia a la compresión paralela a la fibra y determinación del módulo de elasticidad de la *Guadua angustifolia* del Municipio de Pitalito-Huila. Tesis Ingeniero Agrícola. Neiva, Colombia. USC. 145p.
- Cerrón Oyague, T. 2014. Manual de Construcción de estructuras con bambú. 1 ed. SENCICO. Lima, Perú. 132p.
- Córdova Sú, LE. 2015. Propiedades físicas y mecánicas del bambú procedentes del bosque el Maronal de Atumplaya-Moyobamba-San Martin. Tesis Ingeniero Civil. Lima, Perú, UNI. 120p.
- CNB-INDECOPI. 2012. Métodos de ensayos para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con carga a los tercios del tramo. NTP339.078:2012. Lima, Perú. 31 oct. 10p.
- Echazú, P. 1971. Estudio del suelo-cemento y la caña Guayaquil para el mejoramiento de las construcciones de abobe. Tesis Ingeniero Civil. Lima, Perú, UNI.
- Forero Marín, G; Souza Weich, H. 2008. La guadua un sistema innovador para la construcción de viviendas en Anapoima - Cundinamarca. Tesis Ingeniero Proyectos. Bogotá, Colombia, Universidad de la Salle. 61p.
- González Salcedo, LO. 2001. Uso del bambú en el concreto armado. Universidad Nacional de Colombia. Palmira, Colombia. 43p.
- González Yebra, O. 2013. Caracterización de la Guadua (*Guadua angustifolia*) para el diseño e industrialización en España. Universidad de Almería. Almería, España. 19p.
- Gutiérrez Aliaga, SC. 2010. Uniones estructurales con bambú *Guadua angustifolia*. Tesis Ingeniero Civil. Lima, Perú, UNI. 98p.
- Gutiérrez Gonzales, M; Takeuchi, CP. 2014. Efecto del contenido de humedad en la resistencia a tensión paralela del bambú *Guadua angustifolia Kunth*. Universidad Tecnológica de Pereira 19(3): 245-250.

- Gutiérrez Gonzales, M. 2011. Factor de corrección por contenido de humedad para la resistencia a tensión paralela a la fibra de la *Guadua angustifolia* Kunth. Tesis Magister en Ingeniería – Estructuras. Bogotá, Colombia, UNC. 161p.
- Gutiérrez Lozano, J; Gómez Barrera, R. 2002. Diseño y elaboración a escala natural de armaduras en *Guadua angustifolia*. Tesis Ingeniero Civil. Bogotá, Colombia, UNC. 200p.
- Hidalgo López, O. 1974. Bambú, su cultivo y aplicaciones en fabricación de papel, construcción, arquitectura, ingeniería, artesanía. Estudios Técnicos Colombianos Ltda. Bogotá, Colombia. 313p.
- Hidalgo López, O. 1981. Manual de construcción con bambú. Centro de Investigación de Bambú y Madera. Bogotá, Colombia. 87p.
- Hidalgo López, O. 1978. Nuevas técnicas de construcción con bambú. Estudios Técnicos Colombianos LTDA. Bogotá, Colombia 135p.
- Huarcaya Lizana, JD. 2010. Determinación de la resistencia de uniones estructurales en bambú del bosque Aramago – Bagua - Amazonas. Tesis Ingeniero Civil. Lima, Perú, UNI.
- ICONTEC (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación). 2008. Cosecha y postcosecha del culmo de *Guadua angustifolia* Kunth. NTC5300:2008. Bogotá, Colombia. 26 mar. 9p.
- ICONTEC (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación). 2007. Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la *Guadua angustifolia* Kunth. NTC5525:2007. Bogotá, Colombia. 26 set. 21p.
- ICONTEC (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación). 2007. Preservación y secado del culmo de *Guadua angustifolia* Kunth. NTC5301:2007. Bogotá, Colombia. 25 jul. 9p.
- Junta del Acuerdo de Cartagena. 1984. Manual de diseño para maderas del Grupo Andino. 3 ed. Lima, Perú. 476p.
- Londoño, X. 2010. Identificación taxonómica de los bambúes de la región noroccidental del Perú. Ministerio de Agricultura del Perú/DGFFS. Lima, Perú. 36p.

- Luna, P; Lozano, J; Takeuchi, C. 2014. Determinación experimental de valores característicos de resistencia para *Guadua angustifolia*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. Colombia. 92p.
- MINAGRI (Ministerio de Agricultura). 2010. Bambú: biología, cultivo, manejo y usos en el Perú. Dirección General de Competitividad Agraria. Lima, Perú.62p.
- MINAGRI (Ministerio de Agricultura). 2008. Plan Nacional de Promoción del Bambú 2008-2020. Programa para el Desarrollo de la Amazonia Pro Amazonia. Lima, Perú.49P.
- MVCS (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento).2012. Norma Técnica E.100 Bambú. Lima, Perú. 58p.
- Molina Huelva, M. 2005. Comportamiento de estructuras de hormigón armado con una deficiente trasferencia de tensiones hormigón-acero. Tesis Doctoral. Madrid, España, UPM. 250p.
- Montgomery, DC. 2004. Diseño y análisis de experimento. 2 ed. México, Limusa. 692p.
- Morán Ubidia, J. 2015. Manual de construcción: Construir con bambú “caña de guayaquil”. 3 ed. INBAR. Lima, Perú. 77p.
- Moromi Nakata, I. 1972. Estudio de vigas de suelo-cemento reforzadas con caña Guayaquil y los modelos de muros de adobe sometidos a cargas perpendiculares a su plano. Tesis Ingeniero Civil. Lima, Perú, UNI.
- McCormac, JC; Brown, RH. 2011. Diseño de concreto reforzado. 8 ed. México. 724p.
- McClure, FA. 1966. El bambú como material de construcción. 1 ed. Centro Regional de Ayuda Técnica Agencia Para El Desarrollo Internacional (A.I.D). México. 49p.
- Narváez Chamorro, LS. 2013. Desarrollo de losas de guadua angustifolia y análisis comparativo estructural y económico con los sistemas de losas tradicionales. Tesis Ingeniero Civil. Sangolquí, Ecuador, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. 270p.
- Navas Carro. A; Pastor Gómez J. 1990. Vigas de concreto reforzado con bambú. Universidad de Costa Rica. 15p
- Ottazzi Pasino, G. 2006. Diseño en concreto armado. 1 ed. Capitulo peruano del ACI. Lima, Perú. 504p.

- Peñaranda Pachona, DS. 2015. Análisis estructural de una vivienda prototipo prefabricada de *Guadua angustifolia Kunth*. Tesis Ingeniero Civil. Bogotá, Colombia, Universidad la Gran Colombia. 202p.
- Poveda Montoya, WA. 2011. Comparación del bambú con el acero como material de refuerzo a flexión en concreto. Tesis Ingeniero Civil. Cartago, Costa Rica, TEC. 47p.
- Quispe Paravé, T. 2010. Elementos estructurales de bambú: Tijeral y viga. Tesis Ingeniero Civil. Lima, Perú, UNI. 131p.
- Rivva López, E. 2015. Tecnología del concreto. 3 ed. Lima, Perú. 293p.
- Serrano Gallego, R. 2003. Introducción al análisis de datos experimentales: tratamiento de datos en ensayos en bioensayos. 2 ed. Castelló de la Plana, España. 189p.
- Takahuashi, J. 2006. Bambú en el Perú. *In* Simposio Latinoamericano de bambú (3, 2006, Guayaquil, Ecuador). Lima, Perú. 40p.
- Takeuchi, CP. 2014. Caracterización mecánica del bambú *Guadua* laminada para uso estructural. Tesis Doctor. Bogotá, Colombia, UNC. 247p.
- Uribe Vallejo, M; Durán Contreras, A. 2002. Estudio de elementos solicitados a compresión armados por tres guaduas. Tesis Ingeniero Civil. Bogotá, Colombia, UNC. 125p.
- Walpole, RE; Myers, RH; Myers, SL. 1998. Probabilidad y estadística para ingenieros. 6 ed. México. 677p.
- Xiaobing, Y. 2007. Bamboo: Structure and Culture. Doktors der Philosophie. Yibin, China, Universität Duisburg-Essen. 188p.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
LABORATORIO DE PRUEBA Y ENSAYO DE MATERIALES
DEPARTAMENTO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y CONSTRUCCIÓN

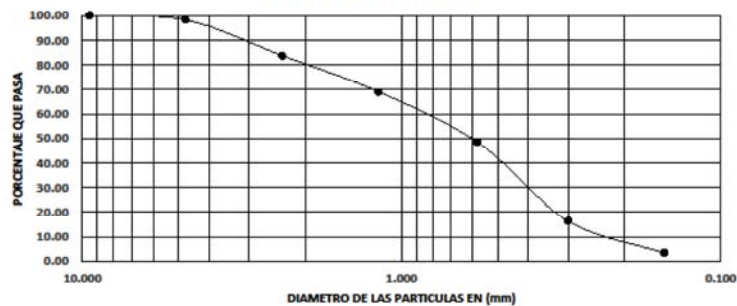
SOLICITANTE : WILDER ROGER VARGAS VASQUEZ
PROYECTO : "VIGAS DE CONCRETO REFROZADAS CON BAMBÚ (*Guadua angustifolia*) PARA CONSTRUCCIONES RURALES"
UBICACIÓN : LA MOLINA- LIMA
FECHA DE RECEPCION : La Molina, 2 de mayo de 2016
FECHA DE EMISION : La Molina, 3 de mayo de 2016

MUESTRA : AGREGADO FINO

ANALISIS GRANULOMETRICO AGREGADO FINO-NTP 400.012

MALLA	ABERTURA DE MALLA EN (mm)	PESO RETENIDO EN (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
3/8	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00
Nº 4	4.750	15.40	1.81	1.81	98.19
Nº 8	2.360	123.50	14.51	16.32	83.68
Nº 16	1.180	125.00	14.68	31.00	69.00
Nº 30	0.580	175.80	20.63	51.63	48.37
Nº 50	0.300	271.80	31.93	83.55	16.45
Nº 100	0.150	112.00	13.18	96.71	3.29
FONDO		28.00	3.29	100.00	0.00
TOTAL		851.30			

CURVA GRANULOMETRICA



MODULO DE FINURA : 2.81 EFICIENCIA DEL TAMIZADO : 0.23

Observación : Los agregados fueron proporcionados e identificados por el solicitante

ANEXO 2
CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO ENDURECIDO - ESPECÍMENES



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
LABORATORIO DE PRUEBA Y ENSAYO DE MATERIALES
DEPARTAMENTO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y CONSTRUCCIÓN

SOLICITANTE : WILDER VARGAS VASQUEZ
PROYECTO : * VIGAS DE CONCRETO REFORZADAS CON BAMBÚ (Guadua angustifolia)
 PARA CONSTRUCCIONES RURALES
UBICACIÓN : LA MOLINA- LIMA
ENSAYO : ASTM - C39
FECHA DE RECEPCION : 1 de junio de 2016
FECHA DE EMISION : 20 de junio de 2016

RESULTADOS DE LA ROTURA

MUESTRA	FECHA	FECHA	EDAD	DIMENSIONES	AREA	CARGA	RESISTENCIA
	MOLDEO	ENSAYO	DIAS	pulg.	cm ²	kg	kg/cm ²
M - 1	19/05/2016	02/06/2016	14	6" * 12"	182.4	29320.71	160.74
M - 2	19/05/2016	02/06/2016	14	6" * 12"	182.4	29802.69	163.38
M - 3	20/05/2016	03/06/2016	14	6" * 12"	182.4	28806.11	157.92
M - 4	20/05/2016	17/06/2016	28	6" * 12"	182.4	39056.23	214.11
M - 5	21/05/2016	18/06/2016	28	6" * 12"	182.4	38497.82	211.05
M - 6	21/05/2016	18/06/2016	28	6" * 12"	182.4	37156.82	203.69

M - 1 ESPECIMEN DE CONCRETO Y TABLILLAS DE BAMBÚ
 M - 2 ESPECIMEN DE CONCRETO Y TABLILLAS DE BAMBÚ
 M - 3 ESPECIMEN DE CONCRETO Y TABLILLAS DE BAMBÚ
 M - 4 ESPECIMEN DE CONCRETO Y TABLILLAS DE BAMBÚ
 M - 5 ESPECIMEN DE CONCRETO Y TABLILLAS DE BAMBÚ
 M - 6 ESPECIMEN DE CONCRETO Y TABLILLAS DE BAMBÚ

OBSERVACION : Las muestras fueron proporcionadas e identificadas por el solicitante (fecha y origen), el laboratorio solo es responsable de la rotura.

**ANEXO 3
CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS FINOS Y GRUESOS**



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
LABORATORIO DE PRUEBA Y ENSAYO DE MATERIALES
DEPARTAMENTO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y CONSTRUCCIÓN

SOLICITANTE: : WILDER ROGER VARGAS VASQUEZ
 PROYECTO: : "VIGAS DE CONCRETO REFORZADAS CON BAMBÚ (Guadua angustifolia) PARA CONSTRUCCIONES RURALES"
 UBICACIÓN: : LA MOLINA - LIMA
 FECHA DE RECEPCION : La Molina, 12 de mayo de 2016
 FECHA DE EMISION : La Molina, 18 de mayo de 2016

MUESTRA : AGREGADOS

DETERMINACION DEL PESO VOLUMETRICO-NTP 400.017

PESO VOLUMETRICO PARA EL AGREGADO FINO

$$\gamma_s = \frac{M_s}{V_r}$$

$$\gamma_c = \frac{M_c}{V_r}$$

M_s : Peso del material suelto 3.540 kg.
 M_c : Peso del material compact 4.325 kg.
 V_r : Volumen del recipiente 0.0027946 m³
 γ_s : Peso volumetrico suelto kg/m³
 γ_c : Peso volumetrico compacto kg/m³

γ_s = 1266.73

γ_c = 1547.63

PESO VOLUMETRICO PARA EL AGREGADO GRUESO

$$\gamma_s = \frac{M_s}{V_r}$$

$$\gamma_c = \frac{M_c}{V_r}$$

M_s : Peso del material suelto 10.335
 M_c : Peso del material compact 11.155
 V_r : Volumen del recipiente 0.00715277
 γ_s : Peso volumetrico suelto kg/m³
 γ_c : Peso volumetrico compacto kg/m³

γ_s = 1444.89

γ_c = 1559.54

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD-NTP 339.185

PARA EL AGREGADO FINO

$$\% H = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100$$

donde:
 % H : humedad natural
 P_h : peso humedo 667.3 gr.
 P_s : peso seco 644.2 gr.

% H = 3.59

PARA EL AGREGADO GRUESO

$$\% H = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100$$

donde:
 % H : humedad natural
 P_h : peso humedo 3180.0 gr
 P_s : peso seco 3150.4 gr

% H = 0.30

Observación: Los agregados fueron proporcionados e identificados por el solicitante

ANEXO 3
CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS FINOS Y GRUESOS



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
LABORATORIO DE PRUEBA Y ENSAYO DE MATERIALES
DEPARTAMENTO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y CONSTRUCCIÓN

SOLICITANTE : WILDER ROGER VARGAS VASQUEZ
PROYECTO : "VIGAS DE CONCRETO REFORZADAS CON BAMBÚ (Guadua angustifolia) PARA CONSTRUCCIONES RURALES"
UBICACIÓN : LA MOLINA - LIMA
FECHA DE RECEPCION : La Molina, 12 de mayo de 2016
FECHA DE EMISION : La Molina, 18 de mayo de 2016

MUESTRA : AGREGADOS

DETERMINACION DE PESO ESPECIFICO Y PORCENTAJE DE ABSORCION
NTP 400.021 / 400.022

AGREGADO FINO

$$Pe\ SSS = \frac{W1}{W1+W2-W3}$$

$$Pe = \frac{W}{W1+W2-W3}$$

$$\% A = \frac{W1 - W}{W} \times 100$$

AGREGADO GRUESO

$$Pe\ SSS = \frac{Ws}{Ws-Wa}$$

$$Pe = \frac{Wseco}{Ws-Wa}$$

$$\% A = \frac{Ws - Wseco}{Wseco} \times 100$$

Donde:

W	: Peso seco del agregado fino	476.2	gr.
W1	: Muestra saturada con superficie seca del agregado fino	500.0	gr.
W2	: Picnometro + agua	664.9	gr.
W3	: Picnometro + agua + muestra	965.5	gr.
Wseco	: Peso seco del agregado grueso	5085.0	gr.
Ws	: Muestra saturada con superficie seca del agregado grueso	5112.0	gr.
Wa	: Peso de la muestra en el agua	3216.0	gr.

PARA EL AGREGADO FINO

Pe SSS =	2.51
Pe =	2.39
% A =	5.00

PARA EL AGREGADO GRUESO

Pe SSS =	2.70
Pe =	2.68
% A =	0.53

Observación: Los agregados fueron proporcionados e identificados por el solicitante

**ANEXO 3
CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS FINOS Y GRUESOS**



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
LABORATORIO DE PRUEBA Y ENSAYO DE MATERIALES
DEPARTAMENTO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y CONSTRUCCIÓN

SOLICITANTE: : WILDER ROGER VARGAS VASQUEZ
 PROYECTO: : "VIGAS DE CONCRETO REFORZADAS CON BAMBÚ (Guadua angustifolia) PARA CONSTRUCCIONES RURALES"
 UBICACIÓN: : LA MOLINA - LIMA
 FECHA DE RECEPCION : La Molina, 12 de mayo de 2016
 FECHA DE EMISION : La Molina, 18 de mayo de 2016

MUESTRA : AGREGADOS

DETERMINACION DEL PESO VOLUMETRICO-NTP 400.017

PESO VOLUMETRICO PARA EL AGREGADO FINO

$$\gamma_a = \frac{M_a}{V_r}$$

$$\gamma_c = \frac{M_c}{V_r}$$

Ms : Peso del material suelto 3.540 kg.
Mc : Peso del material compact 4.325 kg.
Vr : Volumen del recipiente 0.0027946 m³
gs : Peso volumetrico suelto kg/m³
gc : Peso volumetrico compacto kg/m³

gs = 1266.73

gc = 1547.63

PESO VOLUMETRICO PARA EL AGREGADO GRUESO

$$\gamma_a = \frac{M_a}{V_r}$$

$$\gamma_c = \frac{M_c}{V_r}$$

Ms : Peso del material suelto 10.335
Mc : Peso del material compact 11.155
Vr : Volumen del recipiente 0.00715277
gs : Peso volumetrico suelto kg/m³
gc : Peso volumetrico compacto kg/m³

gs = 1444.89

gc = 1559.54

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD-NTP 339.185

PARA EL AGREGADO FINO

$$\% H = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100$$

donde:
% H : humedad natural
Ph : peso humedo 667.3 gr.
Ps : peso seco 644.2 gr.

% H = 3.59

PARA EL AGREGADO GRUESO

$$\% H = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100$$

donde:
% H : humedad natural
Ph : peso humedo 3160.0 gr
Ps : peso seco 3150.4 gr

% H = 0.30

Observación: Los agregados fueron proporcionados e identificados por el solicitante

**ANEXO 3
DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO**



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
LABORATORIO DE PRUEBA Y ENSAYO DE MATERIALES
DEPARTAMENTO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y CONSTRUCCIÓN
INFORME N° 077_0- 16 - LP Y EM-UNALM

SOLICITANTE : WILDER ROGER VARGAS VASQUEZ

PROYECTO : "VIGAS DE CONCRETO REFORZADAS CON BAMBÚ (*Guadua angustifolia*) PARA CONSTRUCCIONES RURALES"

UBICACIÓN : LA MOLINA - LIMA

ENSAYO : DISEÑO DE MEZCLA PARA UN CONCRETO DE f_c 210 kg/cm²

FECHA DE RECEPCIÓN : La Molina, 12 de mayo de 2016

FECHA DE EMISION : La Molina, 18 de mayo de 2016

CANTIDADES PARA 1m³ DE CONCRETO DE f_c 210 kg/cm²
PARA UN ASENTAMIENTO MINIMO DE 3" A 4"

DOSIFICACION EN PESO

AGUA	:	248.83	Lts	
CEMENTO	:	391.70	Kg	9.22 (BOLSAS DE CEMENTO)
ARENA	:	800.16	Kg	
PIEDRA	:	844.68	Kg	

DOSIFICACION EN VOLUMEN

AGUA	:	0.25	m3
CEMENTO	:	0.26	m3
ARENA	:	0.64	m3
PIEDRA	:	0.54	m3

RELACION POR VOLUMEN

	1	2.44	2.09
CON	27.00	LITROS DE AGUA POR BOLSA DE CEMENTO	

OBSERVACION : Los agregados utilizados para el diseño de mezcla fueron proporcionados e identificados por el solicitante

ANEXO 4

CALCULO DEL ÁREA SUPERFICIAL DE LAS TABLILLAS

Atauje (1986) señala que, para poder hallar el valor de la adherencia, es necesario conocer el valor del área de la superficie de contacto del bambú con el concreto.

