

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**RESISTENCIA DE UNIONES DE BAMBU (GUADUA
ANGUSTIFOLIA) DEL BOSQUE: ARAMANGO, PROVINCIA:
BAGUA, DEPARTAMENTO: AMAZONAS**

TESIS

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

MAX RONALD CORCUERA LU

Lima- Perú

2015

INDICE

RESUMEN	10
LISTA DE TABLAS	11
LISTA DE FIGURAS	15
LISTA DE GRÁFICOS	18
LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS	20
INTRODUCCIÓN	22
CAPÍTULO I : GUADUA ANGUSTIFOLIA	25
1.1. TAXONOMÍA DEL BAMBÚ	25
1.2. PARTES DE LA GUADUA	26
1.3. CULTIVO Y MANEJO DE LA GUADUA	29
1.3.1. Propagación	29
<i>Por semilla</i>	29
<i>Rizomas con segmento de tallo</i>	30
<i>Propagación por segmentos de culmo</i>	31
<i>Segmentos de ramas</i>	31
1.3.2. Limpieza	32
1.3.3. Fertilización	33
1.3.4. Aprovechamiento	33
1.3.5. Ciclo de Corte	35
1.4. SECADO E INMUNIZACIÓN DE LA GUADUA	35
Secado al aire	36
Secado en la mata	36
Secado al calor	37
Inmunización por inmersión	37

	Método boucherie	38
1.5.	VENTAJAS Y DESVENTAJAS	39
1.6.	ANTECEDENTES DE CONSTRUCCIONES CON BAMBÚ	42
	Simón Hosie Samper : Premio Nacional de Arquitectura Bienal 2004 - COLOMBIA	42
	Carlos Vergara: Arquitecto (1934-1993)	43
	Jörg Stamm: Carpintero Alemán	44
	Simón Vélez: Arquitecto Colombiano	45
	Peter Van Impe: Arquitecto Belga	47
	Sun Wei: Arquitecto Chino	47
	Rumah Asuh/Yori Antar: Arquitecto Indonesio	48
	Matteo Ascani: Arquitecto Italiano	49
	Benjamín García Saxe: Arquitecto Costarricense	50
CAPÍTULO II : ENSAYOS PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS GENERALES DEL BAMBÚ		51
2.1.	CLASIFICACION DE MUESTRAS	51
2.1.1	Procedencia	51
2.1.2	Cuadro de dimensiones	52
2.1.3	Relación de normas vigentes	53
2.2	PROPIEDADES FISICAS	53
2.2.1	Metodología	53
2.2.2	Ensayos Realizados	53
2.2.3	Muestreo	53
2.2.4	Proceso de codificación	55
2.2.5.	Contenido de Humedad en Probetas de Guadua	57
2.2.5.1	Objeto	57
2.2.5.2	Resumen del Método	57

2.2.5.3 <i>Uso y Significado</i>	57
2.2.5.4 <i>Equipos</i>	57
2.2.5.5 <i>Muestras</i>	58
2.2.5.6 <i>Espécimen de Ensayo</i>	58
2.2.5.7 <i>Procedimiento</i>	58
2.2.5.8 <i>Cálculos</i>	59
2.2.5.9 <i>Informe</i>	59
2.2.6. <i>Contracción</i>	59
2.2.6.1 <i>Alcance</i>	59
2.2.6.2 <i>Principio</i>	60
2.2.6.3 <i>Artefactos</i>	60
2.2.6.4 <i>Preparación de Especímenes de Ensayo</i>	60
2.2.6.5 <i>Procedimientos</i>	60
2.2.6.6 <i>Cálculo y Expresión de Resultados</i>	61
2.2.6.7 <i>Informe de Ensayo</i>	61
2.2.7. <i>Densidad</i>	61
2.2.7.1 <i>Alcance</i>	61
2.2.7.2 <i>Principio</i>	61
2.2.7.3 <i>Artefactos</i>	62
2.2.7.4 <i>Preparación de Piezas de Ensayo</i>	62
2.2.7.5 <i>Procedimiento</i>	62
2.2.7.6 <i>Cálculo y expresión de resultados</i>	62
2.2.7.7 <i>Informe de ensayo</i>	63
2.3 PROPIEDADES MECÁNICAS	63
2.3.1 Metodología	63
2.3.2 Ensayos	63
2.3.3 Colección de Muestras	63

2.3.4	Proceso de Codificación	64
2.3.5.	Ensayo de Compresión Paralela a la Fibra de Cilindros de Guadua	67
2.3.5.1	Objeto	67
2.3.5.2	Uso y Significado	67
2.3.5.3	Aparatos	67
2.3.5.4	Muestras	69
2.3.5.5	Procedimiento	70
2.3.5.6	Cálculos y Resultados	71
2.3.5.7	Informe	71
2.3.6	Ensayo de tracción paralela a la fibra de la guadua	72
2.3.6.1	Objeto	72
2.3.6.2	Uso y Significado	72
2.3.6.3	Aparatos	72
2.3.6.4	Muestras	73
2.3.6.5	Procedimiento	73
2.3.6.6	Cálculos y Resultados	74
2.3.6.7	Informe	74
2.3.7	Ensayo de corte paralelo a la fibra de cilindros de guadua	75
2.3.7.1	Objeto	75
2.3.7.2	Uso y significado	75
2.3.7.3	Aparatos	75
2.3.7.4	Muestras	77
2.3.7.5	Procedimiento	78
2.3.7.6	Cálculos y resultados	79

2.3.7.7 Informe	79
2.3.8. Esfuerzo máximo a flexión en escala real	80
2.3.8.1 Objeto	80
2.3.8.2 Uso y significado	80
2.3.8.3 Aparatos	80
2.3.8.4 Procedimiento	81
2.3.8.5 Cálculos y expresión de resultados	82
2.3.9. Esfuerzo máximo a flexión en escala reducida	83
2.3.9.1 Objeto	83
2.3.9.2 Uso y significado	83
2.3.9.3 Aparatos	83
2.3.9.4 Procedimiento	84
2.3.9.5 Cálculos y expresión de resultados	85
CAPÍTULO III: UNIONES ESTRUCTURALES HORIZONTALES, PERPENDICULARES Y DIAGONALES	87
3.1 OBJETO	87
3.2 USO Y SIGNIFICADO	87
3.3 APARATOS	87
3.4 PREPARACIÓN DE PROPUESTAS DE ENSAYO	88
3.5 MUESTRAS	88
3.6. Ensayo en Uniones Colineales	90
3.7 ENSAYO DE UNIONES DE ELEMENTOS PERPENDICULARES	95
3.8 ENSAYO DE UNIONES DE ELEMENTOS DIAGONALES	103

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS	108
4.1. Análisis de resultados de los ensayos físicos	108
4.1.1 Ensayo de Contenido de Humedad	108
4.1.2 Ensayo de densidad	108
4.1.3 Ensayo de contracción	109
4.2. Ensayo de comprensión paralela a la fibra	109
4.3. Ensayo de corte paralela a la fibra	114
4.4. Ensayo de flexión escala natural	115
4.5. Ensayo de flexión estática	116
4.6. Ensayos a uniones	118
4.6.1 Uniones colineales	118
4.6.2 Uniones perpendiculares	127
4.6.3 Uniones diagonales	130
4.7. Tablas de resumen final de datos obtenidos en el laboratorio	134
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	144
5.1 CONCLUSIONES	144
5.2 RECOMENDACIONES	145
BIBLIOGRAFÍA	146

RESUMEN

En la actualidad se cuenta con un considerable número de publicaciones sobre la determinación de las propiedades físicas y mecánicas de la Guadua, especie angustifolia perteneciente a la familia poaceae, que crece naturalmente en Ecuador, Colombia, Venezuela y Perú.

El hombre por naturaleza busca que su vida sea más fácil, lo que lo lleva a innovar y desarrollar nuevas tecnologías para encontrar soluciones a sus necesidades básicas, de manera práctica y económica, es así que el bambú surge como una alternativa de material de construcción, esto gracias a sus propiedades mecánicas de resistencia a la tracción, compresión y flexión.

En países como Colombia y Ecuador el uso del bambú se ha diversificado mayormente debido a la abundancia del mismo y a las propiedades del clima tropical. En el Perú (Amazonas y San Martín) contamos con presencia de bambú, sin embargo no existe información técnica (normas técnicas) suficiente sobre su uso en uniones estructurales de edificaciones.

En la presente investigación se busca determinar experimentalmente, las propiedades físicas y mecánicas, utilizando los métodos de ensayos normalizados en el Laboratorio de Ensayo de Materiales N° 1 de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Los parámetros encontrados son utilizados para realizar construcción de uniones (colineales, perpendiculares y diagonales) mediante métodos de construcción de aplicación sencilla y económica.

La investigación encontró que el tipo de uniones colineales óptimo fue la que utilizó tarugos de madera capirona (carga promedio 1,106 Kg), en uniones perpendiculares fue la que usó mortero, barra de 3/8" longitudinal con ganchos a los extremos y pasador de 3/8" (carga promedio alcanzada de 865 kg); y en uniones diagonales fue la que usó mortero, barra de 3/8" longitudinal con ganchos a los extremos y pasador 3/8" (carga promedio alcanzada de 775 kg).