A continuación se muestra la deducción de la formula usada para calcular el área de la superficie de contacto. Esta deducción ha sido realizada teniendo como datos la cuerda, el espesor y le diámetro (Figura 1). Valiéndose de relaciones geométricas y trigonométricas, se realizó la siguiente deducción:

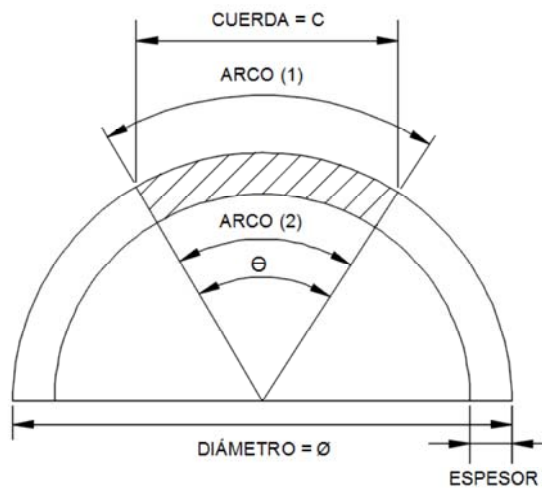


Figura 1

- $\text{arco (1)} = \Theta * \frac{\text{Ø}}{2}$ (1)

$$\text{sen} \left(\frac{\Theta}{2} \right) = \frac{(C/2)}{(\text{Ø}/2)}$$

$$\Theta = 2 * \text{arcsen} \left(\frac{C}{\text{Ø}} \right) \quad \Theta \text{ en radianes}$$

- $\text{arco (2)} = \Theta * (\frac{\text{Ø}}{2} - e)$ (2)

$$L = 2 * e + \text{arco (1)} + \text{arco (2)}$$

Reemplazando (1) y (2)

$$L = 2 * e + \Theta * (\emptyset - e)$$

$$L = 2 * e + (\emptyset - e) * 2 * \arcsen(C/\emptyset)$$

$$L = 2 * (e + (\emptyset - e) * \arcsen(C/\emptyset))$$

El área de contacto va ser igual a $L * 15$ y $L * 20$, ya que el segmento de bambú tiene una longitud de 15 cm y 20 cm dentro del concreto.

$$A = 30 * (e + (\emptyset - e) * \arcsen(C/\emptyset)) \quad \text{con 15 cm de empotramiento}$$

$$A = 40 * (e + (\emptyset - e) * \arcsen(C/\emptyset)) \quad \text{con 20 cm de empotramiento}$$

Donde:

A = Área en cm^2

Θ = Ángulo en radianes

\emptyset y C = Diámetro y cuerda en cm

e = espesor en cm

ANEXO 5

1. PRUEBA DE NORMALIDAD

Pruebas de normalidad

	TIPO DE TABLILLA DEL BAMBÚ	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	Gl	Sig.	Estadístico	Gl	Sig.
ESFUERZO DE	T1	,212	12	,143	,900	12	,159
ADHERENCIA BAMBÚ	T2	,227	12	,087	,921	12	,293
CONCRETO	T3	,209	12	,157	,929	12	,365
	T4	,141	12	,200*	,977	12	,969

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Pruebas de normalidad

	TIPO DE TRATAMIENTO DE CADA TABLILLA	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	Gl	Sig.	Estadístico	Gl	Sig.
ESFUERZO DE	A	,146	12	,200*	,947	12	,589
ADHERENCIA BAMBÚ	B	,129	12	,200*	,978	12	,975
CONCRETO	C	,156	12	,200*	,923	12	,313
	D	,169	12	,200*	,902	12	,166

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

2. PRUEBA DE HOMOCEASTICIDAD (Igualdad de varianzas)

Prueba de igualdad de Levene de varianzas de erro

Variable dependiente: ESFUERZO DE ADHERENCIA BAMBÚ CONCRETO

F	df1	df2	Sig.
,734	15	32	,733

Prueba la hipótesis nula que la varianza de error de la variable dependiente es igual entre grupos.

a. Diseño : Interceptación + TABLILLA + TRATAMIENTOS

ANEXO 6
CONTROL DE CALIDAD DE CONCRETO ENDURECIDO - VIGAS



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
LABORATORIO DE PRUEBA Y ENSAYO DE MATERIALES
DEPARTAMENTO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y CONSTRUCCIÓN

SOLICITANTE : WILDER VARGAS VASQUEZ
 PROYECTO : * VIGAS DE CONCRETO REFORZADAS CON BAMBÚ (Guadua angustifolia) PARA CONSTRUCCIONES RURALES*
 UBICACIÓN : LA MOLINA- LIMA
 ENSAYO : ASTM - C39
 FECHA DE RECEPCION : 27 de agosto de 2016
 FECHA DE EMISION : 1 de septiembre de 2016

RESULTADOS DE LA ROTURA

MUESTRA	FECHA	FECHA	EDAD	DIMENSIONES	AREA	CARGA	RESISTENCIA
	MOLDEO	ENSAYO	DIAS	pulg.	cm ²	kg	kg/cm ²
M - 1	01/08/2016	29/08/2016	28	6" * 12"	182.4	35434.71	194.25
M - 2	01/08/2016	29/08/2016	28	6" * 12"	182.4	36368.11	199.37
M - 3	01/08/2016	29/08/2016	28	6" * 12"	182.4	37310.69	204.54
M - 4	01/08/2016	29/08/2016	28	6" * 12"	182.4	35315.48	193.60
M - 5	01/08/2016	29/08/2016	28	6" * 12"	182.4	36335.50	199.19
M - 6	02/08/2016	30/08/2016	28	6" * 12"	182.4	35333.83	193.70
M - 7	02/08/2016	30/08/2016	28	6" * 12"	182.4	36210.17	198.50
M - 8	02/08/2016	30/08/2016	28	6" * 12"	182.4	36044.07	197.59
M - 9	02/08/2016	30/08/2016	28	6" * 12"	182.4	35904.47	196.83
M - 10	02/08/2016	30/08/2016	28	6" * 12"	182.4	37058.99	203.16
M - 11	03/08/2016	31/08/2016	28	6" * 12"	182.4	35720.03	195.82
M - 12	03/08/2016	31/08/2016	28	6" * 12"	182.4	37580.72	206.02
M - 13	03/08/2016	31/08/2016	28	6" * 12"	182.4	36663.62	200.99
M - 14	03/08/2016	31/08/2016	28	6" * 12"	182.4	36391.55	199.50
M - 15	03/08/2016	31/08/2016	28	6" * 12"	182.4	35776.07	196.12

- M - 1 VIGA CON REFUERZO DE ACERO Y ESTRIBOS
- M - 2 VIGA CON REFUERZO DE ACERO Y ESTRIBOS
- M - 3 VIGA CON REFUERZO DE ACERO Y ESTRIBOS
- M - 4 VIGA CON REFUERZO DE ACERO SIN ESTRIBOS
- M - 5 VIGA CON REFUERZO DE ACERO SIN ESTRIBOS
- M - 6 VIGA CON REFURZO DE BAMBÚ SIN ESTRIBOS
- M - 7 VIGA CON REFUERZO DE BAMBÚ SIN ESTRIBOS
- M - 8 VIGA CON REFUERZO DE BAMBÚ SIN ESTRIBOS
- M - 9 VIGA SIN REFUERZO
- M - 10 VIGA SIN REFUERZO
- M - 11 VIGA CON REFUERZO DE BAMBÚ LISO CON ESTRIBOS
- M - 12 VIGA CON REFUERZO DE BAMBÚ LISO CON ESTRIBOS
- M - 13 VIGA CON REFUERZO DE BAMBÚ ACANALADO CON ESTRIBOS
- M - 14 VIGA CON REFUERZO DE BAMBÚ ACANALADO CON ESTRIBOS
- M - 15 VIGA CON REFUERZO DE BAMBÚ ACANALADO CON ESTRIBOS

OBSERVACION : Las muestras fueron proporcionadas e identificadas por el solicitante (fecha y origen), el laboratorio solo es responsable de la rotura.

ANEXO 7 ENSAYO DE HINCHAMIENTO



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y CONSTRUCCIÓN
LABORATORIO DE PRUEBA Y ENSAYOS DE MATERIALES

ENSAYO DE HINCHAMIENTO

RESPONSABLE : WILDER VARGAS VASQUEZ

TPO DE ENSAYO : INCREMENTO DE DIMENSIONES

FECHA : 16/06/2016

MUESTRA : EHL_SMP

LONGITUD : 10.0 cm

DESCRIPCION : DEM IMPERMEABILIZADO (CARA INTERNA)

TIEMPO TRANSCURRIDO (HORAS) INCREMENTO DE ESPESOR

Especificacion	0			24			48			72			96			120			
	(mm)	(mm)	(%)	(mm)	(mm)	(%)	(mm)	(mm)	(%)	(mm)	(mm)	(%)	(mm)	(mm)	(%)	(mm)	(mm)	(%)	
+1 (mm)	7.60	8.00	5.26	8.10	8.56	8.15	7.24	8.20	7.99	8.20	7.99	8.20	7.99	8.20	7.99	8.20	7.99	8.20	7.99
+2 (mm)	7.70	8.10	5.84	8.25	7.14	8.31	7.92	8.30	8.44	8.35	8.44	8.35	8.44	8.35	8.44	8.35	8.44	8.35	8.44
+3 (mm)	8.70	7.10	5.87	7.20	7.48	7.34	8.00	7.25	8.21	7.25	8.21	7.25	8.21	7.25	8.21	7.25	8.21	7.25	8.21
+4 (mm)	8.00	8.82	4.82	8.88	8.94	8.94	8.77	8.87	7.23	8.87	7.23	8.87	7.23	8.87	7.23	8.87	7.23	8.87	7.23
xprom. (mm)			5.50		8.88		7.80		7.94		7.94		7.94		7.94		7.94		7.94

INCREMENTO DE DIAMETRO TIEMPO TRANSCURRIDO (HORAS)

Especificacion	0			24			48			72			96			120			
	(mm)	(mm)	(%)	(mm)	(mm)	(%)	(mm)	(mm)	(%)	(mm)	(mm)	(%)	(mm)	(mm)	(%)	(mm)	(mm)	(%)	
D1 (mm)	9.45	9.85	2.12	9.71	2.75	9.73	2.60	9.74	3.07	9.74	3.07	9.74	3.07	9.74	3.07	9.74	3.07	9.74	3.07
D2 (mm)	9.00	9.85	1.58	9.74	2.53	9.75	2.83	9.77	2.84	9.77	2.84	9.77	2.84	9.77	2.84	9.77	2.84	9.77	2.84
Dprom. (mm)			1.85		2.64		2.80		2.96		2.96		2.96		2.96		2.96		2.96

INCREMENTO DE PESO TIEMPO TRANSCURRIDO (HORAS)

Especificacion	0			24			48			72			96			120			
	(g)	(g)	(%)	(g)	(g)	(%)	(g)	(g)	(%)	(g)	(g)	(%)	(g)	(g)	(%)	(g)	(g)	(%)	
W (g)	198.70	182.90	18.48	208.40	208.40	32.86	218.90	38.16	218.40	38.37	218.40	38.37	218.40	38.37	218.40	38.37	218.40	38.37	218.40

**ANEXO 7
ENSAYO DE HINCHAMIENTO**



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y CONSTRUCCIÓN
LABORATORIO DE PRUEBA Y ENSAYOS DE MATERIALES

ENSAYO DE HINCHAMIENTO

RESPONSABLE : WILDER VARGAS VASQUEZ
TIPO DE ENSAYO : INCREMENTO DE DIMENSIONES
FECHA : 16/05/2016
MUESTRA : EDC5

LONGITUD : 50.0 mm

DESCRIPCIÓN : SIN NUDO

TEMPO TRANSCURRIDO (HORAS)
INCREMENTO DE ESPESOR

Especificación	0		24		48		72		96		120	
	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)
*1 (mm)	6.10	6.80	8.20	7.00	14.75	7.00	14.75	7.00	14.75	7.00	14.75	7.00
*2 (mm)	6.10	6.80	11.40	7.10	16.30	7.10	17.21	7.20	16.03	7.25	16.85	
*3 (mm)	6.50	7.20	10.77	7.40	13.85	7.40	13.65	7.40	14.62	7.50	15.38	
*4 (mm)	6.20	7.50	12.60	7.35	16.55	7.40	16.35	7.40	16.35	7.40	16.35	
aprom. (mm)			10.81		13.89		14.49		14.69		17.08	

INCREMENTO DE DIAMETRO
TEMPO TRANSCURRIDO (HORAS)

Especificación	0		24		48		72		96		120	
	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)
D1 (mm)	63.00	67.00	4.82	67.80	5.78	68.00	6.02	68.20	6.27	68.25	6.33	
D2 (mm)	60.00	69.50	5.29	69.80	5.65	69.90	5.69	69.90	5.68	69.90	5.94	
Dprom (mm)			5.06		5.72		5.95		5.87		6.13	

INCREMENTO DE PESO
TEMPO TRANSCURRIDO (HORAS)

Especificación	0		24		48		72		96		120	
	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)
W(g)	164.60	147.80	40.80	166.70	57.98	170.10	62.15	174.30	66.16	175.20	67.82	

**ANEXO 7
ENSAYO DE HINCHAMIENTO**



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA
DEPARTAMENTO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y CONSTRUCCION
LABORATORIO DE PRUEBA Y ENSAYOS DE MATERIALES

ENSAYO DE HINCHAMIENTO

RESPONSABLE : WILDER VARGAS VASQUEZ

TIPO DE ENSAYO : INCREMENTO DE DIMENSIONES

FECHA : 16/02/2016

MUESTRA : ETCM

LONGITUD : 10.0 cm

DESCRIPCION : CON NUDO

TEMPO TRANSCURRIDO (HORAS)
INCREMENTO DE ESPESOR

Especificacion	0		24		48		72		96		120	
	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)
n1 (mm)	7.45	8.08	8.08	8.30	11.41	8.40	12.75	8.43	13.15	8.43	13.15	
n2 (mm)	7.70	8.20	8.40	8.50	10.30	8.80	11.00	8.82	11.80	8.82	11.80	
n3 (mm)	7.95	8.55	7.55	9.00	13.21	9.20	13.21	9.20	15.72	8.20	15.72	
n4 (mm)	7.80	8.30	9.21	8.80	15.70	8.80	17.11	8.81	17.24	8.81	17.24	
eprom (mm)			7.83	13.79	13.69	18.82	18.82	18.82	18.82	18.82	18.82	

INCREMENTO DE DIAMETRO
TEMPO TRANSCURRIDO (HORAS)

Especificacion	0		24		48		72		96		120	
	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)
D1 (mm)	88.50	92.40	4.41	82.50	4.52	83.00	5.00	83.25	5.37	83.25	5.37	
D2 (mm)	80.50	84.00	3.87	84.00	3.87	84.00	3.87	84.04	3.81	84.04	3.81	
Eprom (mm)			4.14	4.19	4.49	4.64	4.64	4.64	4.64	4.64	4.64	

INCREMENTO DE PESO
TEMPO TRANSCURRIDO (HORAS)

Especificacion	0		24		48		72		96		120	
	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)
W(g)	193.80	258.30	33.42	279.40	44.32	285.20	47.31	286.10	48.33	287.30	53.08	

**ANEXO 7
ENSAYO DE HINCHAMIENTO**



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA
DEPARTAMENTO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y CONSTRUCCION
LABORATORIO DE PRUEBA Y ENSAYOS DE MATERIALES

ENSAYO DE HINCHAMIENTO

RESPONSABLE : WILDER VARGAS VASQUEZ

TIPO DE ENSAYO : INCREMENTO DE DIMENSIONES

FECHA : 16/06/2016

MATERIAL : EPI_480*

LONGITUD : 10.0 cm

DESCRIPCION : IMPERMEABILIZADO EN SU TOTALIDAD

TEMPO TRANSCURRIDO (HORAS)

INCREMENTO DE ESPESOR

Especificación	0		24		48		72		96		120	
	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)
+1 (mm)	6.50	6.50	1.54	8.85	2.31	8.86	2.48	8.87	2.82	8.87	2.82	2.82
+2 (mm)	6.50	7.00	1.45	7.15	2.86	7.15	3.35	7.14	3.46	7.14	3.46	3.46
+3 (mm)	7.30	7.40	1.37	7.43	1.78	7.45	2.05	7.45	2.05	7.45	2.05	2.05
+4 (mm)	7.20	7.25	0.24	7.25	0.63	7.25	1.11	7.31	1.50	7.31	1.50	1.50
aprox. (mm)			1.26		1.96		2.24		2.42		2.42	2.42

INCREMENTO DE DIAMETRO

TEMPO TRANSCURRIDO (HORAS)

Especificación	0		24		48		72		96		120	
	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)
D1 (mm)	8.42	8.45	0.90	8.45	0.71	8.45	0.71	8.45	0.95	8.45	0.95	0.95
D2 (mm)	8.80	8.86	0.70	8.87	0.81	8.88	0.93	8.88	0.93	8.88	0.93	0.93
Dprom (mm)			0.65		0.76		0.82		0.94		0.94	0.94

INCREMENTO DE PESO

TEMPO TRANSCURRIDO (HORAS)

Especificación	0		24		48		72		96		120	
	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)
W (g)	117.80	124.80	2.85	125.00	2.27	121.60	12.18	122.10	12.33	122.10	12.33	12.33

**ANEXO 7
ENSAYO DE HINCHAMIENTO**



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y CONSTRUCCIÓN
LABORATORIO DE PRUEBA Y ENSAYOS DE MATERIALES

ENSAYO DE HINCHAMIENTO

RESPONSABLE : WILDER VARGAS VASQUEZ
TIPO DE ENSAYO : INCREMENTO DE DIMENSIONES
FECHA : 16/09/2016
MUESTRA : ENE-SAMP LONGITUD : 10.0 cm DESCRIPCIÓN : SEMI IMPERMEABILIZADO (CARA INTERNA)

Especificación	TIEMPO TRANSCURRIDO (HORAS)																		
	INCREMENTO DE ESPESOR																		
	0			24			48			72			96			120			
	(mm)	(mm)	(%)	(mm)	(mm)	(%)	(mm)	(mm)	(%)	(mm)	(mm)	(%)	(mm)	(mm)	(%)	(mm)	(mm)	(%)	
+1 (mm)	0.00	0.10	3.41	0.15	3.00	9.30	0.00	0.42	7.20	0.42	7.20	0.42	7.20	0.42	7.20	0.42	7.20	0.42	7.20
+2 (mm)	10.00	11.10	2.70	11.10	3.24	11.20	4.17	11.30	5.00	11.30	5.00	11.30	5.00	11.30	5.00	11.30	5.00	11.30	5.00
+3 (mm)	10.00	10.20	2.00	10.30	3.00	10.40	4.00	10.50	5.00	10.50	5.00	10.50	5.00	10.50	5.00	10.50	5.00	10.50	5.00
+4 (mm)	0.00	0.40	4.00	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
aprox. (mm)			3.28			3.80			4.80			6.17			6.17			6.17	

Especificación	INCREMENTO DE DIÁMETRO																		
	TIEMPO TRANSCURRIDO (HORAS)																		
	0			24			48			72			96			120			
	(mm)	(mm)	(%)	(mm)	(mm)	(%)	(mm)	(mm)	(%)	(mm)	(mm)	(%)	(mm)	(mm)	(%)	(mm)	(mm)	(%)	
D1 (mm)	0.00	0.70	1.14	0.70	1.45	0.81	1.00	0.82	1.70	0.82	1.70	0.82	1.70	0.82	1.70	0.82	1.70	0.82	1.70
D2 (mm)	0.15	0.30	2.10	0.30	2.51	0.30	2.51	0.40	2.73	0.40	2.73	0.40	2.73	0.40	2.73	0.40	2.73	0.40	2.73
Dprom. (mm)			1.66			1.90			2.00			2.20			2.20			2.20	

Especificación	INCREMENTO DE PESO																		
	TIEMPO TRANSCURRIDO (HORAS)																		
	0			24			48			72			96			120			
	(g)	(g)	(%)	(g)	(g)	(%)	(g)	(g)	(%)	(g)	(g)	(%)	(g)	(g)	(%)	(g)	(g)	(%)	
W (g)	102.70	105.00	19.00	201.10	211.70	209.00	37.07	211.00	30.30	211.00	30.30	211.00	30.30	211.00	30.30	211.00	30.30	211.00	30.30

**ANEXO 7
ENSAYO DE HINCHAMIENTO**



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA
DEPARTAMENTO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y CONSTRUCCION
LABORATORIO DE PROBES Y ENSAYOS DE MATERIALES

ENSAYO DE HINCHAMIENTO

RESPONSABLE : WILDER VARGAS VASQUEZ
TIPO DE ENSAYO : INCREMENTO DE DIMENSIONES
FECHA : 15/05/2016

MUESTRA : EPE_SMP LONGITUD : 10.0 cm DESCRIPCION : SEM IMPERMEABILIZADO (CARA INTERNA)

Especificacion	TEMPO TRANSCURRIDO (HORAS)																		
	INCREMENTO DE ESPESOR																		
	0			24			48			72			96			120			
	(mm)	(mm)	(%)	(mm)	(mm)	(%)	(mm)	(mm)	(%)	(mm)	(mm)	(%)	(mm)	(mm)	(%)	(mm)	(mm)	(%)	
e1 (mm)	7.60	8.00	5.26	8.10	8.68	8.15	7.24	8.20	7.89	8.20	7.89	8.20	7.89	8.20	7.89	8.20	7.89	8.20	7.89
e2 (mm)	7.70	8.15	6.89	8.25	7.14	8.31	7.82	8.35	8.44	8.35	8.44	8.35	8.44	8.35	8.44	8.35	8.44	8.35	8.44
e3 (mm)	6.70	7.10	6.87	7.20	7.48	7.34	8.08	7.26	8.21	7.26	8.21	7.26	8.21	7.26	8.21	7.26	8.21	7.26	8.21
e4 (mm)	6.60	6.62	4.62	6.68	6.64	6.64	6.77	6.67	7.23	6.67	7.23	6.67	7.23	6.67	7.23	6.67	7.23	6.67	7.23
eprom (mm)			6.88		6.68		7.88		7.84		7.84		7.84		7.84		7.84		7.84

Especificacion	INCREMENTO DE DIAMETRO																		
	TEMPO TRANSCURRIDO (HORAS)																		
	0			24			48			72			96			120			
	(mm)	(mm)	(%)	(mm)	(mm)	(%)	(mm)	(mm)	(%)	(mm)	(mm)	(%)	(mm)	(mm)	(%)	(mm)	(mm)	(%)	
D1 (mm)	6.45	6.60	2.12	6.71	2.75	6.75	2.86	6.74	3.07	6.74	3.07	6.74	3.07	6.74	3.07	6.74	3.07	6.74	3.07
D2 (mm)	6.50	6.60	1.58	6.74	2.83	6.75	2.83	6.77	2.84	6.77	2.84	6.77	2.84	6.77	2.84	6.77	2.84	6.77	2.84
Dprom (mm)			1.85		2.64		2.88		2.96		2.96		2.96		2.96		2.96		2.96

Especificacion	INCREMENTO DE PESO																		
	TEMPO TRANSCURRIDO (HORAS)																		
	0			24			48			72			96			120			
	(g)	(g)	(%)	(g)	(g)	(%)	(g)	(g)	(%)	(g)	(g)	(%)	(g)	(g)	(%)	(g)	(g)	(%)	
W (g)	106.70	102.50	-18.44	108.40	122.69	14.50	118.40	138.18	27.40	118.40	138.37	27.40	118.40	138.37	27.40	118.40	138.37	27.40	27.40

**ANEXO 8
CONTENIDO DE HUMEDAD**



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
 DEPARTAMENTO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y CONSTRUCCIÓN
 LABORATORIO DE PRUEBA Y ENSAYOS DE MATERIALES

CONTENIDO DE HUMEDAD NTC 5525

RESPONSABLE : WILDER VARGAS VASQUEZ
 TIPO DE ENSAYO : CONTENIDO DE HUMEDAD EN ENSAYO DE TENSIÓN
 FECHA : 23/05/2016

ITEM	TIPO MUESTRA	PESOS		CH (%)
		Mo (g)	Mf (g)	
1	ET1I	8.80	8.00	10.00
2	ECT2I	8.40	7.60	10.53
3	ECT3I	7.00	6.30	11.11
4	ET4M	10.50	9.40	11.70
5	ET5M	13.20	11.80	11.86
6	ET6M	12.70	11.50	10.43
7	ET7S	9.00	8.30	8.43
8	ET8S	10.50	9.30	12.90
9	ET9S	8.30	7.40	12.16

PROMEDIO	11.02
----------	-------

**ANEXO 8
CONTENIDO DE HUMEDAD**



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y CONSTRUCCIÓN
LABORATORIO DE PRUEBA Y ENSAYOS DE MATERIALES

CONTENIDO DE HUMEDAD NTC 5525

RESPONSABLE : WILDER VARGAS VASQUEZ
TIPO DE ENSAYO : CONTENIDO DE HUMEDAD EN ENSAYO DE CORTE
FECHA : 11/05/2016

ITEM	TIPO MUESTRA	PESOS		CH (%)
		Mo (g)	Mf (g)	
1	ECR1I	34.60	31.60	9.49
2	ECR2I	41.50	37.80	9.79
3	ECR3I	33.00	30.70	10.42
4	ECR4I	83.20	75.70	9.91
5	ECR5M	39.40	35.60	10.67
6	ECR6M	32.10	29.10	10.31
7	ECR7M	58.00	52.60	10.27
8	ECR8M	63.50	57.70	10.05
9	ECR9S	27.60	25.20	9.52
10	ECR10S	34.00	31.00	9.68
11	ECR11S	60.10	54.70	9.87
12	ECR12S	39.20	35.60	10.11

PROMEDIO	10.01
----------	-------

**ANEXO 8
CONTENIDO DE HUMEDAD**



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y CONSTRUCCIÓN
LABORATORIO DE PRUEBA Y ENSAYOS DE MATERIALES

CONTENIDO DE HUMEDAD NTC 5525

RESPONSABLE : WILDER VARGAS VASQUEZ
TIPO DE ENSAYO : CONTENIDO DE HUMEDAD EN ENSAYO DE TENSIÓN
FECHA : 23/05/2016

ITEM	TIPO MUESTRA	PESOS		CH (%)
		Mo (g)	Mf (g)	
1	ET1I	6.60	6.00	10.00
2	ECT2I	8.40	7.60	10.53
3	ECT3I	7.00	6.30	11.11
4	ET4M	10.50	9.40	11.70
5	ET5M	13.20	11.80	11.86
6	ET6M	12.70	11.50	10.43
7	ET7S	9.00	8.30	8.43
8	ET8S	10.50	9.30	12.90
9	ET9S	8.30	7.40	12.16