LISTA DE TABLAS

Tabla N° 1.1	Clasificación taxonómica de la guadua	25
Tabla N° 1.2	Edad de corte	35
Tabla N° 1.3	Lista de ventajas de la guadua	40
Tabla N° 1.4	Lista de desventajas de la guadua	41
Tabla N° 2.1	Coordenadas UTM Bosques Aramango	51
Tabla N° 2.2	Tabla de dimensiones iniciales	52
Tabla N° 2.3	Número de muestras por ensayo	54
Tabla N° 2.4	Dimensiones de muestras para ensayos en propiedades físicas	54
Tabla N° 2.5	Denominación de muestras por ensayo	56
Tabla N° 2.6	Número de muestras por ensayo	63
Tabla N° 2.7	Dimensiones de muestras para ensayos en propiedades mecánicas	64
Tabla N° 2.8	Denominación de muestras por ensayo	66
Tabla N° 3.1	Resultados de ensayos con Madera Capirona – propuesta primera	91
Tabla N° 3.2	Resultados de ensayos con Madera Eucalipto – propuesta segunda	92
Tabla N° 3.3	Resultados de ensayos con Madera Capirona – propuesta tercera	93
Tabla N° 3.4	Resultados de ensayos con Madera Eucalipto – propuesta cuarta	93
Tabla N° 3.5	Resultados de ensayos con Madera Capirona – propuesta quinta	94
Tabla N° 3.6	Resultados de ensayos con Madera Eucalipto – propuesta sexta	95
Tabla N° 3.7	Resultados de ensayos en uniones perpendiculares – propuesta primera	97
Tabla N° 3.8	Resultados de ensayos en uniones perpendiculares – propuesta segunda	101
Tabla N° 3.9	Resultados de ensayos en uniones perpendiculares – propuesta tercera	102

Tabla N° 3.10 Resultados de ensayos en uniones perpendiculares – propuesta cuarta	103
Tabla N° 3.11 Resultados de ensayos en uniones diagonales – primera propuesta	104
Tabla N° 3.12 Resultados de ensayos en uniones diagonales – propuesta segunda	106
Tabla N° 3.13 Resultados de ensayos en uniones diagonales – propuesta tercera	107
Tabla N° 4.1 Contenido de humedad de propiedades físicas	108
Tabla N° 4.2 Densidad de propiedades físicas	108
Tabla N° 4.3 Resultados de ensayos de contracción en probetas de bambú con contenido de humedad saturado.	109
Tabla N° 4.4 Tabla de resultado en Madera Capirona – primera propuesta	120
Tabla N° 4.5 Tabla de resultado en Madera Eucalipto – segunda propuesta	121
Tabla N° 4.6 Tabla de resultado en Madera Capirona – tercera propuesta	122
Tabla N° 4.7 Tabla de resultado en Madera Eucalipto – cuarta propuesta	123
Tabla N° 4.8 Tabla de resultado en Madera Capirona – quinta propuesta	124
Tabla N° 4.9 Tabla de resultado en Madera Capirona – sexta propuesta	125
Tabla N° 4.10 Tabla de resultado en uniones perpendiculares – primera alternativa	128
Tabla N° 4.11 Tabla de resultado en uniones perpendiculares – segunda alternativa	129
Tabla N° 4.12 Tabla de resultado en uniones perpendiculares – tercera alternativa	129
Tabla N° 4.13 Tabla de resultado en uniones perpendiculares – cuarta alternativa	130
Tabla N° 4.14 Tabla de resultado en uniones diagonales – primera alternativa	131
Tabla N° 4.15 Tabla de resultado en uniones diagonales –	

segunda alternativa	133
Tabla N° 4.16 Tabla de resultado en uniones diagonales – tercera alternativa	133
Tabla N° 4.17 Resumen de resultados de ensayos propiedades mecánicas “Promedio”	134
Tabla N° 4.18 Comparación con otras investigaciones “Promedio”	135
Tabla N° 4.19 Resumen de resultados en uniones estructurales “Promedio”- Bosque Blanco – primera alternativa	139
Tabla N° 4.20 Resumen de resultados en uniones estructurales “Promedio”- Bosque Rojo – primera alternativa	139
Tabla N° 4.21 Uniones colineales con otras investigaciones y símiles	140
Tabla N° 4.22 Uniones perpendiculares (tipo1) con otras investigaciones y símiles (T=21 días)	141
Tabla N° 4.23 Uniones perpendiculares (tipo 2) con otras investigaciones y símiles	142
Tabla N° 4.24 Uniones diagonales con otras investigaciones y símiles	143