PROMEDIO	11.02
----------	-------

ANEXO 9
ENSAYO DE TENSIÓN PARALELA A LA FIBRA



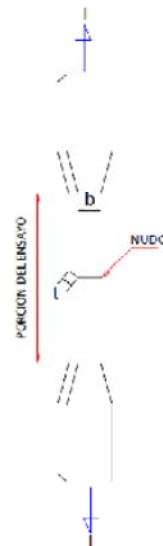
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS FORESTALES

ENSAYO DE TENSIÓN PARALELA A LAS FIBRAS NTC 5525

RESPONSABLE : WILDER VARGAS VASQUEZ
 LABORATORIO : LABORATORIO DE PROPIEDADES FÍSICA - MECÁNICAS DE LA MADERA
 EQUIPO : MAQUINA UNIVERSAL - TINIUS OLSEN
 FECHA : 18/05/2018

MUESTRA : ET9S DESCRIPCIÓN : CON NUDO
 LARGO UTIL (mm) : 98.50 PARTE DEL CULMO : SUPERIOR

b1 (mm)	11.70
b2 (mm)	12.00
b3 (mm)	12.00
t1 (mm)	7.50
t2 (mm)	7.60
t3 (mm)	7.60
b prom. (mm)	11.90
t prom. (mm)	7.57
Area (mm ²)	90.04



ANEXO 9
ENSAYO DE TENSIÓN PARALELA A LA FIBRA



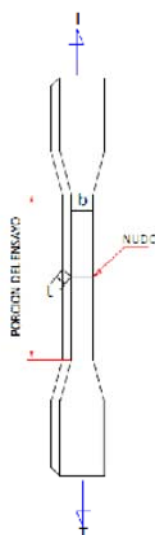
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS FORESTALES

ENSAYO DE TENSIÓN PARALELA A LAS FIBRAS NTC 5525

RESPONSABLE : WILDER VARGAS VASQUEZ
LABORATORIO : LABORATORIO DE PROPIEDADES FÍSICA - MECÁNICAS DE LA MADERA
EQUIPO : MAQUINA UNIVERSAL - TINIUS OLSEN
FECHA : 18/05/2016

MUESTRA : ET21 **DESCRIPCIÓN** : CON NUDO
LARGO UTIL (mm) : 100.00 **PARTE DEL CULMO** : INFERIOR

b1 (mm)	10.00
b2 (mm)	9.90
b3 (mm)	10.10
t1 (mm)	5.80
t2 (mm)	6.30
t3 (mm)	6.00
b prom. (mm)	10.00
t prom. (mm)	6.03
Area (mm ²)	60.33



ANEXO 9
ENSAYO DE TENSIÓN PARALELA A LA FIBRA



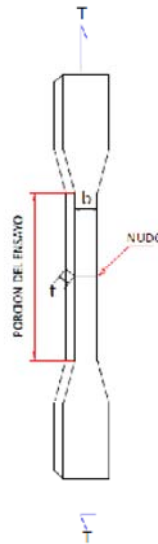
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS FORESTALES

ENSAYO DE TENSIÓN PARALELA A LAS FIBRAS NTC 5525

RESPONSABLE : WILDER VARGAS VASQUEZ
LABORATORIO : LABORATORIO DE PROPIEDADES FÍSICA - MECÁNICAS DE LA MADERA
EQUIPO : MAQUINA UNIVERSAL - TINIUS OLSEN
FECHA : 18/05/2018

MUESTRA : ET3I **DESCRIPCIÓN** : CON NUDO
LARGO UTIL (mm) : 97.00 **PARTE DEL CULMO** : INFERIOR

b1 (mm)	9.20
b2 (mm)	9.15
b3 (mm)	9.10
t1 (mm)	6.20
t2 (mm)	6.30
t3 (mm)	6.85
b prom. (mm)	9.15
t prom. (mm)	6.45
Area (mm ²)	59.02



ANEXO 9
ENSAYO DE TENSIÓN PARALELA A LA FIBRA



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

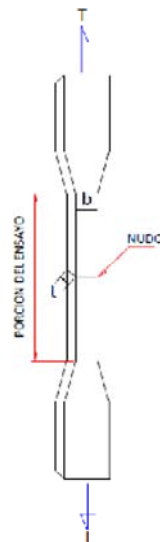
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS FORESTALES

ENSAYO DE TENSIÓN PARALELA A LAS FIBRAS NTC 5525

RESPONSABLE : WILDER VARGAS VASQUEZ
LABORATORIO : LABORATORIO DE PROPIEDADES FÍSICA - MECÁNICAS DE LA MADERA
EQUIPO : MAQUINA UNIVERSAL - TINIUS OLSEN
FECHA : 18/05/2016

MUESTRA : ET4M **DESCRIPCIÓN** : CON NUDO
LARGO UTIL (mm) : 98.00 **PARTE DEL CULMO** : MEDIO

b1 (mm)	11.35
b2 (mm)	11.20
b3 (mm)	11.00
t1 (mm)	11.00
t2 (mm)	11.20
t3 (mm)	11.00
b prom. (mm)	11.18
t prom. (mm)	11.07
Area (mm ²)	123.76



ANEXO 9
ENSAYO DE TENSION PARALELA A LA FIBRA



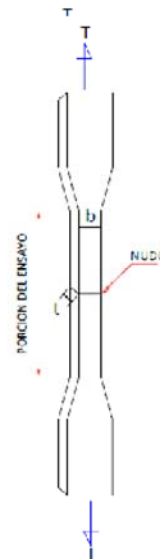
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS FORESTALES

ENSAYO DE TENSION PARALELA A LAS FIBRAS NTC 5525

RESPONSABLE : WILDER VARGAS VASQUEZ
LABORATORIO : LABORATORIO DE PROPIEDADES FÍSICA - MECÁNICAS DE LA MADERA
EQUIPO : MAQUINA UNIVERSAL - TINIUS OLSEN
FECHA : 18/05/2016

MUESTRA : ET5M DESCRIPCIÓN : CON NUDO
LARGO UTIL (mm) : 98.00 PARTE DEL CULMO : MEDIO

b1 (mm)	12.00
b2 (mm)	11.70
b3 (mm)	12.05
t1 (mm)	11.40
t2 (mm)	11.70
t3 (mm)	12.00
b prom. (mm)	11.92
t prom. (mm)	11.70
Area (mm ²)	139.43



ANEXO 9
ENSAYO DE TENSION PARALELA A LA FIBRA



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

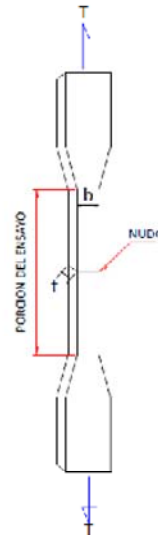
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS FORESTALES

ENSAYO DE TENSION PARALELA A LAS FIBRAS NTC 5525

RESPONSABLE : WILDER VARGAS VASQUEZ
LABORATORIO : LABORATORIO DE PROPIEDADES FISICA - MECANICAS DE LA MADERA
EQUIPO : MAQUINA UNIVERSAL - TINIUS OLSEN
FECHA : 18/05/2016

MUESTRA : ET6M DESCRIPCIÓN : CON NUDO
LARGO UTIL (mm) : 99.00 PARTE DEL CULMO : MEDIO

b1 (mm)	12.30
b2 (mm)	11.00
b3 (mm)	11.40
t1 (mm)	10.00
t2 (mm)	10.20
t3 (mm)	10.50
b prom. (mm)	11.57
t prom. (mm)	10.23
Area (mm ²)	118.37



ANEXO 9
ENSAYO DE TENSIÓN PARALELA A LA FIBRA



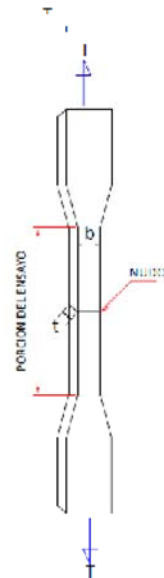
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS FORESTALES

ENSAYO DE TENSIÓN PARALELA A LAS FIBRAS NTC 5525

RESPONSABLE : WILDER VARGAS VASQUEZ
LABORATORIO : LABORATORIO DE PROPIEDADES FÍSICA - MECÁNICAS DE LA MADERA
EQUIPO : MAQUINA UNIVERSAL - TINIUS OLSEN
FECHA : 18/05/2016

MUESTRA : ET7S **DESCRIPCIÓN** : CON NUDO
LARGO UTIL (mm) : 98.00 **PARTE DEL CULMO** : SUPERIOR

b1 (mm)	14.60
b2 (mm)	14.20
b3 (mm)	14.20
t1 (mm)	9.30
t2 (mm)	9.50
t3 (mm)	9.80
b prom. (mm)	14.33
t prom. (mm)	9.53
Area (mm ²)	136.64



ANEXO 9
ENSAYO DE TENSIÓN PARALELA A LA FIBRA



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

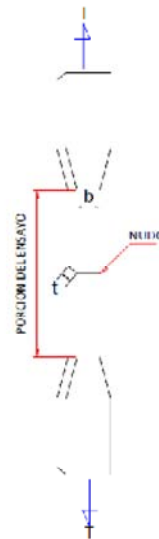
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS FORESTALES

ENSAYO DE TENSIÓN PARALELA A LAS FIBRAS NTC 5525

RESPONSABLE : WILDER VARGAS VASQUEZ
LABORATORIO : LABORATORIO DE PROPIEDADES FÍSICA - MECÁNICAS DE LA MADERA
EQUIPO : MAQUINA UNIVERSAL - TINIUS OLSEN
FECHA : 18/05/2016

MUESTRA : ET8S **DESCRIPCIÓN** : CON NUDO
LARGO UTIL (mm) : 100.00 **PARTE DEL CULMO** : SUPERIOR

b1 (mm)	13.20
b2 (mm)	13.00
b3 (mm)	12.90
t1 (mm)	7.70
t2 (mm)	8.00
t3 (mm)	8.10
b prom. (mm)	13.03
t prom. (mm)	7.93
Area (mm ²)	103.40



ANEXO 9
ENSAYO DE TENSIÓN PARALELA A LA FIBRA



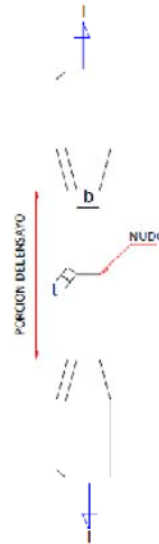
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS FORESTALES

ENSAYO DE TENSIÓN PARALELA A LAS FIBRAS NTC 5525

RESPONSABLE : WILDER VARGAS VASQUEZ
LABORATORIO : LABORATORIO DE PROPIEDADES FÍSICA - MECÁNICAS DE LA MADERA
EQUIPO : MAQUINA UNIVERSAL - TINIUS OLSEN
FECHA : 18/05/2018

MUESTRA : ET9S **DESCRIPCIÓN** : CON NUDO
LARGO UTIL (mm) : 98.50 **PARTE DEL CULMO** : SUPERIOR

b1 (mm)	11.70
b2 (mm)	12.00
b3 (mm)	12.00
t1 (mm)	7.50
t2 (mm)	7.60
t3 (mm)	7.60
b prom. (mm)	11.90
t prom. (mm)	7.57
Area (mm ²)	90.04



ANEXO 9

ESFUERZO ÚLTIMO DE ENSAYO A TENSIÓN PARALELA

ENSAYO DE TENSIÓN PARALELA A LAS FIBRAS NTC 5525			
MUESTRAS	ET1I	ET2I	ET3I
Espesor "t" (cm)	0.61	0.60	0.65
Longitud "b" (cm)	1.06	1.00	0.92
Área (cm ²)	0.64	0.60	0.59
Carga últ. (kg)	544.32	574.26	462.67
σ último (kg/cm²)	849.11	951.81	783.95
PROMEDIO			861.63

ENSAYO DE TENSIÓN PARALELA A LAS FIBRAS NTC 5525			
MUESTRAS	ET4M	ET5M	ET6M
Espesor "t" (cm)	1.11	1.17	1.02
Longitud "b" (cm)	1.12	1.19	1.16
Área (cm ²)	1.24	1.39	1.18
Carga últ. (kg)	997.92	1186.16	1290.49
σ último (kg/cm²)	806.32	850.75	1090.26
PROMEDIO			915.78

ENSAYO DE TENSIÓN PARALELA A LAS FIBRAS NTC 5525			
MUESTRAS	ET7S	ET8S	ET9S
Espesor "t" (cm)	0.95	0.79	0.76
Longitud "b" (cm)	1.43	1.30	1.19
Área (cm ²)	1.37	1.03	0.90
Carga últ. (kg)	1299.56	1217.91	1079.56
σ último (kg/cm²)	951.05	1177.89	1198.93
PROMEDIO			1109.29

ANEXO 10
ENSAYO DE COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA



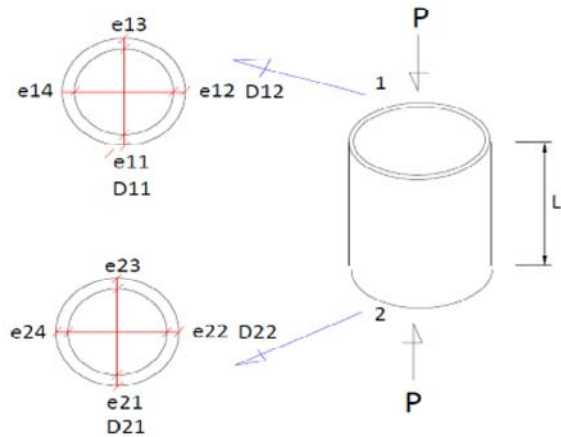
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS FORESTALES

ENSAYO DE COMPRESIÓN PARALELO A LAS FIBRAS NTC 5525

RESPONSABLE : WILDER VARGAS VASQUEZ
LABORATORIO : LABORATORIO DE PROPIEDADES FÍSICA - MECÁNICAS DE LA MADERA
EQUIPO : MAQUINA UNIVERSAL - TINIUS OLSEN
FECHA : 10/05/2016

MUESTRA : EC12S **PARTE DEL CULMO** : SUPERIOR
LONGITUD : 9.3 cm **DESCRIPCIÓN** : CON NUDO

e11	0.86
e12	0.86
e13	0.85
e14	0.93
e21	0.86
e22	0.85
e23	0.83
e24	0.88
D12	8.80
D11	8.70
D21	9.40
D22	9.20
e prom. (mm)	8.85
Dprom. (mm)	90.25
Area (mm ²)	2217.41



ANEXO 10
ENSAYO DE COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

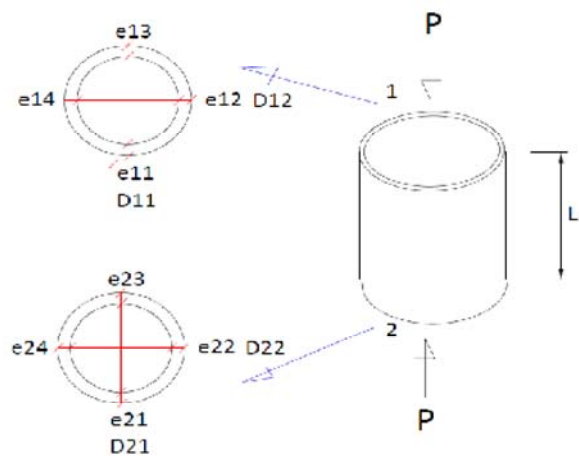
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS FORESTALES

ENSAYO DE COMPRESIÓN PARALELO A LAS FIBRAS NTC 5525

RESPONSABLE : WILDER VARGAS VASQUEZ
LABORATORIO : LABORATORIO DE PROPIEDADES FÍSICA - MECÁNICAS DE LA MADERA
EQUIPO : MAQUINA UNIVERSAL - TINIUS OLSEN
FECHA : 10/05/2018

MUESTRA : EC21
LONGITUD : 9.1 cm
PARTE DEL CULMO : INFERIOR
DESCRIPCIÓN : SIN NUDO

e11	0.82
e12	0.70
e13	0.74
e14	0.89
e21	0.74
e22	0.70
e23	0.78
e24	0.80
D12	9.40
D11	9.20
D21	9.00
D22	9.40
e prom. (mm)	7.71
Dprom. (mm)	92.50
Area (mm ²)	2054.31



ANEXO 10
ENSAYO DE COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

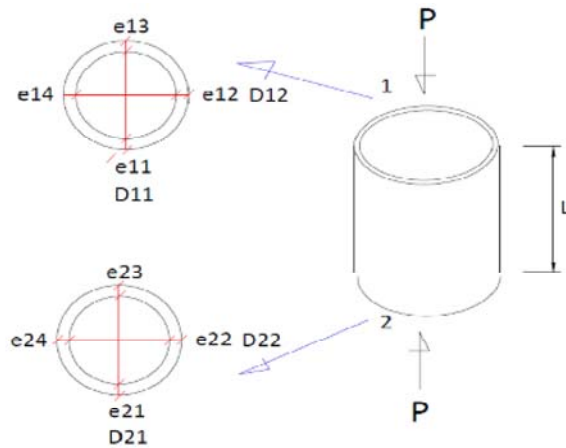
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS FORESTALES

ENSAYO DE COMPRESIÓN PARALELO A LAS FIBRAS NTC 5525

RESPONSABLE : WILDER VARGAS VASQUEZ
LABORATORIO : LABORATORIO DE PROPIEDADES FÍSICA - MECÁNICAS DE LA MADERA
EQUIPO : MAQUINA UNIVERSAL - TINIUS OLSEN
FECHA : 10/05/2016

MUESTRA : EC3I PARTE DEL CULMO : INFERIOR
LONGITUD : 9.8 cm DESCRIPCIÓN : CON NUDO

e11	1.02
e12	1.05
e13	1.00
e14	0.90
e21	0.93
e22	0.86
e23	0.96
e24	0.98
D12	9.80
D11	10.00
D21	9.75
D22	9.50
e prom. (mm)	9.63
Dprom. (mm)	97.83
Area (mm ²)	2680.86



**ANEXO 10
ENSAYO DE COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA**



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

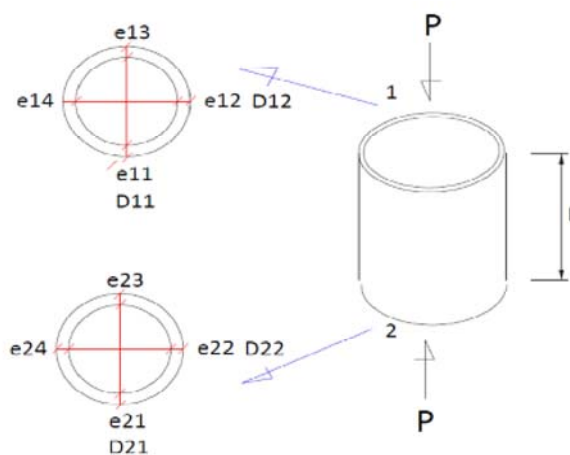
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS FORESTALES

ENSAYO DE COMPRESIÓN PARALELO A LAS FIBRAS NTC 5525

RESPONSABLE : WILDER VARGAS VASQUEZ
LABORATORIO : LABORATORIO DE PROPIEDADES FÍSICA - MECÁNICAS DE LA MADERA
EQUIPO : MAQUINA UNIVERSAL - TINIUS OLSEN
FECHA : 10/05/2018

MUESTRA : EC41 **PARTE DEL CULMO** : INFERIOR
LONGITUD : 9.8 cm **DESCRIPCIÓN** : CON NUDO

e11	0.84
e12	0.90
e13	0.80
e14	0.90
e21	1.02
e22	0.88
e23	0.90
e24	0.88
D12	9.80
D11	10.00
D21	9.75
D22	9.50
e prom. (mm)	8.90
Dprom. (mm)	97.63
Area (mm ²)	2480.71



ANEXO 10
ENSAYO DE COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA

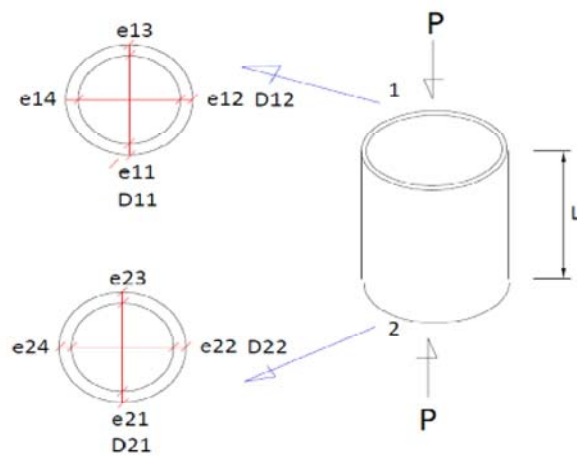


UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS FORESTALES

ENSAYO DE COMPRESIÓN PARALELO A LAS FIBRAS NTC 5525

RESPONSABLE	: WILDER VARGAS VASQUEZ	PARTE DEL CULMO	: MEDIO
LABORATORIO	: LABORATORIO DE PROPIEDADES FÍSICA - MECÁNICAS DE LA MADERA	DESCRIPCIÓN	: SIN NUDO
EQUIPO	: MAQUINA UNIVERSAL - TINIUS OLSEN		
FECHA	: 10/05/2018		
MUESTRA	: EC6M		
LONGITUD	: 9.1 cm		

e11	0.84
e12	0.89
e13	0.89
e14	0.70
e21	0.83
e22	0.72
e23	0.75
e24	0.88
D12	8.90
D11	8.80
D21	9.00
D22	8.95
e prom. (mm)	8.88
Dprom. (mm)	89.13
Area (mm ²)	1776.43



ANEXO 10
ENSAYO DE COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

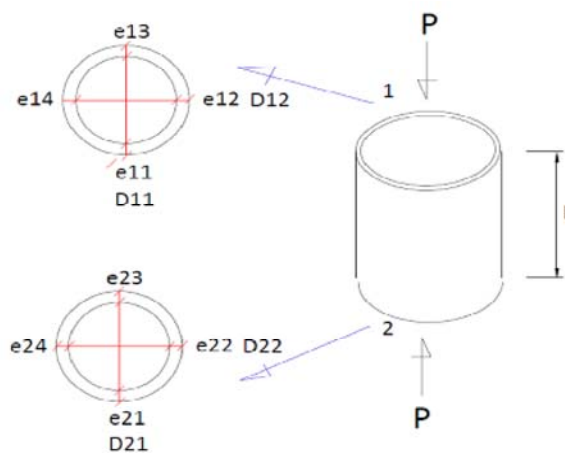
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS FORESTALES

ENSAYO DE COMPRESIÓN PARALELO A LAS FIBRAS NTC 5525

RESPONSABLE : WILDER VARGAS VASQUEZ
 LABORATORIO : LABORATORIO DE PROPIEDADES FÍSICA - MECÁNICAS DE LA MADERA
 EQUIPO : MAQUINA UNIVERSAL - TINIUS OLSEN
 FECHA : 10/05/2016

MUESTRA : EC8M
 LONGITUD : 10.1 cm
 PARTE DEL CULMO : MEDIO
 DESCRIPCIÓN : CON NUDO

e11	0.86
e12	0.88
e13	0.83
e14	0.92
e21	0.90
e22	0.92
e23	0.92
e24	0.96
D12	9.50
D11	9.70
D21	9.10
D22	9.30
e prom. (mm)	8.99
Dprom. (mm)	94.00
Area (mm ²)	2400.27



**ANEXO 10
 ENSAYO DE COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA**



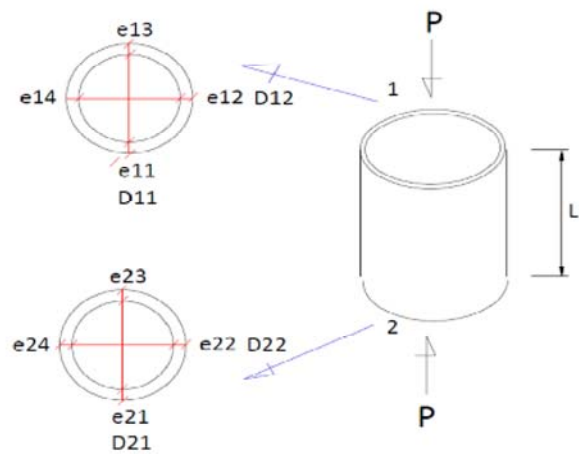
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
 FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
 DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS FORESTALES