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1.1 Rizoma	26
Figura N° 1.2 Partes de la Guadua	28
Figura N° 1.3 Ciclo de cultivo y manejo de la guadua	29
Figura N° 1.4 Semillas de guadua	30
Figura N° 1.5 Rizomas con tallo	30
Figura N° 1.6 Segmentos de culmos	31
Figura N° 1.7 Propagación por segmento de ramas	32
Figura N° 1.8 Secado en la mata	36
Figura N° 1.9 Proceso de secado al calor	37
Figura N° 1.10 Tratamiento por inmersión	38
Figura N° 1.11 Método boucherie	39
Figura N° 1.12 Vista exterior de la Biblioteca <i>Pública Guanacas</i>	42
Figura N° 1.13 Vista interior de la Biblioteca <i>Pública Guanacas</i>	43
Figura N° 1.14 Vista de la estructura de la cubierta en guadua	43
Figura N° 1.15 Puente de la Universidad Tecnológica de Pereira	44
Figura N° 1.16 Vista exterior de restaurante de 3 niveles	45
Figura N° 1.17 Perspectiva interior	45
Figura N° 1.18 Restaurante Meléndez en Cali	46
Figura N° 1.19 Perspectiva interior de la iglesia en el centro de Pereira	46
Figura N° 1.20 Vista exterior de la vivienda, que se encuentra hacia el sur a la <i>Beukenlaan</i>	47
Figura N° 1.21 Vista exterior de la “Casa de té de bambú”	48
Figura N° 1.22 Vista interior de la “Casa de té de bambú”	48
Figura N° 1.23 Vista exterior de las Chozas Mbaru Niang	49
Figura N° 1.24 Vista Exterior de típica casa de Camboya	49
Figura N° 1.25 Vista interior de la vivienda “Casa para una admiradora de la luna”	50
Figura N° 1.26 Vista techo de “Casa para una admiradora de la luna”	50

Figura N° 2.1 Ubicación satelital bosque Aramango	51
Figura N° 2.2 Probetas de 10 cm de altura para ensayos	55
Figura N° 2.3 Ensayo de contenido de humedad	58
Figura N° 2.4 Ensayo de compresión	71
Figura N° 2.5 Ensayo de tracción	74
Figura N° 2.6 Ensayo de corte	79
Figura N° 2.7 Ensayo de flexión de carga	82
Figura N° 2.8 Ensayo de flexión a escala pequeña	85
Figura N° 3.1 Extractor mecánico	88
Figura N° 3.2 Arandelas para ensayo de uniones colineales	90
Figura N° 3.3 Probeta en ensayo	91
Figura N° 3.4 Equipo completo para ensayo de uniones Estructurales	96
Figura N° 3.5 Unión perpendicular propuesta primera	97
Figura N° 3.6 Falla por corte perpendicular a la fibra, originado en el plano de falla donde se colocó el perno, la abertura del gancho inferior origina el desplazamiento del brazo en la muestra	98
Figura N° 3.7 Barra de ϕ 3/8" longitudinal con gancho a su extremo Superior	99
Figura N° 3.8 Barra de ϕ 3/8" longitudinal con gancho en su extremo inferior.	99
Figura N° 3.9 Barra de ϕ 3/8" longitudinal con un gancho a su extremo y un perno de ϕ 3/8" al otro extremo y pasador de ϕ 3/8"	100
Figura N° 3.10 Unión perpendicular utilizando un perno transversal y acero longitudinal, unión lista para la prueba de tracción	100
Figura N° 3.11 Barra de ϕ 3/8" longitudinal con un gancho a su extremo y un perno de ϕ 3/8" al otro extremo y pasador de ϕ 1/2"	102
Figura N° 3.12 Unión diagonal	105

Figura N° 3.13 Doble interior de los ganchos y del perno, recomendación alargar la longitud de los ganchos	105
Figura N° 4.1 Unión colineal a ser ensayada en la máquina universal a tracción	119
Figura N° 4.2 Unión colineal primera propuesta a ser ensayada en la máquina universal a tracción	120
Figura N° 4.3 Unión colineal segunda propuesta a ser ensayada en la máquina universal a tracción	121
Figura N° 4.4 Unión colineal tercera propuesta a ser ensayada en la máquina universal a tracción	122
Figura N° 4.5 Unión colineal cuarta propuesta a ser ensayada en la máquina universal a tracción	123
Figura N° 4.6 Unión colineal quinta propuesta a ser ensayada en la máquina universal a tracción	124
Figura N° 4.7 Unión colineal sexta propuesta a ser ensayada en la máquina universal a tracción	125
Figura N° 4.8 Unión perpendicular ensayada en máquina universal a tracción	127
Figura N° 4.9 Unión diagonal a ser ensayada en la máquina universal a tracción	131
Figura N° 4.10 Unión diagonal a ser ensayada a los 21 días en la máquina universal a tracción	132

LISTA DE GRÁFICOS

Grafico 4.1	Histogramas de resistencia máximas a compresión C1 (parte inferior de las cañas)	110
Grafico 4.2	Valor que define el límite de exclusión esfuerzo máximo en compresión	111
Grafico 4.3	Histogramas de resistencia máximas a compresión C2 (parte superior de las cañas)	111
Grafico 4.4	Valor que define el límite de exclusión del esfuerzo máximo en compresión	112
Grafico 4.5	Variación de la media y 5° percentil entre C1 y C2	112
Grafico 4.6	Histograma de resistencia máxima a la tracción	113
Grafico 4.7	Valor que define el límite de exclusión del esfuerzo máximo en tracción	113
Grafico 4.8	Histogramas de resistencia máximas a corte (parte inferior de la guadua)	114
Grafico 4.9	Valor que define el límite de exclusión del esfuerzo máximo en corte	115
Grafico 4.10	Histogramas de resistencia máximas a flexión de escala natural	115
Grafico 4.11	Valor que define el límite de exclusión del MOR en flexión escala natural	116
Grafico 4.12	Histogramas de resistencia en flexión de escala estática	117
Grafico 4.13	Valor que define el límite de exclusión del MOR en flexión estática	118
Grafico 4.14	Comparativo de los valores de MOR entre la flexión estática y la flexión en escala real	120

Grafico 4.15 Comparativo de las propuestas de uniones colineales en madera Capirona1	126
Grafico 4.16 Comparativo de las propuestas de uniones colineales en madera Eucalipto	126
Grafico 4.17 Comparativo de las propuestas de unionescolineales con tarugos de madera Capirona y Eucalipto	127
Grafico 4.18 Resistencia media de uniones perpendiculares según tiempo de secado del mortero	128
Grafico 4.19 Resistencia media de uniones diagonales según tiempo de secado del mortero	132
Grafico 4.20 Comparativo con otras investigaciones en ensayos de tracción promedio	136
Grafico 4.21 Comparativo con otras investigaciones	136
Grafico 4.22 Comparativo con otras investigaciones en ensayos de compresión promedio	137
Grafico 4.23 Comparativo de MOE con otras investigaciones en ensayos de flexión escala natural promedio	137
Grafico 4.24 Comparativo de MOR con otras investigaciones en ensayos de flexión estática	138
Grafico 4.25 Comparativo de MOE con otras investigaciones en ensayos de flexión estática	138
Grafico 4.26 Comparativo de uniones colineales con otras investigaciones	140
Grafico 4.27 Comparativo de uniones perpendiculares con otras investigaciones (tipo 1)	141

Grafico 4.28 Comparativo de uniones perpendiculares con otras investigaciones (tipo 2)	142
Grafico 4.7.10 Comparativo de uniones diagonales con otras investigaciones (T=14 días)	143

LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS

- A** El área transversal en mm^2 , calculada como $(\pi/4) \times [D^2 - (D-2T)^2]$ en la cual D Y T son los medios de mediciones sobre el espécimen.
- D** El diámetro exterior en mm.
- D.Sup.** El diámetro superior en cm.
- D.Inf.** El diámetro inferior en cm.
- δ** Deflexión o deformación en mm (se pronuncia “delta”).
- E** Los módulos de elasticidad en MPa.
- F** La carga en N.
- I_B** El segundo momento de área en mm^4 .
- L** Tramo completo en el doblado; longitud de pieza de ensayo en compresión, cizallamiento y tensión, en mm.
- m** Masa en g (kg también es permitido como unidad).
- CH** Contenido de humedad.
- π** Usualmente tomada como 3,14.
- ρ** Masa por volumen (densidad) en kg/m^3 (se pronuncia “rho”).
- σ** Resistencia en MPa (se pronuncia “sigma”).
- t** Grosor de pared en mm.
- τ** Tensión de cizallamiento en MPa (se pronuncia “tau”).
- V** Volumen de pieza de ensayo en mm^3 , calculado como $A \times L$, o de acuerdo a su medición.

x Símbolo de multiplicación.

ult Sub. índice principal (usado para resistencia en la falla).

Nota 1 MpA = 1 N/mm².

INTRODUCCIÓN

El Bambú es denominado “el acero del siglo XXI” ya que sin duda alguna, sus características lo hacen un material de enorme futuro, esta planta siempre se ha destacado por su ligereza, flexibilidad y bajo costo, no obstante, tiene algunas debilidades ya que sin ser tratado puede ser poco resistente a la lluvia o al ataque biológico. Sin embargo, hoy, la idea en torno al bambú está cambiando y éste está siendo utilizado en exitoso maridaje con el cemento y el concreto.

A partir del terremoto de la zona cafetera en Colombia de enero de 1999, se ha comenzado a estudiar la guadua más a fondo, considerando sus posibilidades tanto estructurales como económicas. Un ejemplo es el trabajo desarrollado por la Organización GTZ (Alemania), en coordinación con la UPTC (Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia-Pereira) y a CRQ (Corporación Regional del Quindío) quienes desarrollaron el plan de vivienda para el municipio de Córdoba (Quindío) epicentro del sismo.