ENSAYO DE COMPRESIÓN PARALELO A LAS FIBRAS NTC 5525

RESPONSABLE : WILDER VARGAS VASQUEZ
 LABORATORIO : LABORATORIO DE PROPIEDADES FÍSICA - MECÁNICAS DE LA MADERA
 EQUIPO : MAQUINA UNIVERSAL - TINIUS OLSEN
 FECHA : 10/05/2016

MUESTRA : EC9S PARTE DEL CULMO : SUPERIOR
 LONGITUD : 8.7 cm DESCRIPCIÓN : SIN NUDO

e11	0.76
e12	0.74
e13	0.75
e14	0.75
e21	0.72
e22	0.74
e23	0.74
e24	0.76
D12	8.70
D11	8.40
D21	8.50
D22	8.40
e prom. (mm)	7.45
Dprom. (mm)	85.00
Area (mm ²)	1815.00



ANEXO 10
ENSAYO DE COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

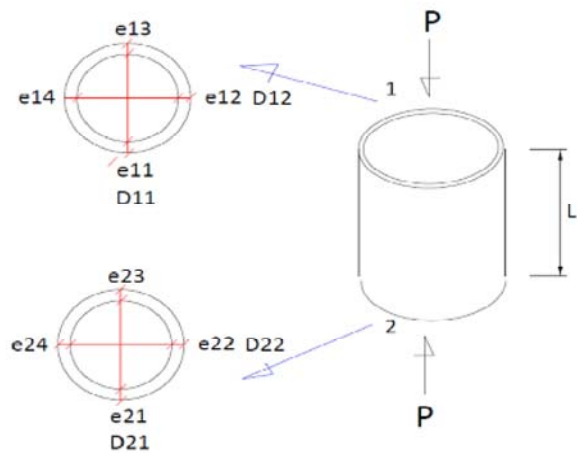
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS FORESTALES

ENSAYO DE COMPRESIÓN PARALELO A LAS FIBRAS NTC 5525

RESPONSABLE : WILDER VARGAS VASQUEZ
LABORATORIO : LABORATORIO DE PROPIEDADES FÍSICA - MECÁNICAS DE LA MADERA
EQUIPO : MAQUINA UNIVERSAL - TINIUS OLSEN
FECHA : 10/05/2016

MUESTRA : EC10S **PARTE DEL CULMO** : SUPERIOR
LONGITUD : 8.6 cm **DESCRIPCIÓN** : SIN NUDO

e11	0.74
e12	0.76
e13	0.70
e14	0.70
e21	0.74
e22	0.72
e23	0.72
e24	0.73
D12	8.70
D11	8.50
D21	8.60
D22	8.40
e prom. (mm)	7.26
Dprom. (mm)	85.50
Area (mm ²)	1785.01



ANEXO 10
ENSAYO DE COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

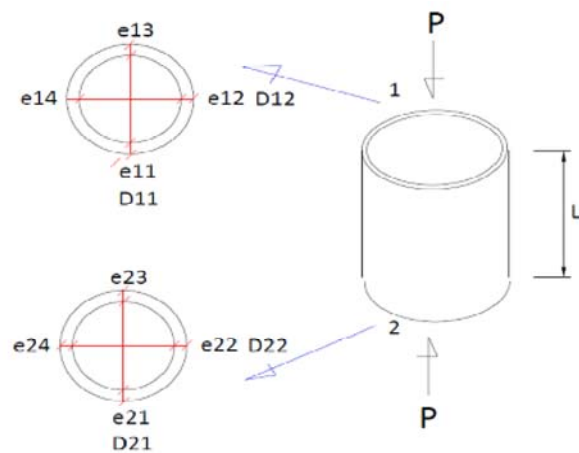
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS FORESTALES

ENSAYO DE COMPRESIÓN PARALELO A LAS FIBRAS NTC 5525

RESPONSABLE : WILDER VARGAS VASQUEZ
LABORATORIO : LABORATORIO DE PROPIEDADES FÍSICA - MECÁNICAS DE LA MADERA
EQUIPO : MAQUINA UNIVERSAL - TINIUS OLSEN
FECHA : 10/05/2016

MUESTRA : EC11S **PARTE DEL CULMO** : SUPERIOR
LONGITUD : 9.4 cm **DESCRIPCIÓN** : CON NUDO

e11	0.83
e12	0.80
e13	0.87
e14	0.79
e21	0.73
e22	0.73
e23	0.80
e24	0.75
D12	8.80
D11	8.90
D21	9.10
D22	9.00
e prom. (mm)	7.88
Dprom. (mm)	89.50
Area (mm ²)	2019.38



ANEXO 10
ENSAYO DE COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA



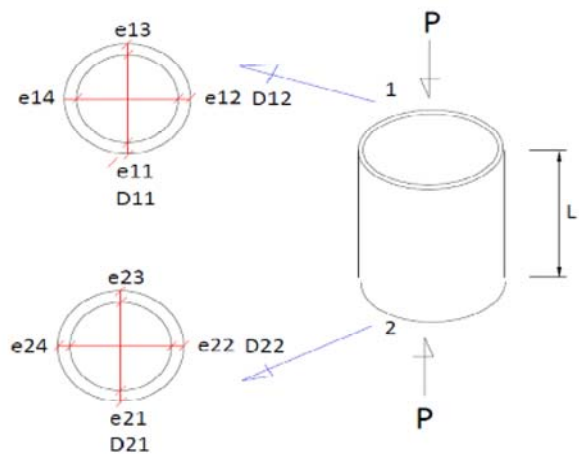
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS FORESTALES

ENSAYO DE COMPRESIÓN PARALELO A LAS FIBRAS NTC 5525

RESPONSABLE : WILDER VARGAS VASQUEZ
LABORATORIO : LABORATORIO DE PROPIEDADES FÍSICA - MECÁNICAS DE LA MADERA
EQUIPO : MAQUINA UNIVERSAL - TINIUS OLSEN
FECHA : 10/05/2016

MUESTRA : EC12S **PARTE DEL CULMO** : SUPERIOR
LONGITUD : 9.3 cm **DESCRIPCIÓN** : CON NUDO

e11	0.88
e12	0.88
e13	0.85
e14	0.93
e21	0.88
e22	0.85
e23	0.83
e24	0.88
D12	8.80
D11	8.70
D21	9.40
D22	9.20
e prom. (mm)	8.65
Dprom. (mm)	90.25
Area (mm ²)	2217.41



ANEXO 10

ESFUERZO ÚLTIMO DE ENSAYO A COMPRESIÓN PARALELA

ESFUERZO ÚLTIMO DE COMPRESIÓN PARALELO A LAS FIBRAS NTC 5525				
MUESTRAS	EC1I	EC2I	EC3I	EC4I
	SIN NUDO		CON NUDO	
Dex (cm)	9.51	9.25	9.76	9.76
Espesor "e" (cm)	0.76	0.77	0.96	0.89
Longitud "L" (cm)	9.30	9.10	9.80	9.80
Área (cm ²)	20.90	20.54	26.61	24.81
Carga últ. (kg)	10047.06	9275.96	9185.24	10432.62
σ último (kg/cm²)	480.79	451.54	345.20	420.55
PROMEDIO				424.52

ESFUERZO ÚLTIMO DE COMPRESIÓN PARALELO A LAS FIBRAS NTC 5525				
MUESTRAS	EC5M	EC6M	EC7M	EC8M
	SIN NUDO		CON NUDO	
Dex (cm)	8.54	8.91	9.30	9.40
Espesor "e" (cm)	0.70	0.69	0.87	0.90
Longitud "L" (cm)	8.40	9.10	10.10	10.10
Área (cm ²)	17.29	17.76	22.98	24.00
Carga últ. (kg)	9434.71	9774.91	12677.90	12609.86
σ último (kg/cm²)	545.64	550.26	551.67	525.35
PROMEDIO				543.23

ESFUERZO ÚLTIMO DE COMPRESIÓN PARALELO A LAS FIBRAS NTC 5525				
MUESTRAS	EC9S	EC10S	EC11S	EC12S
	SIN NUDO		CON NUDO	
Dex (cm)	8.50	8.55	8.95	9.03
Espesor "e" (cm)	0.75	0.73	0.79	0.87
Longitud "L" (cm)	8.60	8.50	9.40	9.30
Área (cm ²)	18.15	17.85	20.19	22.17
Carga últ. (kg)	10251.18	10636.73	11543.92	12156.27
σ último (kg/cm²)	564.80	595.89	571.66	548.22
PROMEDIO				570.14

**ANEXO 11
ENSAYO DE CORTE PARALELO A LAS FIBRAS**



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

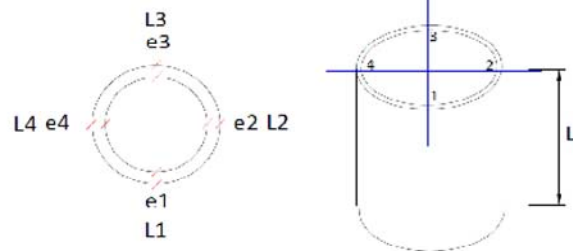
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS FORESTALES

ENSAYO DE CORTE PARALELO A LAS FIBRAS NTC 5525

RESPONSABLE : WILDER VARGAS VASQUEZ
 LABORATORIO : LABORATORIO DE PROPIEDADES FÍSICA - MECÁNICAS DE LA MADERA
 EQUIPO : MAQUINA UNIVERSAL - TINIUS OLSEN
 FECHA : 11/05/2016

MUESTRA : EV12S DESCRIPCIÓN : CON NUDO
 PARTE DEL CULMO : SUPERIOR

L1 (mm)	90.00
L2 (mm)	91.00
L3 (mm)	91.50
L4 (mm)	89.50
e1 (mm)	7.70
e2 (mm)	8.90
e3 (mm)	8.00
e4 (mm)	7.70
L prom. (mm)	90.50
e prom. (mm)	8.08
Area (mm ²)	2924.05



**ANEXO 11
ENSAYO DE CORTE PARALELO A LAS FIBRAS**



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

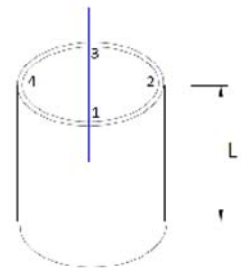
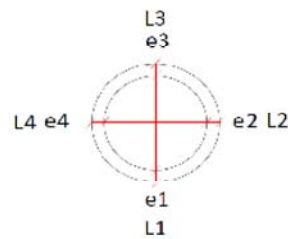
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS FORESTALES

ENSAYO DE CORTE PARALELO A LAS FIBRAS NTC 5525

RESPONSABLE : WILDER VARGAS VASQUEZ
LABORATORIO : LABORATORIO DE PROPIEDADES FÍSICA - MECÁNICAS DE LA MADERA
EQUIPO : MAQUINA UNIVERSAL - TINIUS OLSEN
FECHA : 11/05/2016

MUESTRA : EV21 DESCRIPCIÓN : SIN NUDO
PARTE DEL CULMO : INFERIOR

L1 (mm)	96.50
L2 (mm)	95.00
L3 (mm)	94.50
L4 (mm)	95.50
e1 (mm)	7.40
e2 (mm)	7.60
e3 (mm)	7.20
e4 (mm)	6.80
L prom. (mm)	95.38
e prom. (mm)	7.20
Area (mm ²)	2746.80



**ANEXO 11
ENSAYO DE CORTE PARALELO A LAS FIBRAS**



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS FORESTALES

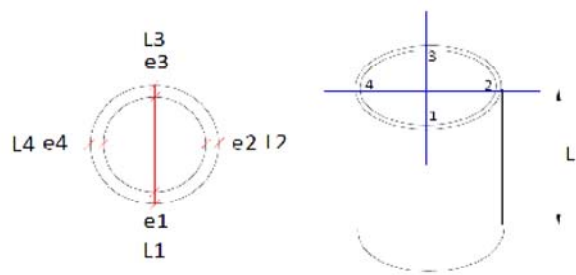
ENSAYO DE CORTE PARALELO A LAS FIBRAS NTC 5525

RESPONSABLE : WILDER VARGAS VASQUEZ
LABORATORIO : LABORATORIO DE PROPIEDADES FÍSICA - MECÁNICAS DE LA MADERA
EQUIPO : MAQUINA UNIVERSAL - TINIUS OLSEN
FECHA : 11/05/2018

MUESTRA : EV31

DESCRIPCIÓN : CON NUDO
PARTE DEL CULMO : INFERIOR

L1 (mm)	95.30
L2 (mm)	94.50
L3 (mm)	95.50
L4 (mm)	94.50
e1 (mm)	9.00
e2 (mm)	7.80
e3 (mm)	8.45
e4 (mm)	8.40
L prom. (mm)	94.95
e prom. (mm)	8.41
Area (mm ²)	3195.58



ANEXO 11
ENSAYO DE CORTE PARALELO A LAS FIBRAS



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

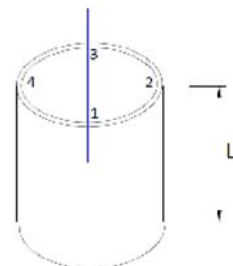
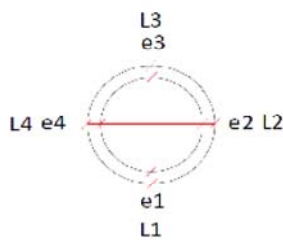
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS FORESTALES

ENSAYO DE CORTE PARALELO A LAS FIBRAS NTC 5525

RESPONSABLE : WILDER VARGAS VASQUEZ
LABORATORIO : LABORATORIO DE PROPIEDADES FÍSICA - MECÁNICAS DE LA MADERA
EQUIPO : MAQUINA UNIVERSAL - TINIUS OLSEN
FECHA : 11/05/2016

MUESTRA : EV41
DESCRIPCIÓN : CON NUDO
PARTE DEL CULMO : INFERIOR

L1 (mm)	102.00
L2 (mm)	101.00
L3 (mm)	100.00
L4 (mm)	101.00
e1 (mm)	10.00
e2 (mm)	10.20
e3 (mm)	11.00
e4 (mm)	10.20
L prom. (mm)	101.00
e prom. (mm)	10.35
Area (mm ²)	4180.40



ANEXO 11
ENSAYO DE CORTE PARALELO A LAS FIBRAS



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

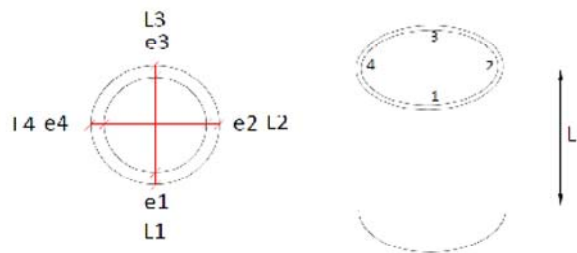
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS FORESTALES

ENSAYO DE CORTE PARALELO A LAS FIBRAS NTC 5525

RESPONSABLE : WILDER VARGAS VASQUEZ
 LABORATORIO : LABORATORIO DE PROPIEDADES FÍSICA - MECÁNICAS DE LA MADERA
 EQUIPO : MAQUINA UNIVERSAL - TINIUS OLSEN
 FECHA : 11/05/2018

MUESTRA : EV5M DESCRIPCIÓN : SIN NUDO
 PARTE DEL CULMO : MEDIO

L1 (mm)	94.50
L2 (mm)	92.60
L3 (mm)	98.00
L4 (mm)	97.50
e1 (mm)	7.60
e2 (mm)	7.40
e3 (mm)	7.20
e4 (mm)	7.10
L prom. (mm)	95.63
e prom. (mm)	7.33
Area (mm ²)	2800.55



**ANEXO 11
ENSAYO DE CORTE PARALELO A LAS FIBRAS**



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS FORESTALES

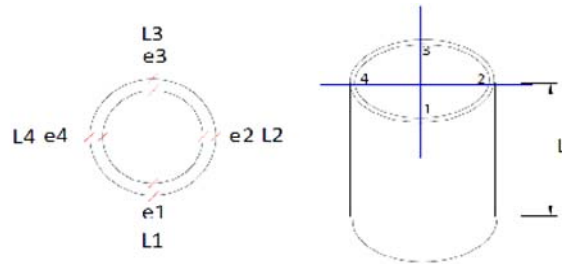
ENSAYO DE CORTE PARALELO A LAS FIBRAS NTC 5525

RESPONSABLE : WILDER VARGAS VASQUEZ
 LABORATORIO : LABORATORIO DE PROPIEDADES FÍSICA - MECÁNICAS DE LA MADERA
 EQUIPO : MAQUINA UNIVERSAL - TINIUS OLSEN
 FECHA : 11/05/2016

MUESTRA : EV6M

DESCRIPCIÓN : SIN NUDO
 PARTE DEL CULMO : MEDIO

L1 (mm)	97.50
L2 (mm)	96.00
L3 (mm)	97.50
L4 (mm)	98.00
e1 (mm)	7.00
e2 (mm)	7.70
e3 (mm)	7.70
e4 (mm)	7.80
L prom. (mm)	97.25
e prom. (mm)	7.55
Area (mm ²)	2836.85



**ANEXO 11
ENSAYO DE CORTE PARALELO A LAS FIBRAS**



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

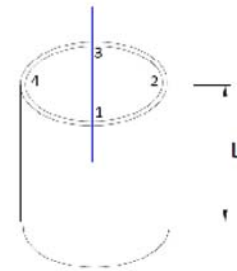
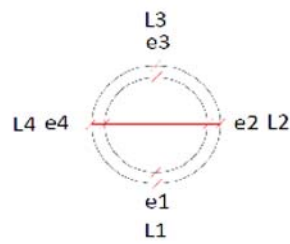
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS FORESTALES

ENSAYO DE CORTE PARALELO A LAS FIBRAS NTC 5525

RESPONSABLE : WILDER VARGAS VASQUEZ
 LABORATORIO : LABORATORIO DE PROPIEDADES FÍSICA - MECÁNICAS DE LA MADERA
 EQUIPO : MAQUINA UNIVERSAL - TINIUS OLSEN
 FECHA : 11/05/2018

MUESTRA : EV7M DESCRIPCIÓN : CON NUDO
 PARTE DEL CULMO : MEDIO

L1 (mm)	92.00
L2 (mm)	92.50
L3 (mm)	93.00
L4 (mm)	92.50
e1 (mm)	8.00
e2 (mm)	9.00
e3 (mm)	8.80
e4 (mm)	9.00
L prom. (mm)	92.50
e prom. (mm)	8.85
Area (mm ²)	3200.80



ANEXO 11
ENSAYO DE CORTE PARALELO A LAS FIBRAS



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

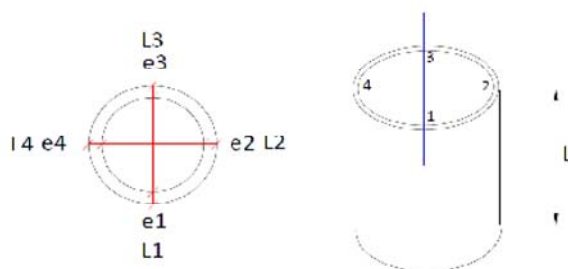
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS FORESTALES

ENSAYO DE CORTE PARALELO A LAS FIBRAS NTC 5525

RESPONSABLE : WILDER VARGAS VASQUEZ
LABORATORIO : LABORATORIO DE PROPIEDADES FÍSICA - MECÁNICAS DE LA MADERA
EQUIPO : MAQUINA UNIVERSAL - TINIUS OLSEN
FECHA : 11/05/2016

MUESTRA : EV8M DESCRIPCIÓN : CON NUDO
PARTE DEL CULMO : MEDIO

L1 (mm)	102.00
L2 (mm)	100.30
L3 (mm)	100.30
L4 (mm)	100.40
e1 (mm)	8.60
e2 (mm)	8.20
e3 (mm)	8.50
e4 (mm)	9.00
L prom. (mm)	100.75
e prom. (mm)	8.58
Area (mm ²)	3455.81



ANEXO 11
ENSAYO DE CORTE PARALELO A LAS FIBRAS



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

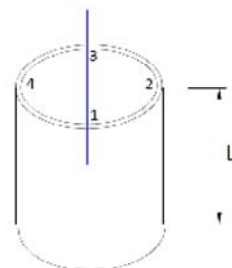
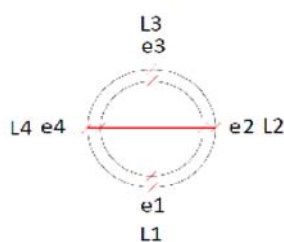
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS FORESTALES

ENSAYO DE CORTE PARALELO A LAS FIBRAS NTC 5525

RESPONSABLE : WILDER VARGAS VASQUEZ
 LABORATORIO : LABORATORIO DE PROPIEDADES FÍSICA - MECÁNICAS DE LA MADERA
 EQUIPO : MAQUINA UNIVERSAL - TINIUS OLSEN
 FECHA : 11/05/2016

MUESTRA : EV9S
 DESCRIPCIÓN : SIN NUDO
 PARTE DEL CULMO : SUPERIOR

L1 (mm)	78.00
L2 (mm)	81.00
L3 (mm)	80.50
L4 (mm)	78.00
e1 (mm)	6.80
e2 (mm)	7.20
e3 (mm)	7.00
e4 (mm)	7.00
L prom. (mm)	79.38
e prom. (mm)	7.00
Area (mm ²)	2223.10



ANEXO 11
ENSAYO DE CORTE PARALELO A LAS FIBRAS



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

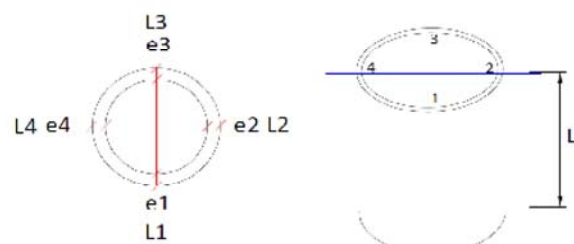
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS FORESTALES

ENSAYO DE CORTE PARALELO A LAS FIBRAS NTC 5525

RESPONSABLE : WILDER VARGAS VASQUEZ
LABORATORIO : LABORATORIO DE PROPIEDADES FÍSICA - MECÁNICAS DE LA MADERA
EQUIPO : MAQUINA UNIVERSAL - TINIUS OLSEN
FECHA : 11/05/2016

MUESTRA : EV10S
DESCRIPCIÓN : SIN NUDO
PARTE DEL CULMO : SUPERIOR

L1 (mm)	84.00
L2 (mm)	84.50
L3 (mm)	84.00
L4 (mm)	84.50
e1 (mm)	6.80
e2 (mm)	6.80
e3 (mm)	6.20
e4 (mm)	7.00
L prom. (mm)	84.25
e prom. (mm)	6.70
Area (mm2)	2258.10



ANEXO 11
ENSAYO DE CORTE PARALELO A LAS FIBRAS



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

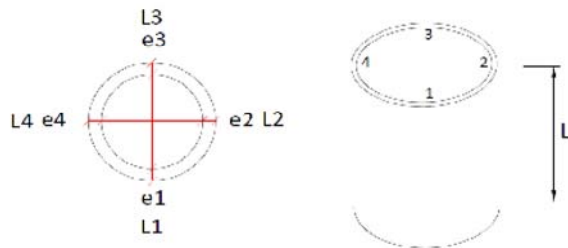
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS FORESTALES