Adicionalmente se ha ampliado considerablemente el número de proyectos de investigación desde el punto de vista estructural tanto en las facultades de Arquitectura como Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia. Con el fin de conocer el comportamiento de la guadua ante diferentes solicitaciones de carga.

Dentro de las investigaciones que se están desarrollando en el tema de la guadua, a nivel mundial, debemos destacar el trabajo realizado por el arquitecto Oscar Hidalgo que comenzó en 1963, cuando se dio cuenta de las múltiples aplicaciones y beneficios de la guadua como material alternativo y desde entonces ha sido estudiado ampliamente. Hoy por hoy es considerado como una de las máximas autoridades en el ámbito global en el tema y se encuentra trabajando con el INBAR (Instituto del Bambú y el Ratán) en la publicación de una enciclopedia que extracta todos sus conocimientos acerca de la guadua. El INBAR fue fundado por el Centro Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA) en el año de 1993, con el propósito de consolidar y reforzar las actividades de investigación existentes en Asia y ampliar sus posibilidades.

En el trabajo de grado “Determinación de la resistencia a compresión paralela de la fibra de la guadua de Castilla”. Bogotá 1981. UNIVERSIDAD NACIONAL DE

COLOMBIA, determinaron los siguientes datos para una humedad del 12%, que se presentan en la siguiente tabla:

Grupo de edad	Esfuerzo máximo (kg/cm ²)	Esfuerzo en el Límite Proporcional (kg/cm ²)	Módulo de Elasticidad (kg/cm ²)
1 – 3 años	505.00	399.21	105.840
3 – 5 años	661.85	524.04	121.528
5 o más años	561.28	456.74	101.427

Actualmente en el Perú se está buscando la utilización del bambú como material constructivo y estructural aprovechando sus propiedades físicas así como material decorativo y de acabado, como se hace en otros países como Colombia y Ecuador.

Debido a la experiencia referida y a las nuevas investigaciones que se están realizando en la Universidad Nacional de Ingeniería, existen razones suficientes para asegurar al menos por ahora la utilización de este material.

Según Huarcaya, J. en la tesis “Determinación de resistencia de uniones estructurales en bambú (Guadua Angustifolia): Bosque Flor del Valle, Distrito/Provincia Rioja Departamento: San Martín”, determinó las propiedades físico mecánicas y la resistencia en uniones perpendiculares, lineales y oblicuas para guadua provenientes del bosque en mención y encontró que en la unión colineal obtuvo la mayor resistencia con una carga de 554 kg, utilizando 1 perno de 3/8” en cada extremo.

Gutiérrez, S. en su obra “Uniones estructurales con bambú (guadua angustifolia)” determinó las propiedades físicas, mecánicas y la resistencia en uniones perpendiculares, lineales y oblicuas de las muestras de bambú seleccionadas, encontrando, que en la unión colineal, se obtuvo la mayor resistencia con una carga de 950 kg, utilizando 2 pernos de 1/2” en cada extremo sin arandelas.

JUSTIFICACIÓN

La presente investigación se justifica debido a que:

El Perú es un país sísmico y necesitamos contar con un material como el bambú, para la construcción de viviendas prácticas, seguras y económicas en determinadas regiones del país donde no se cuenta con materiales de construcción ordinarios (cemento, arena y otros conglomerados) y evitar experiencias nefastas como la vivida en el terremoto que sacudió el sur medio del país, ocurrido en el año 2007.

No existe una Norma Técnica Peruana sobre determinación de propiedades físico mecánicas del bambú y su uso en construcciones de viviendas.

El Ministerio de Agricultura del Perú a través de PROAMAZONIA, ha lanzado el Plan Nacional de Promoción del Bambú y Caña Brava "Perú 2008-2020, el que contempla el desarrollo de 500,000 Ha. de bambú en suelos forestales degradados y no agrícolas, en todo el territorio nacional, lo que se constituye en una gran oportunidad para realizar trabajos de investigación sobre el bambú.

PROBLEMA

¿En qué medida las propiedades Físico Mecánicas de las uniones estructurales de Bambú pueden ser utilizadas en la construcción de viviendas?

OBJETIVOS

OBJETIVO PRINCIPAL

- Estudiar diferentes uniones de elementos de guadua con diferentes ángulos entre ellos, para su futura aplicación en la construcción.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la resistencia de diferentes tipos de uniones.
- Optimizar el proceso constructivo, previo al ensamble de dichas uniones para garantizar una adecuada transmisión de esfuerzos entre los elementos.