ENSAYO DE CORTE PARALELO A LAS FIBRAS NTC 5525

RESPONSABLE : WILDER VARGAS VASQUEZ
LABORATORIO : LABORATORIO DE PROPIEDADES FÍSICA - MECÁNICAS DE LA MADERA
EQUIPO : MAQUINA UNIVERSAL - TINIUS OLSEN
FECHA : 11/05/2018

MUESTRA : EV11S
DESCRIPCIÓN : CON NUDO
PARTE DEL CULMO : SUPERIOR

L1 (mm)	91.50
L2 (mm)	90.00
L3 (mm)	89.50
L4 (mm)	91.00
e1 (mm)	7.10
e2 (mm)	8.20
e3 (mm)	7.80
e4 (mm)	7.80
L prom. (mm)	90.50
e prom. (mm)	7.73
Area (mm ²)	2795.55



**ANEXO 11
ENSAYO DE CORTE PARALELO A LAS FIBRAS**



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

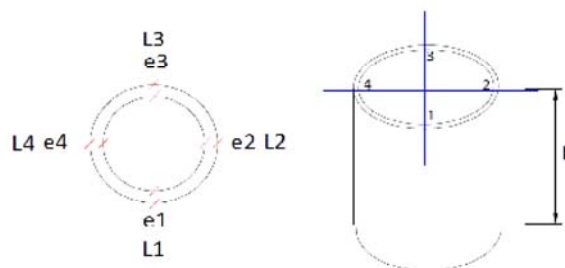
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS FORESTALES

ENSAYO DE CORTE PARALELO A LAS FIBRAS NTC 5525

RESPONSABLE : WILDER VARGAS VASQUEZ
LABORATORIO : LABORATORIO DE PROPIEDADES FÍSICA - MECÁNICAS DE LA MADERA
EQUIPO : MAQUINA UNIVERSAL - TINIUS OLSEN
FECHA : 11/05/2016

MUESTRA : EV12S
DESCRIPCIÓN : CON NUDO
PARTE DEL CULMO : SUPERIOR

L1 (mm)	90.00
L2 (mm)	91.00
L3 (mm)	91.50
L4 (mm)	89.50
e1 (mm)	7.70
e2 (mm)	8.90
e3 (mm)	8.00
e4 (mm)	7.70
L prom. (mm)	90.50
e prom. (mm)	8.08
Area (mm²)	2624.05



ANEXO 11

ESFUERZO ÚLTIMO DE ENSAYO A CORTE PARALELO

ENSAYO DE CORTE PARALELO A LAS FIBRAS NTC 5525				
MUESTRAS	EV1I	EV2I	EV3I	EV4I
	SIN NUDO		CON NUDO	
Espesor "e" (cm)	0.69	0.72	0.84	1.04
Longitud "L" (cm)	9.59	9.54	9.50	10.10
Área (cm ²)	26.79	27.47	31.96	41.80
Carga últ. (kg)	1800.76	1664.68	2074.52	2668.51
τ último (kg/cm²)	67.22	60.60	64.92	63.83
PROMEDIO				64.14

ENSAYO DE CORTE PARALELO A LAS FIBRAS NTC 5525				
MUESTRAS	EV5M	EV6M	EV7M	EV8M
	SIN NUDO		CON NUDO	
Espesor "e" (cm)	0.73	0.76	0.87	0.86
Longitud "L" (cm)	9.56	9.73	9.25	10.08
Área (cm ²)	28.01	29.37	32.01	34.56
Carga últ. (kg)	1211.09	1623.86	1846.12	1755.40
τ último (kg/cm²)	43.24	55.29	57.68	50.80
PROMEDIO				51.75

ENSAYO DE CORTE PARALELO A LAS FIBRAS NTC 5525				
MUESTRAS	EV9S	EV10S	EV11S	EV12S
	SIN NUDO		CON NUDO	
Espesor "e" (cm)	0.70	0.67	0.77	0.81
Longitud "L" (cm)	7.94	8.43	9.05	9.05
Área (cm ²)	22.23	22.58	27.96	29.24
Carga últ. (kg)	1179.34	1741.79	1911.91	2045.70
τ último (kg/cm²)	53.05	77.14	68.39	69.96
PROMEDIO				67.13

ANEXO 12

CALCULO DEL ESFUERZO ADMISIBLE

1. Calculo el valor característico

$$f_{ki} = f_{0.05i} \left[1 - \frac{2.7 \frac{s}{m}}{\sqrt{n}} \right]$$

a) Valor característico del ensayo de tensión

Datos Estadísticos	Unidad	Ensayo de Tensión
Percentil 5 ($f_{0.05T}$)	MPa	77.78
Desviación Estándar (s)	MPa	15.53
Promedio (m)	MPa	94.39
Numero de datos (n)		9
Valor Característico (f_{kT})	MPa	66.26

b) Valor característico del ensayo de compresión

Datos Estadísticos	Unidad	Ensayo de compresión
Percentil 5 ($f_{0.05C}$)	MPa	37.93
Desviación Estándar (s)	MPa	7.24
Promedio (m)	MPa	50.29
Numero de datos (n)		12
Valor Característico (f_{kC})	MPa	33.67

c) Valor característico del ensayo de corte

Datos Estadísticos	Unidad	Ensayo de Corte
Percentil 5 ($f_{0.05V}$)	MPa	4.65
Desviación Estándar (s)	MPa	0.93
Promedio (m)	MPa	5.98
Numero de datos (n)		12
Valor Característico (f_{kV})	MPa	4.09

2. Calculo del Esfuerzo admisible

$$F_i = \frac{FC}{(F_s)(FDC)} (f_{ki})$$

Factor	Flexión	Tracción	Compresión ∥	Compresión ⊥	Corte
FC	-	0.5	-	-	0.6
Fs	2.0	2.0	1.5	1.8	1.8
FDC	1.5	1.5	1.2	1.2	1.1

a) Esfuerzo admisible del ensayo de tensión

Esfuerzo admisible para el ensayo de Tensión paralela (MPa)	
Factor de reducción (FC)	0.5
Factor de seguridad (Fs)	2.0
Factor de duración de carga (FDC)	1.5
Valor Característico (f_{kT})	66.26
Esfuerzo admisible (F_T)	11.04

b) Esfuerzo admisible del ensayo de compresión

Esfuerzo admisible para el ensayo de compresión paralela (MPa)	
Factor de reducción (FC)	1.0
Factor de seguridad (Fs)	1.5
Factor de duración de carga (FDC)	1.2
Valor Característico (f_{kC})	33.67
Esfuerzo admisible (F_C)	18.70

c) Esfuerzo admisible del ensayo de corte

Esfuerzo admisible para el ensayo de corte paralelo (MPa)	
Factor de reducción (FC)	0.6
Factor de seguridad (Fs)	1.8
Factor de duración de carga (FDC)	1.1
Valor Característico (f_{kV})	4.09
Esfuerzo admisible (F_V)	1.24

ANEXO 13
MÓDULO DE ELASTICIDAD A TENSIÓN



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS FORESTALES

ENSAYO DE TENSIÓN PARALELA A LAS FIBRAS NTC 5525

RESPONSABLE : WILDER VARGAS VASQUEZ
LABORATORIO : LABORATORIO DE PROPIEDADES FÍSICA - MECÁNICAS DE LA MADERA
EQUIPO : MAQUINA UNIVERSAL - TINIUS OLSEN
FECHA : 18/05/2016

MUESTRA : ET75	MUESTRA : ET85	MUESTRA : ET95
LONGITUD : 9.8 cm	LONGITUD : 10 cm	LONGITUD : 9.85 cm
PARTE DEL CULMO : SUPERIOR	PARTE DEL CULMO : SUPERIOR	PARTE DEL CULMO : SUPERIOR
DESCRIPCIÓN : CON NUDO	DESCRIPCIÓN : CON NUDO	DESCRIPCIÓN : CON NUDO

CARGA (kg)	DEFORMACIÓN δ (mm)	CARGA (kg)	DEFORMACIÓN δ (mm)	CARGA (kg)	DEFORMACIÓN δ (mm)
36.29	0.78	36.29	1.28	36.29	0.66
72.58	1.68	72.58	2.04	72.58	1.65
108.86	2.58	108.86	2.88	108.86	2.49
145.15	3.54	145.15	3.82	145.15	4.18
181.44	4.58	181.44	4.84	181.44	5.43
217.73	5.38	217.73	5.41	217.73	6.12
254.02	6.02	254.02	5.92	254.02	6.71
290.30	6.65	290.30	6.40	290.30	7.24
326.59	7.40	326.59	6.91	326.59	7.78
362.88	8.71	362.88	7.39	362.88	8.34
399.17	9.85	399.17	7.82	399.17	8.94
435.46	10.97	435.46	8.28	435.46	9.54
471.74	12.08	471.74	8.75	471.74	10.25
508.03	13.42	508.03	9.25	508.03	11.15
544.32	14.39	544.32	9.77	544.32	11.85
580.61	15.33	580.61	10.55	580.61	12.65
616.90	16.30	616.90	11.15	616.90	13.51
653.18	17.28	653.18	11.67	653.18	14.38
689.47	18.35	689.47	12.15	689.47	15.24
725.76	19.21	725.76	12.65	725.76	16.02
762.05	20.24	762.05	13.14	762.05	16.83
798.34	21.30	798.34	13.66	798.34	17.61
834.62	22.41	834.62	14.15	834.62	18.37
870.91	23.39	870.91	14.73	870.91	19.18
907.20	24.38	907.20	15.23	907.20	19.97
943.49	25.39	943.49	15.68	943.49	20.81
979.78	26.43	979.78	16.14	979.78	21.64
1016.06	27.49	1016.06	16.61	1016.06	22.49
1052.35	28.57	1052.35	17.13	1052.35	23.41
1088.64	29.69	1088.64	17.67	1079.50	
1124.93	30.78	1124.93	18.24		
1161.22	31.92	1161.22	18.83		
1197.50	33.04	1197.50	19.39		
1233.79	34.14	1217.91			
1270.08	35.31				
1299.56					
CARGA MÁXIMA (kg)	1299.56	CARGA MÁXIMA (kg)	1217.91	CARGA MÁXIMA (kg)	1079.56

ANEXO 13
MÓDULO DE ELASTICIDAD A TENSIÓN



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS FORESTALES

ENSAYO DE TENSIÓN PARALELA A LAS FIBRAS NTC 5525

RESPONSABLE : WILDER VARGAS VASQUEZ
LABORATORIO : LABORATORIO DE PROPIEDADES FÍSICA - MECÁNICAS DE LA MADERA
EQUIPO : MAQUINA UNIVERSAL - TINIUS OLSEN
FECHA : 18/05/2016

MUESTRA :	ET4M	MUESTRA :	ET6M	MUESTRA :	ET6M
LONGITUD :	9.8 cm	LONGITUD :	9.8 cm	LONGITUD :	9.8 cm
PARTE DEL CULMO :	MEDIO	PARTE DEL CULMO :	MEDIO	PARTE DEL CULMO :	MEDIO
DESCRIPCIÓN :	CON NUDO	DESCRIPCIÓN :	CON NUDO	DESCRIPCIÓN :	CON NUDO

CARGA (kg)	DEFORMACION δ (mm)	CARGA (kg)	DEFORMACION δ (mm)	CARGA (kg)	DEFORMACION δ (mm)
36.29	0.94	36.29	1.04	36.29	1.12
72.58	1.88	72.58	1.66	72.58	2.00
108.86	2.70	108.86	2.58	108.86	3.08
145.15	4.08	145.15	3.74	145.15	4.34
181.44	5.08	181.44	4.77	181.44	5.74
217.73	6.03	217.73	5.72	217.73	6.61
254.02	6.93	254.02	6.59	254.02	7.37
290.30	7.58	290.30	7.46	290.30	8.08
326.59	8.34	326.59	8.53	326.59	8.78
362.88	9.85	362.88	9.88	362.88	9.60
399.17	11.28	399.17	11.48	399.17	10.51
435.46	12.60	435.46	12.94	435.46	11.60
471.74	14.02	471.74	14.36	471.74	12.65
508.03	15.40	508.03	15.92	508.03	13.75
544.32	16.68	544.32	17.32	544.32	14.87
580.61	18.13	580.61	18.90	580.61	15.95
616.90	19.54	616.90	20.39	616.90	17.34
653.18	20.82	653.18	21.88	653.18	18.23
689.47	22.21	689.47	23.39	689.47	19.20
725.76	23.45	725.76	24.96	725.76	20.12
762.05	24.82	762.05	26.44	762.05	21.07
798.34	26.08	798.34	27.95	798.34	22.05
834.62	27.43	834.62	29.46	834.62	21.39
870.91	28.73	870.91	31.02	870.91	22.32
907.20	29.85	907.20	32.60	907.20	23.28
943.49	31.14	943.49	34.19	943.49	24.24
979.78	32.61	979.78	35.81	979.78	26.29
997.92		1016.06	37.45	1016.06	27.37
		1052.35	39.05	1052.35	29.57
		1088.64	40.73	1088.64	32.86
		1124.93	42.30	1124.93	33.94
		1161.22	43.94	1161.22	35.32
		1186.16		1197.50	36.40
				1233.79	37.53
				1270.08	38.67
				1290.49	
CARGA MÁXIMA (kg)	997.92	CARGA MÁXIMA (kg)	1186.16	CARGA MÁXIMA (kg)	1290.49

ANEXO 13
MÓDULO DE ELASTICIDAD A TENSIÓN



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS FORESTALES

ENSAYO DE TENSIÓN PARALELA A LAS FIBRAS NTC 5525

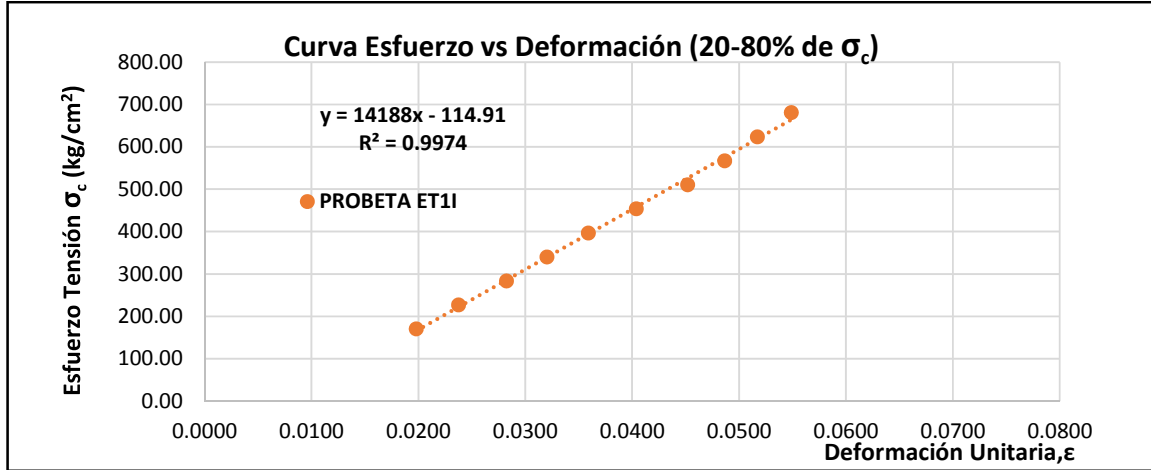
RESPONSABLE : WILDER VARGAS VASQUEZ
LABORATORIO : LABORATORIO DE PROPIEDADES FÍSICA - MECÁNICAS DE LA MADERA
EQUIPO : MAQUINA UNIVERSAL - TINIUS OLSEN
FECHA : 18/05/2016

MUESTRA :	ET75	MUESTRA :	ET85	MUESTRA :	ET95
LONGITUD :	9.8 cm	LONGITUD :	10 cm	LONGITUD :	9.85 cm
PARTE DEL CULMO :	SUPERIOR	PARTE DEL CULMO :	SUPERIOR	PARTE DEL CULMO :	SUPERIOR
DESCRIPCIÓN :	CON NUDO	DESCRIPCIÓN :	CON NUDO	DESCRIPCIÓN :	CON NUDO

CARGA (kg)	DEFORMACION δ (mm)	CARGA (kg)	DEFORMACION δ (mm)	CARGA (kg)	DEFORMACION δ (mm)
36.29	0.78	36.29	1.28	36.29	0.66
72.58	1.68	72.58	2.04	72.58	1.66
108.86	2.58	108.86	2.88	108.86	2.49
145.15	3.54	145.15	3.82	145.15	4.18
181.44	4.58	181.44	4.84	181.44	5.43
217.73	5.38	217.73	5.41	217.73	6.12
254.02	6.02	254.02	5.92	254.02	6.71
290.30	6.65	290.30	6.40	290.30	7.24
326.59	7.40	326.59	6.91	326.59	7.78
362.88	8.71	362.88	7.39	362.88	8.34
399.17	9.85	399.17	7.82	399.17	8.94
435.46	10.97	435.46	8.28	435.46	9.54
471.74	12.08	471.74	8.75	471.74	10.25
508.03	13.42	508.03	9.25	508.03	11.15
544.32	14.39	544.32	9.77	544.32	11.85
580.61	15.33	580.61	10.55	580.61	12.65
616.90	16.30	616.90	11.15	616.90	13.51
653.18	17.28	653.18	11.67	653.18	14.38
689.47	18.35	689.47	12.15	689.47	15.24
725.76	19.21	725.76	12.65	725.76	16.02
762.05	20.24	762.05	13.14	762.05	16.83
798.34	21.30	798.34	13.66	798.34	17.61
834.62	22.41	834.62	14.15	834.62	18.37
870.91	23.39	870.91	14.73	870.91	19.18
907.20	24.38	907.20	15.23	907.20	19.97
943.49	25.39	943.49	15.68	943.49	20.81
979.78	26.43	979.78	16.14	979.78	21.04
1016.06	27.49	1016.06	16.61	1016.06	22.49
1052.35	28.57	1052.35	17.13	1052.35	23.41
1088.64	29.69	1088.64	17.67	1079.56	
1124.93	30.78	1124.93	18.24		
1161.22	31.92	1161.22	18.83		
1197.50	33.04	1197.50	19.39		
1233.79	34.14	1217.91			
1270.08	35.31				
1299.56					
CARGA MÁXIMA (kg)	1299.56	CARGA MÁXIMA (kg)	1217.91	CARGA MÁXIMA (kg)	1079.56

ANEXO 13

MÓDULO DE ELASTICIDAD A TENSIÓN PARALELA

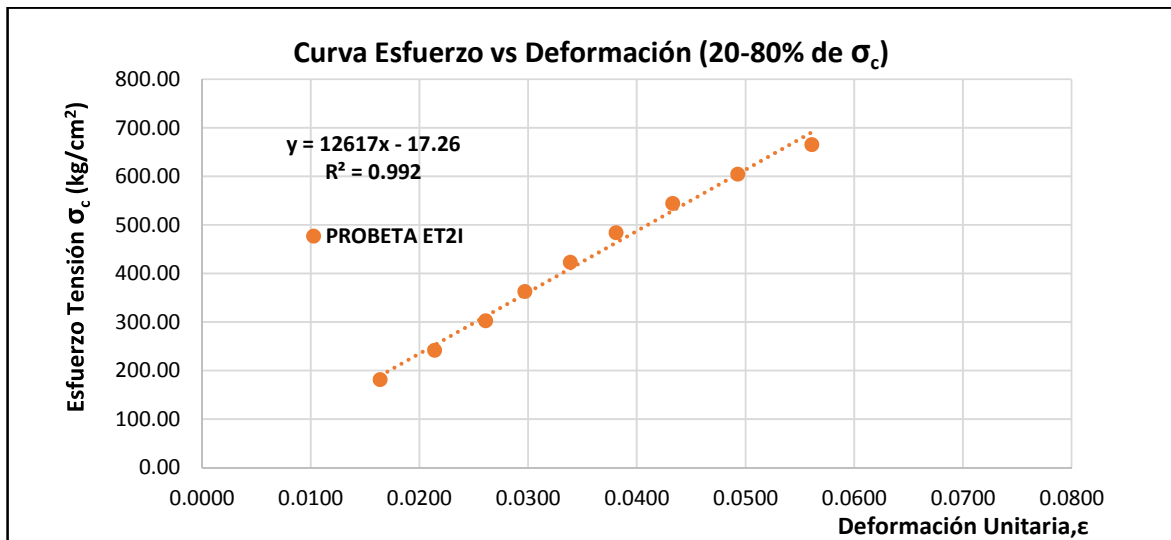


Longitud	98.00	mm
Ancho	10.57	mm
Espesor	6.07	mm
Área	64.10	mm ²

Carga Máxima	544.32	kgf
Resistencia Compresión Máx.	849.11	kg/cm ²
Resistencia Compresión Máx.	83.27	MPa

Estimación Lineal :
 $y = mx + b$

m	b
14188	-114.91

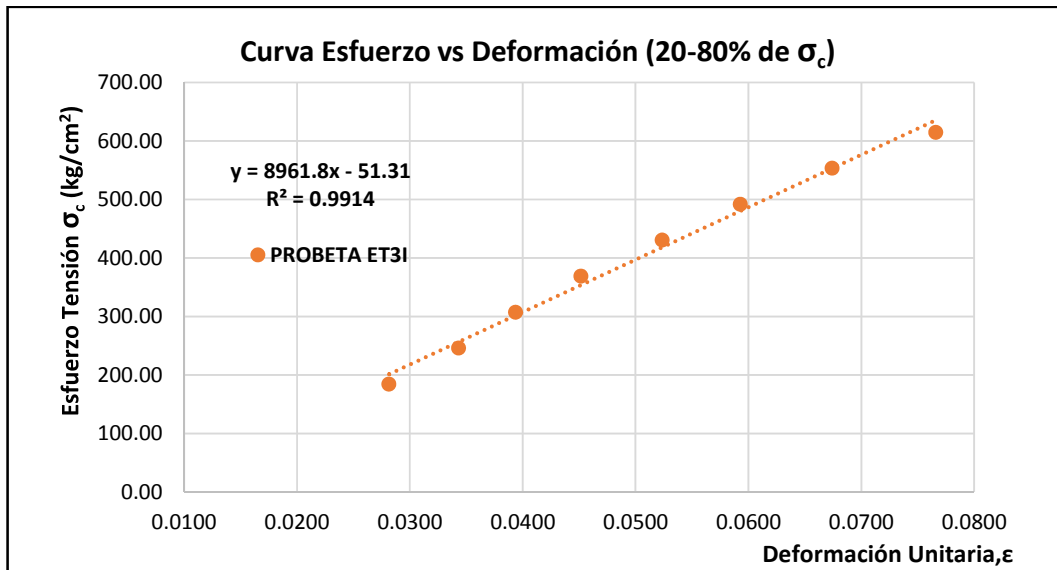


Longitud	100.00	mm
Ancho	10.00	mm
Espesor	6.03	mm
Área	60.33	mm ²

Carga Máxima	574.26	kgf
Resistencia Compresión Máx.	951.81	kg/cm ²
Resistencia Compresión Máx.	93.34	MPa

Estimación Lineal :
 $y = mx + b$

m	b
12617	-17.26

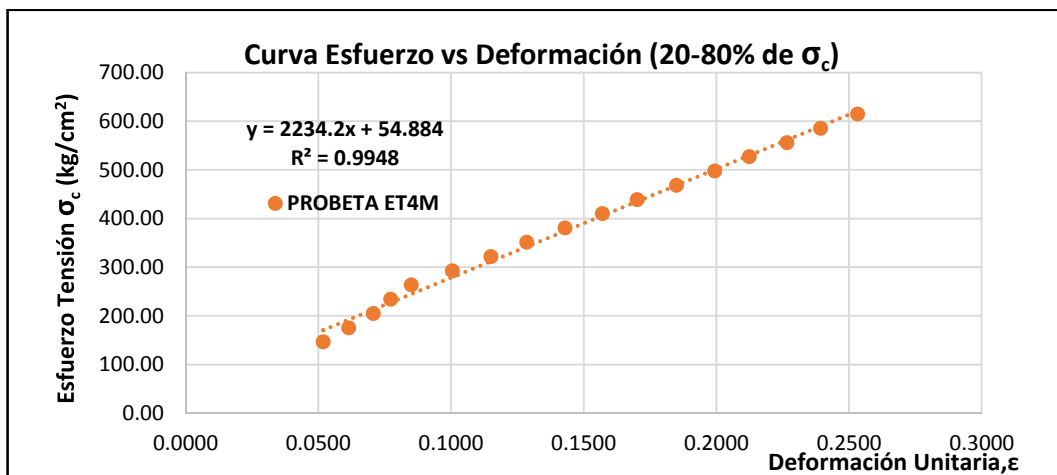


Longitud	97.00	mm
Ancho	9.15	mm
Espesor	6.45	mm
Área	59.02	mm ²

Carga Máxima	462.67	kgf
Resistencia Compresión Máx.	783.95	kg/cm ²
Resistencia Compresión Máx.	76.88	MPa