CAPÍTULO I GUADUA ANGUSTIFOLIA

1.1. TAXONOMÍA DEL BAMBÚ

La Guadua es un bambú espinoso perteneciente a la Familia Poaceae, a la sub-familia Bambusoideae y a la tribu Bambuseae. En 1820, el botánico Kunth, constituye este género utilizando el vocablo “guadua” con el que los indígenas de Colombia y Ecuador se referían a este bambú. Este género, que reúne aproximadamente 30 especies, se puede distinguir de los demás por los tallos robustos y espinosos, por las bandas de pelos blancos en la región del nudo y por las hojas caulinares en forma triangular.

La especie *Guadua angustifolia* sobresale dentro del género por sus propiedades físico – mecánicas y por el tamaño de sus culmos que alcanzan hasta 30 metros de altura y 25 centímetros de diámetro. Ha sido seleccionada como una de las veinte especies de bambúes mejores del mundo ya que su capacidad para absorber energía y admitir una mayor flexión, la convierten en un material ideal para construcciones sismo resistentes. Esta especie crece naturalmente en Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela, pero ha sido introducida a Centro América, Isla del Caribe, Hawái y Asia. Reúne dos variedades: *Guadua angustifolia* varilla bicolor y *Guadua angustifolia* varilla negra, y varias formas: “cebolla”, “macana”, “castilla”.

Rangos Genealógicos para la clasificación de la Guadua según Tabla N° 1.1.

Tabla N° 1.1. Clasificación taxonómica de la guadua

Rango	Taxonomía
Reino	Vegetal
División	Espermatofita
Subdivisión	Angiospermae
Clase	Lilopsidas/Monocotiledónea
Subclase	Commelinidae
Orden	Cyperales/Glumiflorales
Familia	Gramineae o Poaceae

Rango	Taxonomía
Subfamilia	Bambusoideae
Supertribu	Bambusodae
Tribu	Bambuseae
Subtribu	Guaduinae
Género	Guadua
Especie	Angustifolia
Variedad	Bicolor
Forma	Cebolla, Macana, Rayada, etc.

1.2. PARTES DE LA GUADUA

Rizoma

El rizoma tiene una gran importancia, no solo como órgano, en el cual se almacenan los nutrientes que luego distribuye a las diversas partes de la planta, sino como un elemento básico para propagación del bambú o guadua, la cual se efectúa asexualmente por ramificación de los rizomas, como se puede apreciar en la Figura N° 1.1



Figura N° 1.1 Rizoma

Culmo

En el caso de los bambúes se debe utilizar la palabra culmo para designar al tallo principal de la planta, ya que la palabra caña se asigna a la planta conocida como caña de azúcar. Es frecuente que muchas personas le llamen bambú únicamente al tallo principal de la planta sin incluir sus ramas, hojas etc.

Así mismo el culmo está constituido por:

- **Cepa**
Es la parte del culmo con mayor diámetro y espesores de pared mayores; Posee una longitud de 4 m.
- **Basa**
El diámetro es intermedio y la distancia entre nudos es mayor que en la cepa; es la parte del culmo de la guadua que más se utiliza; tiene una longitud aproximada de 11 m.
- **Varillón**
La sección tiene un diámetro pequeño y la longitud es de unos tres metros aproximadamente.
- **Copa**
Es la parte apical de la guadua.