Estimación Lineal : $y = mx + b$

m	b
8961.8	-51.31

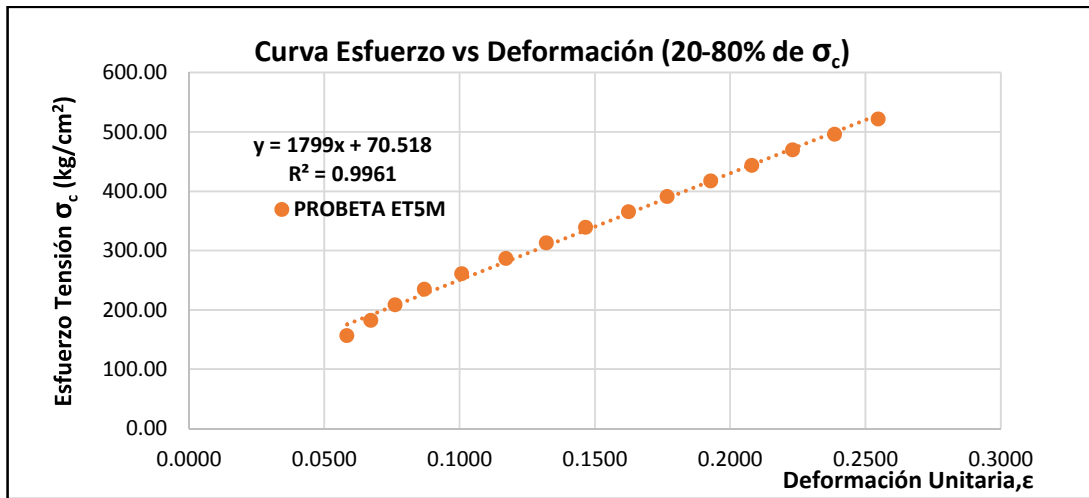


Longitud	98.00	mm
Ancho	11.18	mm
Espesor	11.07	mm
Área	123.76	mm ²

Carga Máxima	997.92	kgf
Resistencia Compresión Máx.	806.32	kg/cm ²
Resistencia Compresión Máx.	79.07	MPa

Estimación Lineal : $y = mx + b$

m	b
2234.2	54.88

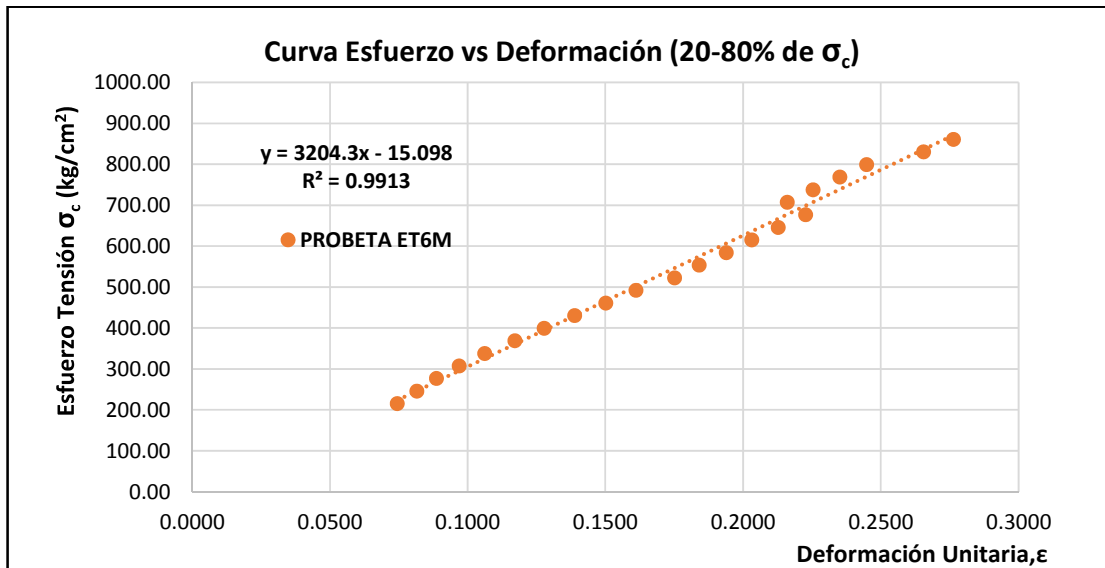


Longitud	98.00	mm
Ancho	11.92	mm
Espesor	11.70	mm
Área	139.43	mm ²

Carga Máxima	1186.16	kgf
Resistencia Compresión Máx.	850.75	kg/cm ²
Resistencia Compresión Máx.	83.43	MPa

Estimación Lineal : $y = mx + b$

m	b
1799	70.52

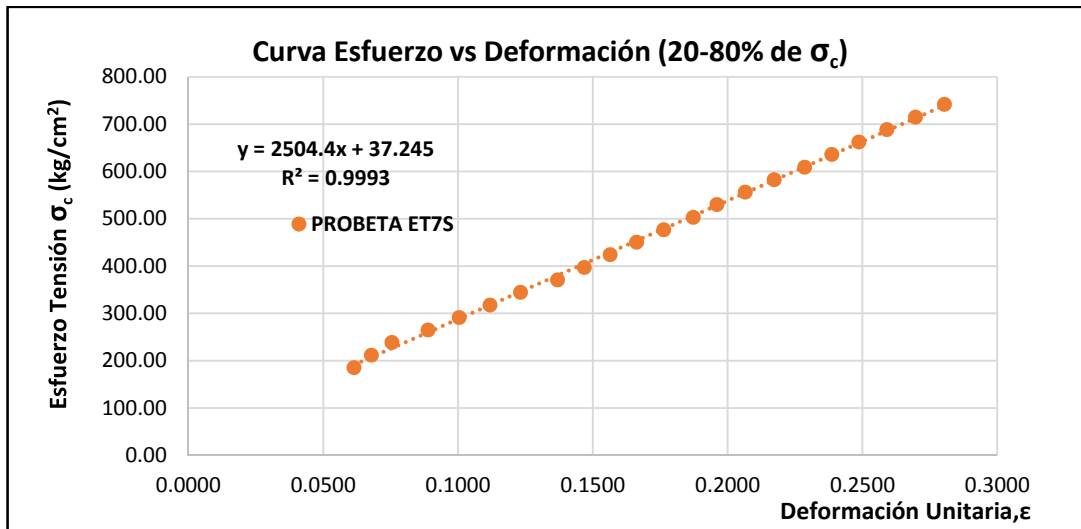


Longitud	99.00	mm
Ancho	11.57	mm
Espesor	10.23	mm
Área	118.37	mm ²

Carga Máxima	1290.49	kgf
Resistencia Compresión Máx.	1090.26	kg/cm ²
Resistencia Compresión Máx.	106.92	MPa

Estimación Lineal : $y = mx + b$

m	b
3204.3	- 15.1

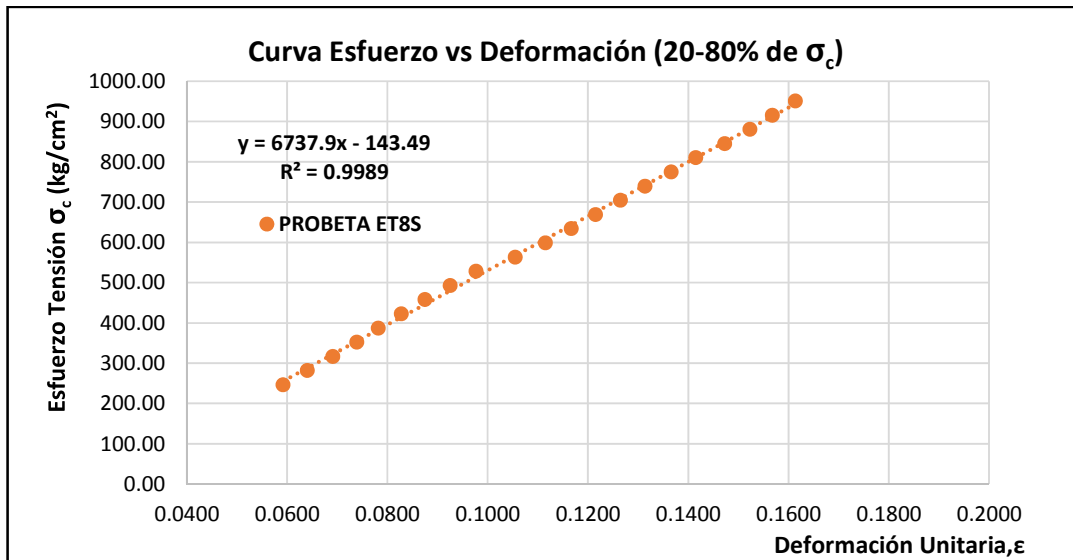


Longitud	98.00	mm
Ancho	14.33	mm
Espesor	9.53	mm
Área	136.64	mm ²

Carga Máxima	1299.56	kgf
Resistencia Compresión Máx.	951.05	kg/cm ²
Resistencia Compresión Máx.	93.27	MPa

Estimación Lineal : $y = mx + b$

m	b
2504.4	37.25

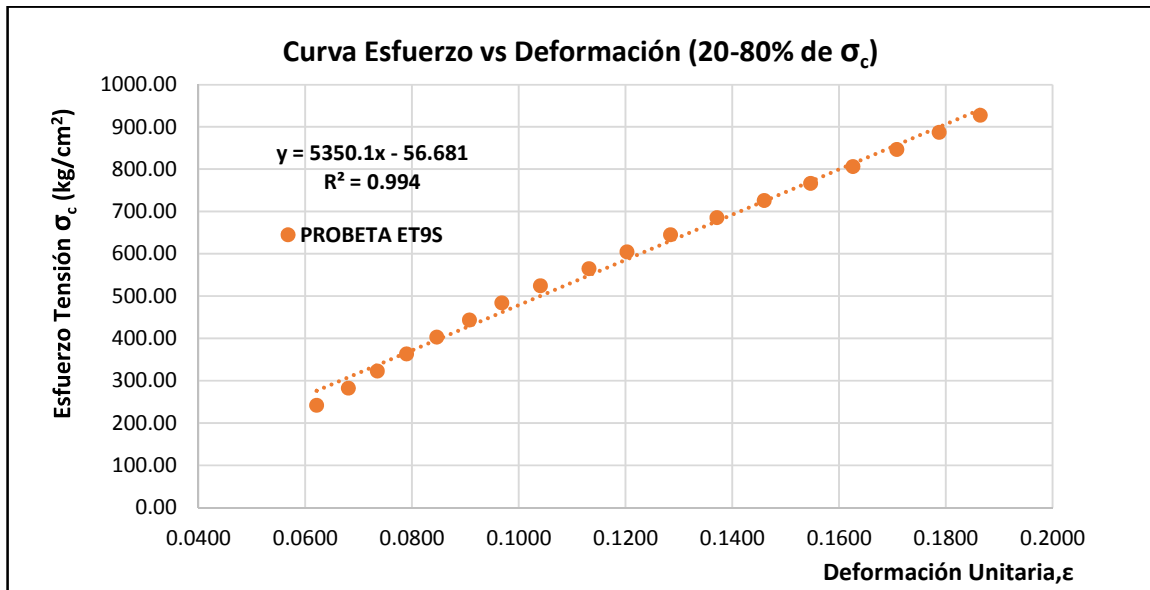


Longitud	100.00	mm
Ancho	13.03	mm
Espesor	7.93	mm
Área	103.40	mm ²

Carga Máxima	1217.91	kgf
Resistencia Compresión Máx.	1177.89	kg/cm ²
Resistencia Compresión Máx.	115.51	MPa

Estimación Lineal : $y = mx + b$

m	b
6737.9	-143.49



Longitud	98.50	mm
Ancho	11.90	mm
Espesor	7.57	mm
Área	90.04	mm ²

Carga Máxima	1079.56	kgf
Resistencia Compresión Máx.	1198.93	kg/cm ²
Resistencia Compresión Máx.	117.58	MPa

Estimación Lineal : $y = mx + b$

m	b
5350.1	-56.68

ANEXO 14 MÓDULO DE ELASTICIDAD A COMPRESIÓN



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS FORESTALES

ENSAYO DE COMPRESIÓN PARALELO A LAS FIBRAS NTC 5525

RESPONSABLE : WILDER VARGAS VASQUEZ
LABORATORIO : LABORATORIO DE PROPIEDADES FÍSICA - MECÁNICAS DE LA MADERA
EQUIPO : MAQUINA UNIVERSAL - TINUS OLSEN
FECHA : 10/05/2016

MUESTRA : EC105	MUESTRA : EC115	MUESTRA : EC125
LONGITUD : 8.6 cm	LONGITUD : 9.4 cm	LONGITUD : 9.3 cm
PARTE DEL CULMO : SUPERIOR	PARTE DEL CULMO : SUPERIOR	PARTE DEL CULMO : SUPERIOR
DESCRIPCIÓN : SIN NUDO	DESCRIPCIÓN : CON NUDO	DESCRIPCIÓN : CON NUDO

CARGA (kg)	DEFORMACIÓN Δ (mm)	CARGA (kg)	DEFORMACIÓN Δ (mm)	CARGA (kg)	DEFORMACIÓN Δ (mm)
453.60	0.38	453.60	0.15	453.60	0.20
907.20	0.45	907.20	0.22	907.20	0.27
1360.80	0.52	1360.80	0.27	1360.80	0.32
1814.40	0.57	1814.40	0.31	1814.40	0.36
2268.00	0.60	2268.00	0.34	2268.00	0.40
2721.60	0.64	2721.60	0.38	2721.60	0.44
3175.20	0.66	3175.20	0.42	3175.20	0.46
3628.80	0.70	3628.80	0.45	3628.80	0.49
4082.40	0.73	4082.40	0.49	4082.40	0.52
4536.00	0.75	4536.00	0.53	4536.00	0.54
4989.60	0.78	4989.60	0.55	4989.60	0.56
5443.20	0.82	5443.20	0.59	5443.20	0.59
5896.80	0.84	5896.80	0.62	5896.80	0.62
6350.40	0.87	6350.40	0.66	6350.40	0.64
6804.00	0.90	6804.00	0.70	6804.00	0.67
7257.60	0.94	7257.60	0.73	7257.60	0.69
7711.20	0.97	7711.20	0.76	7711.20	0.72
8164.80	1.00	8164.80	0.80	8164.80	0.74
8618.40	1.04	8618.40	0.84	8618.40	0.77
9072.00	1.09	9072.00	0.89	9072.00	0.80
9525.60	1.14	9525.60	0.95	9525.60	0.83
9979.20	1.22	9979.20	1.00	9979.20	0.87
10432.80	1.40	10432.80	1.07	10432.80	0.90
10636.73	1.64	10886.40	1.15	10886.40	0.94
		11340.00	1.34	11340.00	1.00
		11543.92	1.54	11793.80	1.08
				12156.27	1.33
CARGA MÁXIMA (kg)	10636.73	CARGA MÁXIMA (kg)	11543.92	CARGA MÁXIMA (kg)	12156.27

ANEXO 14
MÓDULO DE ELASTICIDAD A COMPRESIÓN



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
 FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
 DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS FORESTALES

ENSAYO DE COMPRESIÓN PARALELO A LAS FIBRAS NTC 5525

RESPONSABLE : WILDER VARGAS VASQUEZ
 LABORATORIO : LABORATORIO DE PROPIEDADES FÍSICA - MECÁNICAS DE LA MADERA
 EQUIPO : MAQUINA UNIVERSAL - TINUS OLSEN
 FECHA : 10/05/2016

MUESTRA :	EC41	MUESTRA :	EC5M	MUESTRA :	EC6M
LONGITUD :	9.8 cm	LONGITUD :	8.8 cm	LONGITUD :	9.1 cm
PARTE DEL CILINDRO :	INFERIOR	PARTE DEL CILINDRO :	MEDIO	PARTE DEL CILINDRO :	MEDIO
DESCRIPCIÓN :	CON NUDO	DESCRIPCIÓN :	SIN NUDO	DESCRIPCIÓN :	CON NUDO

CARGA (kg)	DEFORMACIÓN δ (mm)	CARGA (kg)	DEFORMACIÓN δ (mm)	CARGA (kg)	DEFORMACIÓN δ (mm)
453.80	0.16	228.80	0.15	228.80	0.99
907.20	0.23	453.80	0.17	453.80	1.08
1360.80	0.29	680.40	0.21	680.40	1.14
1814.40	0.33	907.20	0.26	907.20	1.18
2268.00	0.38	1134.00	0.29	1134.00	1.22
2721.60	0.40	1360.80	0.33	1360.80	1.25
3175.20	0.44	1587.60	0.37	1587.60	1.28
3628.80	0.47	1814.40	0.40	1814.40	1.31
4082.40	0.50	2041.20	0.44	2041.20	1.33
4536.00	0.53	2268.00	0.48	2268.00	1.35
4989.60	0.56	2494.80	0.49	2494.80	1.37
5443.20	0.60	2721.60	0.53	2721.60	1.39
5896.80	0.63	2948.40	0.56	2948.40	1.42
6350.40	0.65	3175.20	0.59	3175.20	1.44
6804.00	0.69	3402.00	0.62	3402.00	1.46
7257.60	0.72	3628.80	0.64	3628.80	1.48
7711.20	0.75	3855.60	0.66	3855.60	1.50
8164.80	0.79	4082.40	0.68	4082.40	1.53
8618.40	0.83	4309.20	0.71	4309.20	1.54
9072.00	0.87	4536.00	0.74	4536.00	1.56
9525.60	0.92	4762.80	0.76	4762.80	1.57
9979.20	0.97	4989.60	0.78	4989.60	1.59
10432.62	1.11	5216.40	0.81	5216.40	1.61
		5443.20	0.83	5443.20	1.63
		5670.00	0.86	5670.00	1.64
		5896.80	0.88	5896.80	1.66
		6123.60	0.91	6123.60	1.67
		6350.40	0.94	6350.40	1.69
		6577.20	0.96	6577.20	1.72
		6804.00	0.98	6804.00	1.73
		7030.80	1.02	7030.80	1.75
		7257.60	1.05	7257.60	1.77
		7484.40	1.09	7484.40	1.79
		7711.20	1.10	7711.20	1.82
		7938.00	1.13	7938.00	1.84
		8164.80	1.17	8164.80	1.88
		8391.60	1.19	8391.60	1.89
		8618.40	1.22	8618.40	1.92
		8845.20	1.26	8845.20	1.94
		9072.00	1.31	9072.00	1.98
		9298.80	1.37	9298.80	2.01
		9434.71	1.44	9525.60	2.04
				9774.91	2.16
CARGA MÁXIMA (kg)	10432.62	CARGA MÁXIMA (kg)	9434.71	CARGA MÁXIMA (kg)	9774.91

ANEXO 14 MÓDULO DE ELASTICIDAD A COMPRESIÓN



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS FORESTALES

ENSAYO DE COMPRESIÓN PARALELO A LAS FIBRAS NTC 5525

RESPONSABLE : WILDER VARGAS VASQUEZ
LABORATORIO : LABORATORIO DE PROPIEDADES FÍSICA - MECÁNICAS DE LA MADERA
EQUIPO : MAQUINA UNIVERSAL - TRINUS OLSEN
FECHA : 10/05/2016

MUESTRA : EC7M	MUESTRA : EC8M	MUESTRA : EC9S
LONGITUD : 10.1 cm	LONGITUD : 10.1 cm	LONGITUD : 8.7 cm
PARTE DEL CULMO : MEDIO	PARTE DEL CULMO : MEDIO	PARTE DEL CULMO : SUPERIOR
DESCRIPCIÓN : CON NUDO	DESCRIPCIÓN : CON NUDO	DESCRIPCIÓN : SIN NUDO

CARGA (kg)	DEFORMACION δ (mm)	CARGA (kg)	DEFORMACION δ (mm)	CARGA (kg)	DEFORMACION δ (mm)
453.80	0.58	453.80	0.19	226.80	0.08
907.20	0.84	907.20	0.27	453.80	0.17
1360.80	0.71	1360.80	0.32	880.40	0.22
1814.40	0.75	1814.40	0.36	907.20	0.26
2268.00	0.79	2268.00	0.42	1134.00	0.28
2721.60	0.82	2721.60	0.45	1360.80	0.32
3175.20	0.86	3175.20	0.49	1587.60	0.34
3628.80	0.92	3628.80	0.52	1814.40	0.36
4082.40	0.94	4082.40	0.55	2041.20	0.38
4536.00	0.96	4536.00	0.59	2268.00	0.40
4989.60	1.00	4989.60	0.62	2494.80	0.42
5443.20	1.03	5443.20	0.64	2721.60	0.44
5896.80	1.05	5896.80	0.67	2948.40	0.46
6350.40	1.08	6350.40	0.70	3175.20	0.48
6804.00	1.11	6804.00	0.74	3402.00	0.50
7257.60	1.14	7257.60	0.78	3628.80	0.52
7711.20	1.16	7711.20	0.79	3855.60	0.54
8164.80	1.19	8164.80	0.82	4082.40	0.56
8618.40	1.22	8618.40	0.84	4309.20	0.58
9072.00	1.24	9072.00	0.88	4536.00	0.60
9525.60	1.27	9525.60	0.92	4762.80	0.64
9979.20	1.31	9979.20	0.95	4989.60	0.65
10432.80	1.34	10432.80	0.98	5216.40	0.67
10886.40	1.39	10886.40	1.03	5443.20	0.69
11340.00	1.45	11340.00	1.08	5670.00	0.71
11793.60	1.05	11793.60	1.16	5896.80	0.73
12247.20	1.74	12247.20	1.25	6123.60	0.75
		12600.86	1.33	6350.40	0.77
				6577.20	0.79
				6804.00	0.81
				7030.80	0.83
				7257.60	0.85
				7484.40	0.88
				7711.20	0.92
				7938.00	0.95
				8164.80	0.97
				8391.60	1.01
				8618.40	1.04
				8845.20	1.07
				9072.00	1.13
				9298.80	1.17
				9525.60	1.22
				9752.40	1.27
				9979.20	1.35
				10206.00	1.48
				10251.18	1.63
CARGA MÁXIMA (kg)	12677.90	CARGA MÁXIMA (kg)	12609.86	CARGA MÁXIMA (kg)	10251.18

ANEXO 14 MÓDULO DE ELASTICIDAD A COMPRESIÓN



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS FORESTALES

ENSAYO DE COMPRESIÓN PARALELO A LAS FIBRAS NTC 5525

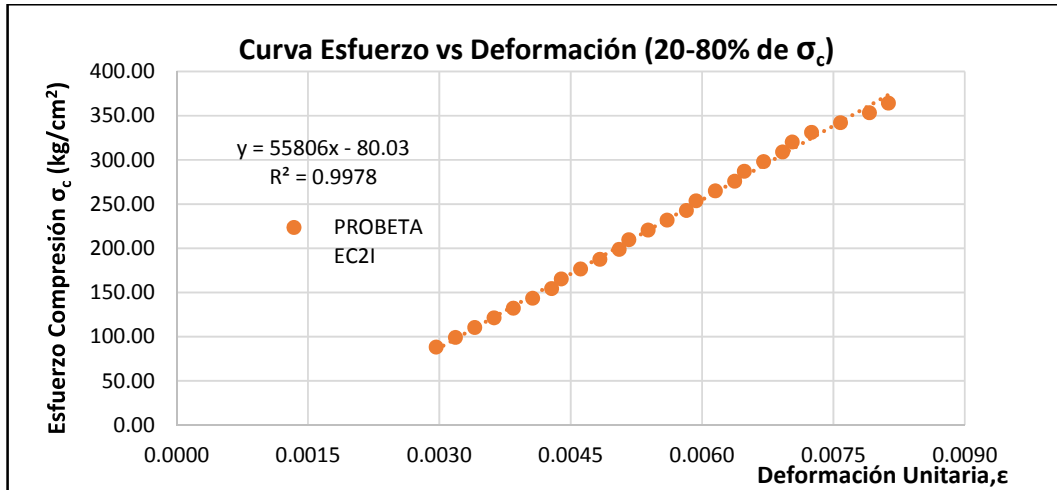
RESPONSABLE : WILDER VARGAS VASQUEZ
LABORATORIO : LABORATORIO DE PROPIEDADES FÍSICA - MECÁNICAS DE LA MADERA
EQUIPO : MAQUINA UNIVERSAL - TINUS OLSEN
FECHA : 10/05/2016

MUESTRA : EC105	MUESTRA : EC115	MUESTRA : EC125
LONGITUD : 8.6 cm	LONGITUD : 9.4 cm	LONGITUD : 9.3 cm
PARTE DEL CILINDRO : SUPERIOR	PARTE DEL CILINDRO : SUPERIOR	PARTE DEL CILINDRO : SUPERIOR
DESCRIPCIÓN : SIN NUDO	DESCRIPCIÓN : CON NUDO	DESCRIPCIÓN : CON NUDO

CARGA (kg)	DEFORMACIÓN δ (mm)	CARGA (kg)	DEFORMACIÓN δ (mm)	CARGA (kg)	DEFORMACIÓN δ (mm)
453.80	0.38	453.80	0.15	453.80	0.20
907.20	0.45	907.20	0.22	907.20	0.27
1360.80	0.52	1360.80	0.27	1360.80	0.32
1814.40	0.57	1814.40	0.31	1814.40	0.38
2268.00	0.60	2268.00	0.34	2268.00	0.40
2721.60	0.64	2721.60	0.38	2721.60	0.44
3175.20	0.68	3175.20	0.42	3175.20	0.48
3628.80	0.70	3628.80	0.45	3628.80	0.49
4082.40	0.73	4082.40	0.49	4082.40	0.52
4536.00	0.75	4536.00	0.53	4536.00	0.54
4989.60	0.78	4989.60	0.55	4989.60	0.56
5443.20	0.82	5443.20	0.59	5443.20	0.59
5896.80	0.84	5896.80	0.62	5896.80	0.62
6350.40	0.87	6350.40	0.66	6350.40	0.64
6804.00	0.90	6804.00	0.70	6804.00	0.67
7257.60	0.94	7257.60	0.73	7257.60	0.69
7711.20	0.97	7711.20	0.78	7711.20	0.72
8164.80	1.00	8164.80	0.80	8164.80	0.74
8618.40	1.04	8618.40	0.84	8618.40	0.77
9072.00	1.09	9072.00	0.89	9072.00	0.80
9525.60	1.14	9525.60	0.95	9525.60	0.83
9979.20	1.22	9979.20	1.00	9979.20	0.87
10432.80	1.40	10432.80	1.07	10432.80	0.90
10886.40	1.64	10886.40	1.15	10886.40	0.94
		11340.00	1.34	11340.00	1.00
		11543.92	1.54	11793.80	1.08
				12156.27	1.33
CARGA MÁXIMA (kg)	10636.73	CARGA MÁXIMA (kg)	11543.92	CARGA MÁXIMA (kg)	12156.27

ANEXO 14

MÓDULO DE ELASTICIDAD A COMPRESION PARALELA

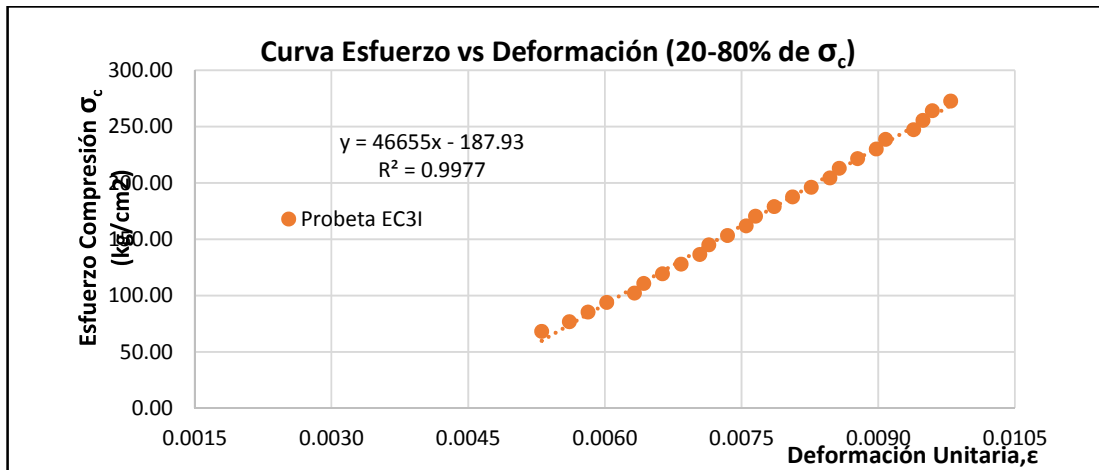


Diámetro	92.50	mm
Altura	91.00	mm
Espesor	7.70	mm
Área	2054.29	mm ²

Carga Máxima	9275.96	kgf
Resistencia Compresión Máx.	451.54	kg/cm ²
Resistencia Compresión Máx.	44.28	MPa

Estimación Lineal :

$y = mx + b$	m	b
	55806	-80.03

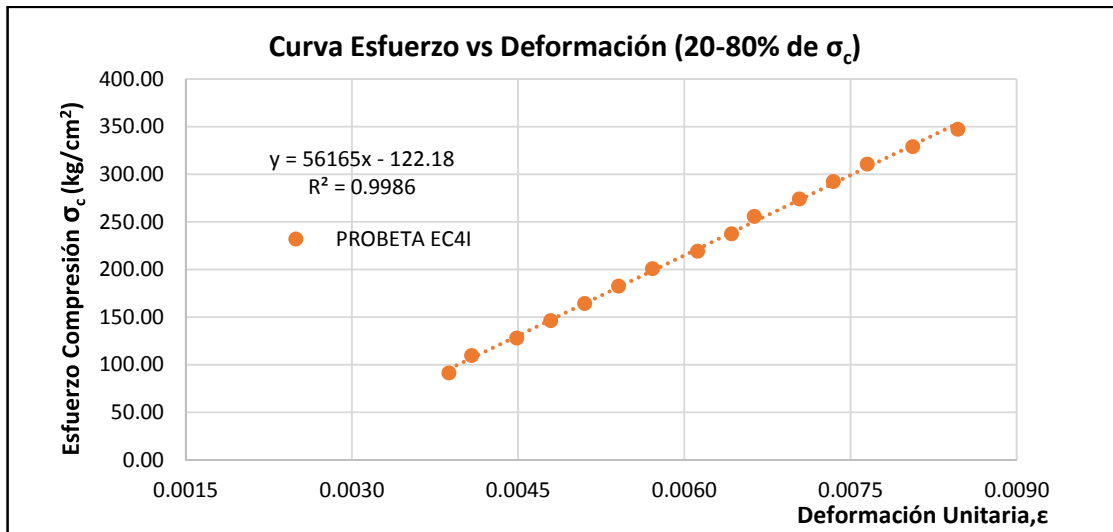


Diámetro	97.60	mm
Altura	98.00	mm
Espesor	9.60	mm
Área	2660.85	mm ²

Carga Máxima	9185.24	kgf
Resistencia Compresión Máx.	345.20	kg/cm ²
Resistencia Compresión Máx.	33.85	MPa

Estimación Lineal :

$y = mx + b$	m	b
	46655	-187.93

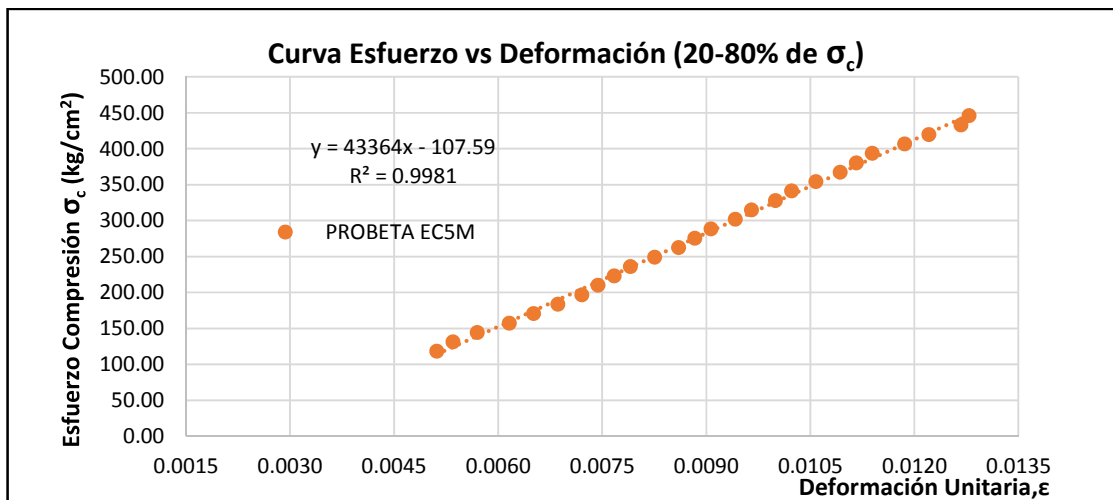


Diámetro	97.60	mm
Altura	98.00	mm
Espesor	8.90	mm
Área	2480.71	mm ²

Carga Máxima	10432.62	kgf
Resistencia Compresión Máx.	420.55	kg/cm ²
Resistencia Compresión Máx.	41.24	MPa

Estimación Lineal :
 $y = mx + b$

m	b
56165	-122.18

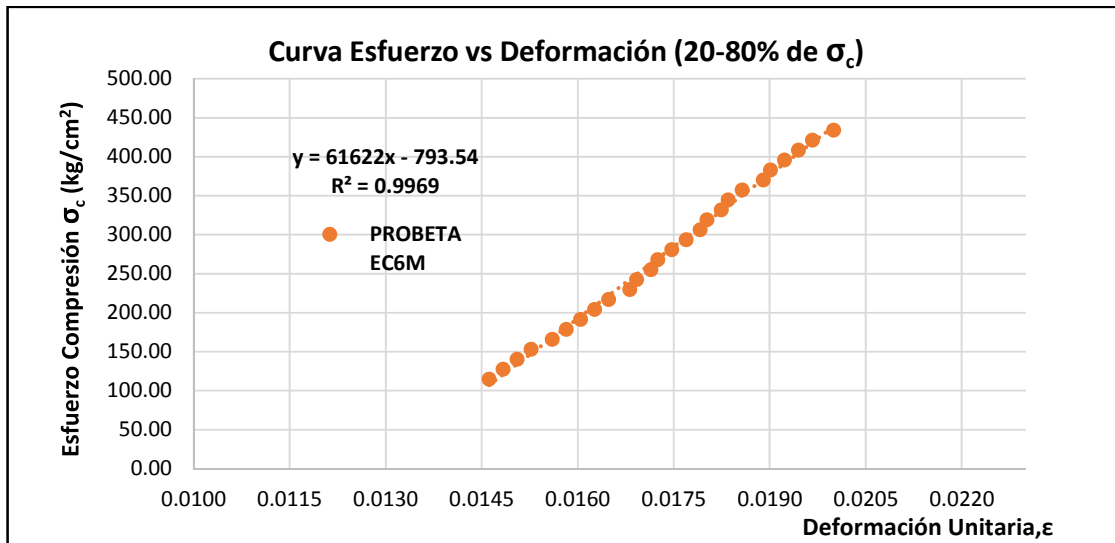


Diámetro	85.40	mm
Altura	86.00	mm
Espesor	7.00	mm
Área	1729.11	mm ²

Carga Máxima	9434.71	kgf
Resistencia Compresión Máx.	545.64	kg/cm ²
Resistencia Compresión Máx.	53.51	MPa

Estimación Lineal :
 $y = mx + b$

m	b
43364	-107.59

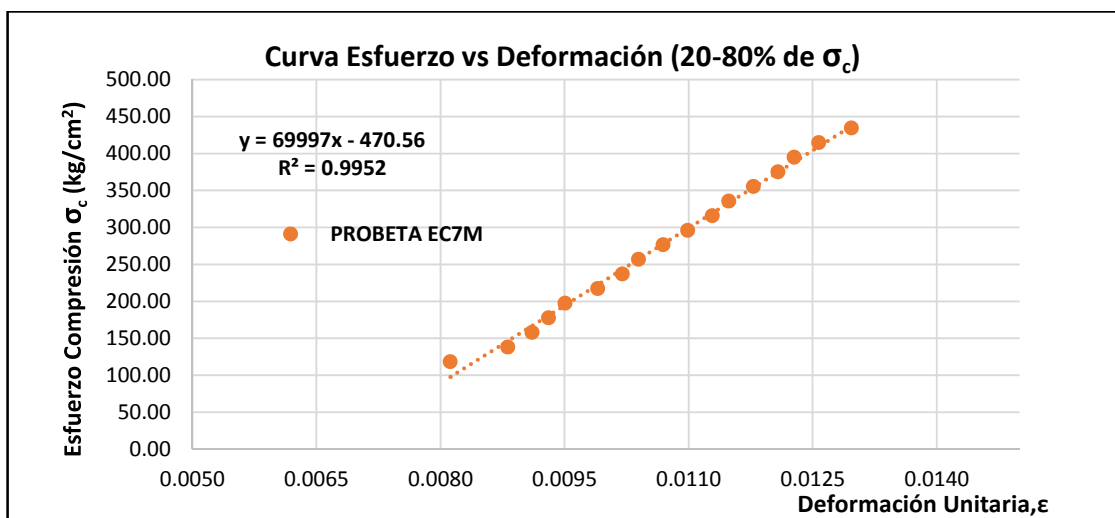


Diámetro	89.10	mm
Altura	91.00	mm
Espesor	6.90	mm
Área	1776.42	mm ²

Carga Máxima	9774.91	kgf
Resistencia Compresión Máx.	550.26	kg/cm ²
Resistencia Compresión Máx.	53.96	MPa

Estimación Lineal : $y = mx + b$

m	b
61622	-793.54

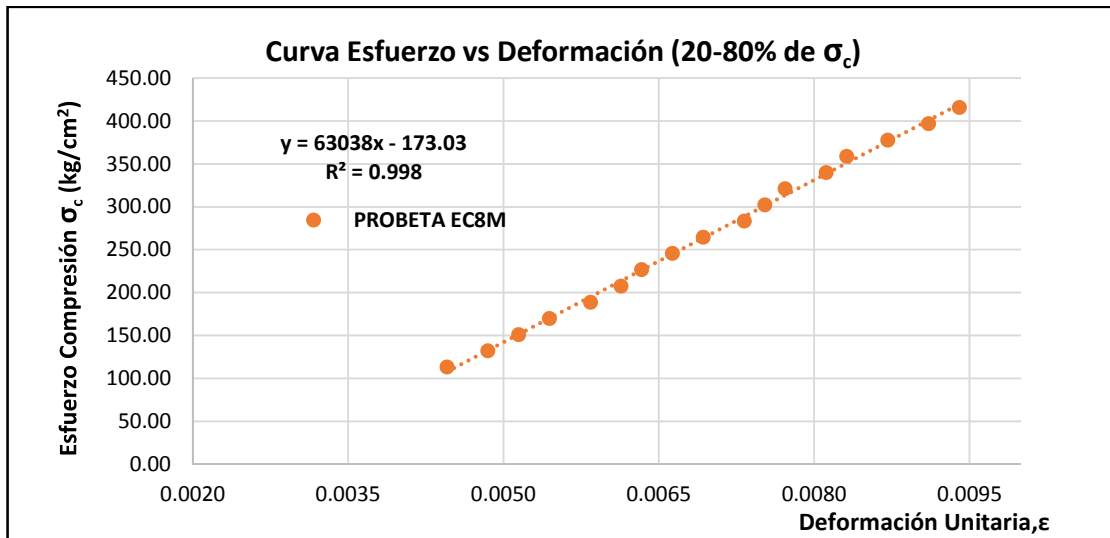


Diámetro	93.00	mm
Altura	101.00	mm
Espesor	8.70	mm
Área	2298.09	mm ²

Carga Máxima	12677.90	kgf
Resistencia Compresión Máx.	551.67	kg/cm ²
Resistencia Compresión Máx.	54.10	MPa

Estimación Lineal : $y = mx + b$

m	b
69997	-470.56

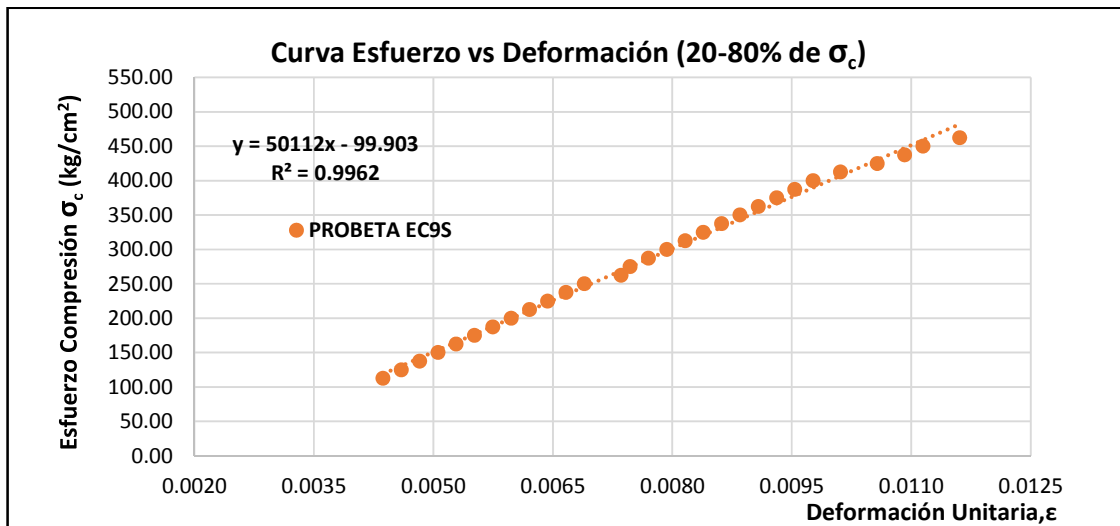


Diámetro	94.00	mm
Altura	101.00	mm
Espesor	9.00	mm
Área	2400.28	mm ²

Carga Máxima	12609.86	kgf
Resistencia Compresión Máx.	525.35	kg/cm ²
Resistencia Compresión Máx.	51.52	MPa

Estimación Lineal :
 $y = mx + b$

m	b
63038	-173.03

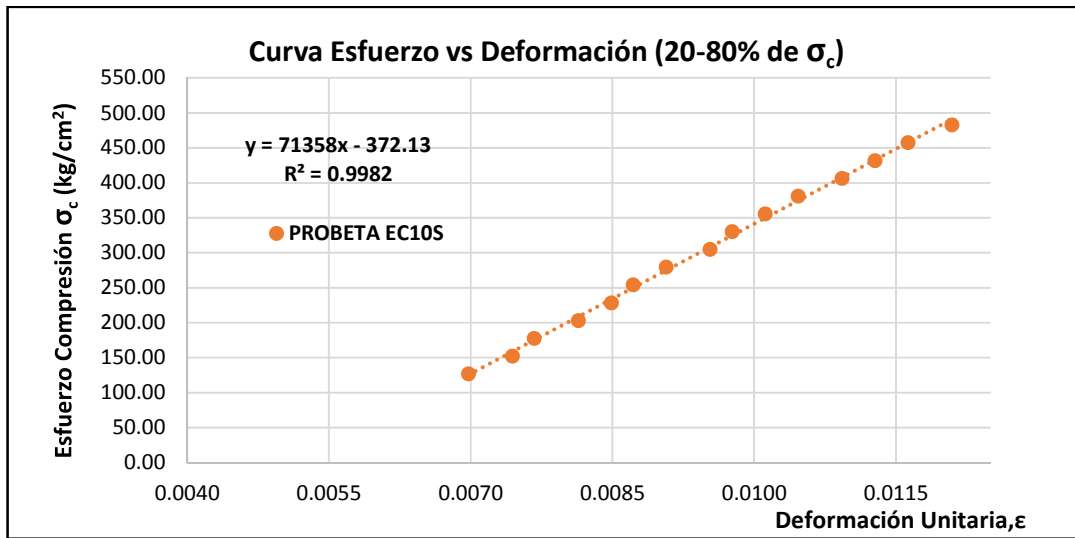


Diámetro	85.00	mm
Altura	87.00	mm
Espesor	7.50	mm
Área	1815.01	mm ²

Carga Máxima	10251.18	kgf
Resistencia Compresión Máx.	564.80	kg/cm ²
Resistencia Compresión Máx.	55.39	MPa

Estimación Lineal :
 $y = mx + b$

m	b
50112	-99.903

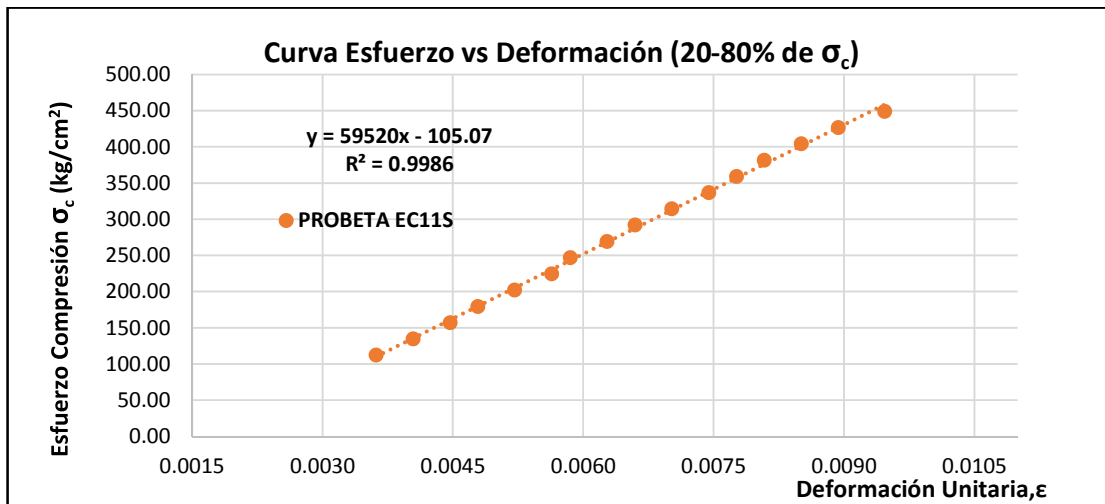


Diámetro	85.50	mm
Altura	86.00	mm
Espesor	7.30	mm
Área	1785.02	mm ²

Carga Máxima	10636.73	kgf
Resistencia Compresión Máx.	595.89	kg/cm ²
Resistencia Compresión Máx.	58.44	MPa

Estimación Lineal : $y = mx + b$

m	b
71358	-372.13

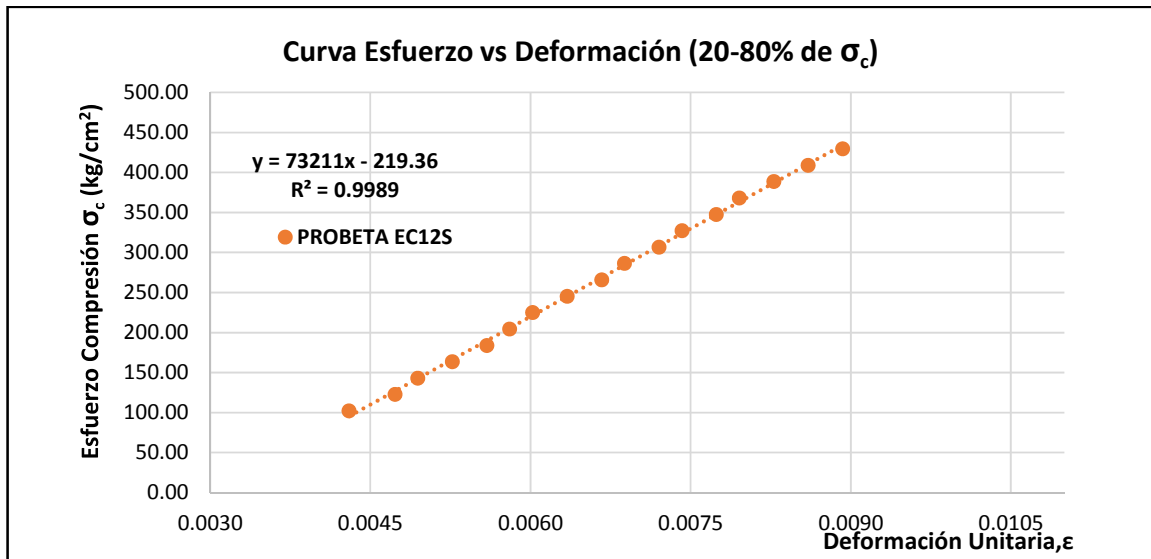


Diámetro	89.50	mm
Altura	94.00	mm
Espesor	7.90	mm
Área	2019.37	mm ²

Carga Máxima	11543.92	kgf
Resistencia Compresión Máx.	571.66	kg/cm ²
Resistencia Compresión Máx.	56.06	MPa

Estimación Lineal : $y = mx + b$

m	b
59520	-105.07



Diámetro	90.30	mm
Altura	93.00	mm
Espesor	8.70	mm
Área	2217.41	mm ²

Carga Máxima	12156.27	kgf
Resistencia Compresión Máx.	548.22	kg/cm ²
Resistencia Compresión Máx.	53.76	MPa

Estimación Lineal :
 $y = mx + b$

m	b
73211	-219.36

**ANEXO 15
ENSAYO DE ADHERENCIA**



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS FORESTALES

ENSAYO DE ADHERENCIA ENTRE BAMBÚ - CONCRETO ASTM C234 -71*

RESPONSABLE : WILDER VARGAS VASQUEZ
LABORATORIO : LABORATORIO DE PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS DE LA MADERA
EQUIPO : MAQUINA UNIVERSAL - TINIUS OLSEN
FECHA : 16/06/2016 EDAD : 28 días

MUESTRA	FUERZA	ÁREA	MAX. ADHERENCIA
	kgf	cm ²	kg/cm ²
C-CA-04-15	748.30	107.08	6.99
C-CA-05-15	730.16	101.27	7.21
C-CA-06-15	671.20	106.07	6.33
L-CA-04-20	726.62	133.55	5.43
L-CA-05-20	807.26	139.69	5.78
L-CA-06-20	770.07	136.13	5.66
L-CA-04-15	598.64	101.89	5.88
L-CA-05-15	634.92	110.65	5.74
L-CA-06-15	644.90	111.77	5.77
L-02-20	473.47	139.23	3.40
L-02-15	382.77	106.39	3.60
C-02-20	689.34	147.81	4.66
C-02-15	569.61	109.72	5.19
AC-02-15	2326.53	44.89	51.83
AC-02-20	2947.65	59.85	49.26

NOTA: * Norma referente a ensayos de adherencia acero - concreto

**ANEXO 15
ENSAYO DE ADHERENCIA**



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS FORESTALES

ENSAYO DE ADHERENCIA ENTRE BAMBÚ - CONCRETO ASTM C234 -71*

RESPONSABLE : WILDER VARGAS VASQUEZ

FECHA : 30/05/2016

EDAD : 28 DÍAS

MUESTRA	DIÁMETRO	ESPELOR	CUERDA	ÁREA LATERAL
	cm	cm	cm	cm ²
C-SA-04-20	9.12	0.97	3.25	157.58
C-SA-05-20	9.12	0.87	3.03	146.56
C-SA-06-20	9.12	0.86	3.07	147.84
C-SA-04-15	9.12	0.80	2.80	101.89
C-SA-05-15	9.12	0.90	3.05	111.09
C-SA-06-15	9.12	0.80	2.88	104.19
L-SA-04-20	9.12	0.74	2.80	134.20
L-SA-05-20	9.12	0.72	2.70	129.79
L-SA-06-20	9.12	0.82	2.80	136.40
L-SA-04-15	9.12	0.83	2.80	102.51
L-SA-05-15	9.12	0.82	2.90	105.18
L-SA-06-15	9.12	0.86	2.96	107.71
C-CA-04-20	9.12	0.90	3.10	150.04
C-CA-05-20	9.12	0.86	2.90	141.32
C-CA-06-20	9.12	0.83	3.02	145.12
C-CA-04-15	9.12	0.80	2.98	107.08
C-CA-05-15	9.12	0.77	2.80	101.27
C-CA-06-15	9.12	0.92	2.86	106.07
L-CA-04-20	9.12	0.80	2.74	133.55
L-CA-05-20	9.12	0.80	2.90	139.69
L-CA-06-20	9.12	0.74	2.85	136.13
L-CA-04-15	9.12	0.80	2.80	101.89
L-CA-05-15	9.12	0.95	3.00	110.65
L-CA-06-15	9.12	0.92	3.06	111.77
L-02-20	9.12	1.11	2.66	139.23
L-02-15	9.12	0.88	2.90	106.39
C-02-20	9.12	1.10	2.90	147.81
C-02-15	9.12	0.86	3.03	109.72
MUESTRA	DIÁMETRO	LONG. EMPOTR.		ÁREA LATERAL
	cm	cm		cm ²
AC-02-15	0.95	15.00		44.89
AC-02-20	0.95	20.00		59.85

NOTA: * Norma referente a ensayos de adherencia acero - concreto

**ANEXO 15
ENSAYO DE ADHERENCIA**



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS FORESTALES

ENSAYO DE ADHERENCIA ENTRE BAMBÚ - CONCRETO ASTM C234 -71*

RESPONSABLE : WILDER VARGAS VASQUEZ
 LABORATORIO : LABORATORIO DE PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS DE LA MADERA
 EQUIPO : MAQUINA UNIVERSAL - TINIUS OLSEN
 FECHA : 02/09/2016 EDAD : 14 días

MUESTRA	FUERZA	ÁREA	MAX. ADHERENCIA
	kgf	cm ²	kg/cm ²
C-SA-01-20	907.03	137.77	6.50
C-SA-02-20	956.92	142.22	6.73
C-SA-03-20	970.52	154.65	6.28
C-SA-01-15	566.89	108.83	5.21
C-SA-02-15	603.17	105.93	5.69
C-SA-03-15	601.36	111.37	5.40
L-SA-01-20	607.71	148.47	4.09
L-SA-02-20	730.16	139.15	5.25
L-SA-03-20	715.85	141.32	5.06
L-SA-01-15	571.43	110.52	5.17
L-SA-02-15	499.80	106.56	4.60
L-SA-03-15	589.57	110.12	5.35
C-CA-01-20	897.96	131.47	6.83
C-CA-02-20	943.31	141.05	6.69
C-CA-03-20	998.64	141.32	7.07

NOTA: * Norma referente a ensayos de adherencia acero - concreto

**ANEXO 15
ENSAYO DE ADHERENCIA**



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS FORESTALES

ENSAYO DE ADHERENCIA ENTRE BAMBÚ - CONCRETO ASTM C234 -71*

RESPONSABLE : WILDER VARGAS VASQUEZ
LABORATORIO : LABORATORIO DE PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS DE LA MADERA
EQUIPO : MAQUINA UNIVERSAL - TINIUS OLSEN
FECHA : 17/08/2018 EDAD : 14 días

MUESTRA	FUERZA	ÁREA	MAX. ADHERENCIA
	kgf	cm ²	kg/cm ²
C-CA-01-15	730.16	106.32	6.87
C-CA-02-15	770.98	108.08	7.13
C-CA-03-15	639.46	108.75	5.88
L-CA-01-20	1006.80	151.57	6.64
L-CA-02-20	879.82	137.00	6.42
L-CA-03-20	897.05	143.54	6.25
L-CA-01-15	692.06	102.74	6.74
L-CA-02-15	625.85	101.06	6.19
L-CA-03-15	705.67	112.53	6.27
L-01-20 **	NO SE REGISTRO DATOS		
L-01-15 **	NO SE REGISTRO DATOS		
C-01-20 **	NO SE REGISTRO DATOS		
C-01-15 **	NO SE REGISTRO DATOS		
AC-01-15 **	NO SE REGISTRO DATOS		
AC-01-20 **	NO SE REGISTRO DATOS		

NOTA: * Norma referente a ensayos de adherencia acero - concreto

** No se realizarón los ensayos por problemas con el equipo

**ANEXO 15
ENSAYO DE ADHERENCIA**



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS FORESTALES

ENSAYO DE ADHERENCIA ENTRE BAMBÚ - CONCRETO ASTM C234 -71*

RESPONSABLE : WILDER VARGAS VASQUEZ
 LABORATORIO : LABORATORIO DE PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS DE LA MADERA
 EQUIPO : MAQUINA UNIVERSAL - TINIUS OLSEN
 FECHA : 16/06/2016 EDAD : 28 días

MUESTRA	FUERZA	ÁREA	MAX. ADHERENCIA
	kgf	cm ²	kg/cm ²
C-SA-04-20	956.18	157.58	6.09
C-SA-05-20	904.31	146.56	6.17
C-SA-06-20	870.75	147.84	5.89
C-SA-04-15	607.71	101.89	5.96
C-SA-05-15	707.48	111.09	6.37
C-SA-06-15	834.92	104.19	6.09
L-SA-04-20	746.49	134.20	5.56
L-SA-05-20	743.76	129.79	5.73
L-SA-06-20	781.90	136.40	5.59
L-SA-04-15	575.96	102.51	5.62
L-SA-05-15	585.03	105.18	5.56
L-SA-06-15	591.38	107.71	5.49
C-CA-04-20	835.37	150.04	5.57
C-CA-05-20	902.49	141.32	6.39
C-CA-06-20	1015.87	145.12	7.00

NOTA: * Norma referente a ensayos de adherencia acero - concreto

ANEXO 15
ENSAYO DE ADHERENCIA



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS FORESTALES

ENSAYO DE ADHERENCIA ENTRE BAMBÚ - CONCRETO ASTM C234 -71*

RESPONSABLE : WILDER VARGAS VASQUEZ
LABORATORIO : LABORATORIO DE PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS DE LA MADERA
EQUIPO : MAQUINA UNIVERSAL - TINIUS OLSEN
FECHA : 16/06/2016 EDAD : 28 días

MUESTRA	FUERZA	ÁREA	MAX. ADHERENCIA
	kgf	cm ²	kg/cm ²
C-CA-04-15	748.30	107.08	6.99
C-CA-05-15	730.16	101.27	7.21
C-CA-06-15	671.20	106.07	6.33
L-CA-04-20	725.62	133.55	5.43
L-CA-05-20	807.26	139.69	5.78
L-CA-06-20	770.07	136.13	5.66
L-CA-04-15	598.64	101.89	5.88
L-CA-05-15	634.92	110.65	5.74
L-CA-06-15	644.90	111.77	5.77
L-02-20	473.47	139.23	3.40
L-02-15	382.77	106.39	3.60
C-02-20	689.34	147.61	4.66
C-02-15	569.61	109.72	5.19
AC-02-15	2326.53	44.89	51.83
AC-02-20	2947.85	59.85	49.26

NOTA: * Norma referente a ensayos de adherencia acero - concreto

ANEXO 16
PRUEBAS POST HOC

TIPO DE TABLILLA DEL BAMBÚ

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: ESFUERZO DE ADHERENCIA BAMBÚ CONCRETO

HSD Tukey

(I) TIPO DE TABLILLA DEL BAMBÚ	(J) TIPO DE TABLILLA DEL BAMBÚ	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
T1	T2	,6942*	,19518	,005	,1715	1,2168
	T3	,0250	,19518	,999	-,4976	,5476
	T4	,7125*	,19518	,004	,1899	1,2351
T2	T1	-,6942*	,19518	,005	-1,2168	-,1715
	T3	-,6692*	,19518	,007	-1,1918	-,1465
	T4	,0183	,19518	1,000	-,5043	,5410
T3	T1	-,0250	,19518	,999	-,5476	,4976
	T2	,6692*	,19518	,007	,1465	1,1918
	T4	,6875*	,19518	,006	,1649	1,2101
T4	T1	-,7125*	,19518	,004	-1,2351	-,1899
	T2	-,0183	,19518	1,000	-,5410	,5043
	T3	-,6875*	,19518	,006	-1,2101	-,1649

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = .229.

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel .05.

TIPO DE TRATAMIENTO DE CADA TABLILLA

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: ESFUERZO DE ADHERENCIA BAMBÚ CONCRETO

HSD Tukey

(I) TIPO DE TRATAMIENTO DE CADA TABLILLA	(J) TIPO DE TRATAMIENTO DE CADA TABLILLA	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
A	B	,2092	,19518	,709	-,3135	,7318
	C	-,5592*	,19518	,032	-1,0818	-,0365
	D	-,6650*	,19518	,008	-1,1876	-,1424
B	A	-,2092	,19518	,709	-,7318	,3135
	C	-,7683*	,19518	,002	-1,2910	-,2457
	D	-,8742*	,19518	,000	-1,3968	-,3515
C	A	,5592*	,19518	,032	,0365	1,0818
	B	,7683*	,19518	,002	,2457	1,2910
	D	-,1058	,19518	,948	-,6285	,4168
D	A	,6650*	,19518	,008	,1424	1,1876
	B	,8742*	,19518	,000	,3515	1,3968
	C	,1058	,19518	,948	-,4168	,6285

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = .229.

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel .05.

MEDIAS MARGINALES ESTIMADAS

1. TIPO DE TABLILLA DEL BAMBÚ

Variable dependiente: ESFUERZO DE ADHERENCIA BAMBÚ CONCRETO

TIPO DE TABLILLA DEL BAMBÚ	Media	Error estándar	Intervalo de confianza al 95%	
			Límite inferior	Límite superior
T1	6,363	,138	6,085	6,642
T2	5,669	,138	5,390	5,948
T3	6,338	,138	6,060	6,617
T4	5,651	,138	5,372	5,930

2. TIPO DE TRATAMIENTO DE CADA TABLILLA

Variable dependiente: ESFUERZO DE ADHERENCIA BAMBÚ CONCRETO

TIPO DE TRATAMIENTO DE CADA TABLILLA	Media	Error estándar	Intervalo de confianza al 95%	
			Límite inferior	Límite superior
A	5,752	,138	5,473	6,030
B	5,542	,138	5,264	5,821
C	6,311	,138	6,032	6,590
D	6,417	,138	6,138	6,695

ANEXO 17

CALCULO DE MOMENTO Y CARGA ÚLTIMA PARA VIGAS REFORZADO CON BAMBÚ

(Diseño por flexión - Método de la rotura)

Hipótesis de diseño:

- Las fórmulas utilizadas son una referencia y aproximación a las que corresponden al diseño de viga de concreto reforzado con acero y para lo cual se asume la siguiente información: $f_{bu} = 963.23 \text{ kg/cm}^2$ (corresponde al esfuerzo de tensión máxima del bambú obtenido del laboratorio), $E_b = 6399.63$ (corresponde al módulo de elasticidad del bambú obtenido del laboratorio)

d = peralte efectivo

b = ancho de la viga

A_s = área del acero en tracción

ϕ = coeficiente de seguridad (0.9)

f_c' = resistencia a compresión del concreto

f_y = esfuerzo a la tensión del refuerzo

f_s = esfuerzo a la tensión del bambú

ρ = cuantía (puede ser bambú o acero)

ρ_b = cuantía balanceada

$\rho_{m\acute{a}x}$ = cuantía máxima ($0.75 \rho_b$)

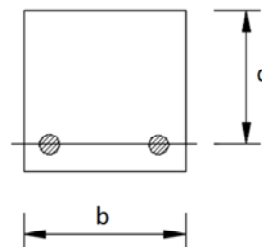
P = carga de falla

M_u = valor del momento de rotura (este a lo largo del tercio medio de la luz libre)

L = luz libre entre apoyos

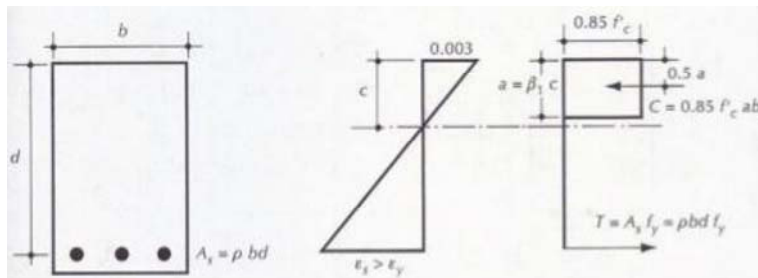
$$\rho_b = 0.85 \beta_1 \frac{f_c'}{f_y} \left(\frac{6000}{600} + f_y \right)$$

- $M_u = \phi f_c' b d^2 w (1 - 0.59 w)$; $w = \rho f_y / f_c'$
- $\rho_b = 0.85 \beta_1 \frac{f_c'}{f_y} \left(\frac{0.003 E_s}{0.003 E_s + f_y} \right)$; $\rho_{m\acute{a}x} = 0.75 \rho_b$



- Si: $\rho < \rho_b$ la falla es por fluencia del acero
 $\rho > \rho_b$ la falla es aplastamiento del concreto
 $\rho = \rho_b$ la falla balanceada

- $P = 6M/L$



1. Para las vigas con refuerzo de acero

$$b = 15.3 \text{ cm}, h = 15 \text{ cm}$$

$$E_s = 2 \times 10^6 \text{ (módulo de elasticidad del acero)}$$

$$A = 2 \text{ } \varnothing \text{ } 3/8'' = 2 * 0.71 = 1.43 \text{ cm}^2; d = 15 - (2.5 + 0.6 + 0.95/2) = 11.43 \text{ cm}$$

$$\rho = A_s / b d = 1.43 / 15.3 * 11.43 = 0.0082 \text{ (Cuantía de refuerzo en tracción)}$$

$$\rho_b = 0.85^2 * 210 / 4200 * (6000 / 600 + 4200) = 0.0213$$

$$\rho (0.0082) < \rho_b (0.0213) \quad \text{la falla es por fluencia del acero}$$

$$\rho_{\text{máx}} = 0.75 * 0.0213 = 0.016$$

$$w = 0.0082 * 4200 / 210 = 0.164$$

$$M_u = 0.9 * 210 * 15.3 * 11.43^2 * 0.164 * (1 - 0.59 * 0.164) = 559.62 \text{ kg-m}$$

$$P = 6 * 559.62 / 0.45 = 7461.60 \text{ kg}$$

2. Para las vigas con refuerzo con bambú

$$b = 15.3 \text{ cm}, h = 15 \text{ cm}$$

$$f_s = f_y \text{ (falla por fluencia del acero)}$$

$$f_s = 962.23 \text{ kg/cm}^2 \text{ (esfuerzo a la tensión del bambú)}$$

$$E_b = 6399.63 \text{ (módulo de elasticidad del bambú)}$$

$$A = 2 \cdot (2.5 \times 0.8) = 2 \cdot 2 = 4 \text{ cm}^2; d = 15 - (2.5 + 0.6 + 0.8/2) = 11.5 \text{ cm}$$

$$\rho = A_s/bd = 4/15.3 \cdot 11.5 = 0.023 \text{ (Cuantía de refuerzo en tracción)}$$

$$\rho_b = 0.85^2 \cdot 210/962.23 \cdot (19.20/19.20 + 962.23) = 0.0031$$

$$\rho (0.023) > \rho_b (0.0031) \quad \text{la falla es frágil}$$

$$\rho_{\text{máx}} = 0.75 \cdot 0.0031 = 0.0023$$

$$w = 0.023 \cdot 962.23/210 = 0.105$$

$$M_u = 0.9 \cdot 210 \cdot 15.3 \cdot 11.5^2 \cdot 0.105 \cdot (1 - 0.59 \cdot 0.105) = 376.67 \text{ kg-m}$$

$$P = 6 \cdot 376.67/0.45 = 5022.27 \text{ kg}$$



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Facultad de Ingeniería Agrícola

LABORATORIO DE PRUEBA Y ENSAYO DE MATERIALES

CONSTANCIA

EL JEFE DEL LABORATORIO DE PRUEBA Y ENSAYO DE MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA, deja constancia que:

El Bach. WILDER VARGAS VASQUEZ, egresado de la especialidad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM) con código 20070313, identificado con DNI N° 43588535, ha realizado sus ensayos de caracterización de agregados, diseño de mezcla de concreto, control de calidad de concreto endurecido para la realización de su Tesis: "VIGAS DE CONCRETO REFORZADO CON BAMBÚ (*Guadua Angustifolia*) PARA CONSTRUCCIONES RURALES".

Los ensayos fueron realizados durante los meses de mayo y octubre del 2016.

Se expide la presente constancia a solicitud del interesado, para los fines que crea conveniente.

Lima 21 de diciembre del 2016

ING. Alfonso Cerna Vasquez

Jefe (a)



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Facultad de Ciencias Forestales

LABORATORIO DE PROPIEDADES FÍSICAS – MECÁNICAS DE LA MADERA

CONSTANCIA

EL JEFE DEL LABORATORIO DE PROPIEDADES FÍSICAS – MECÁNICAS DE LA MADERA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA, deja constancia que:

El Bach. WILDER VARGAS VASQUEZ, egresado de la especialidad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM) con código 20070313, identificado con DNI N° 43588585, ha realizado los ensayos mecánicos del bambú y de adherencia con el concreto para la realización de su Tesis: "VIGAS DE CONCRETO REFORZADO CON BAMBÚ (*Guadua Angustifolia*) PARA CONSTRUCCIONES RURALES".

Los ensayos fueron realizados durante el mes de junio del 2016.

Se expide la presente constancia a solicitud del interesado, para los fines que crea conveniente.

Lima 21 de diciembre del 2016

ING. MOISÉS ACEVEDO MANRIQUE

Jefe (e)



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Ingeniería Civil

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

Carrera de Ingeniería Civil Acreditada por



Association to Advance Collegiate Schools of Business International



Engineering
Technology
Accreditation
Commission

CONSTANCIA

LA JEFA DEL LABORATORIO N° 1 ENSAYO DE MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA, deja constancia que:

El Sr. **Wilder Roger Vargas Vasquez**, Alumno de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional Agraria La Molina, solicitó al Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales permiso para la realización de ensayos de Flexión en Vigas de Concreto reforzadas con Bambú, en el marco de la Investigación "Vigas de Concreto Reforzadas con Bambu (Guadua Angustifolia) para Construcciones Rurales", con fines de tesis.

Se le brindo las facilidades del caso para la realización de dichos ensayos el 14 de setiembre del presente año.

Se expide la presente constancia a solicitud del interesado, para los fines que estime conveniente.

Lima, 20 de Diciembre de 2016



ANA TORRE CARRILLO
Ms. Ing. ANA TORRE CARRILLO
Jefe (e) de Laboratorio



UNI-LEM
La Calidad es nuestro compromiso
Laboratorio Certificado ISO 9001



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