Como lo detalla la Figura N° 1.2

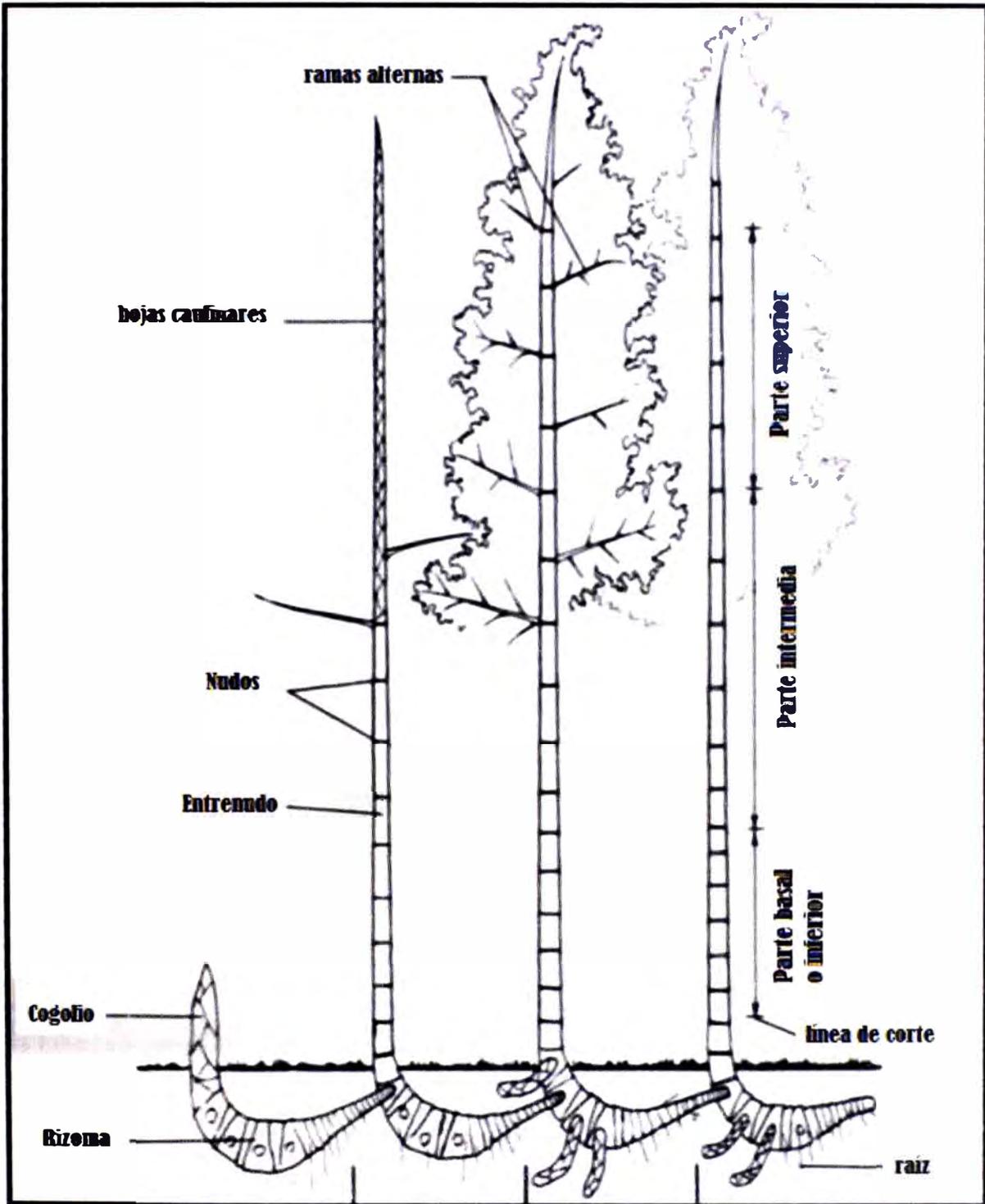


Figura N° 1.2 Partes de la Guadua

1.3. CULTIVO Y MANEJO DE LA GUADUA

En países como India, China y Japón se han desarrollado tecnologías avanzadas para el cultivo y el manejo de la Guadua.

A continuación, en la Figura N° 1.3 se describe brevemente cada uno de los ítems determinantes en el ciclo de cultivo y manejo de la guadua:



Figura N° 1.3 Ciclo de cultivo y manejo de la guadua

1.3.1. Propagación

La regeneración del bambú ocurre a través de semillas, rizomas con segmento de tallo, segmentos de culmo y segmentos de ramas.

Por semilla

La posibilidad de propagar bambúes por semilla como *Guadua Angustifolia*, presentan porcentajes altos de germinación, 95 – 100%, sin embargo la posibilidad de que esta especie produzca semillas es escasa ya que un alto porcentaje de los flósculos de la espiguilla son parasitados en estado inmaduro por larvas de insectos principalmente de los órdenes Diptera e Hymenoptera. En la Figura N° 1.4, se muestra la semilla de la guadua.

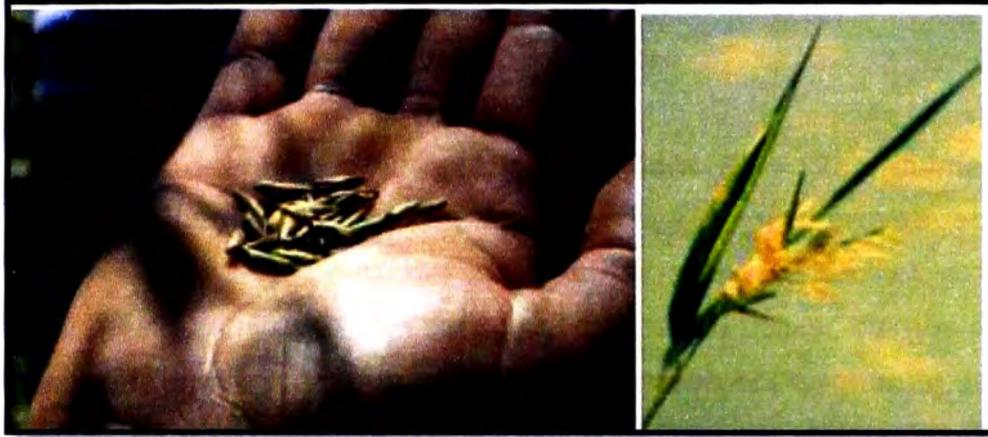


Figura N° 1.4 Semillas de guadua

Rizomas con segmento de tallo

Es considerado como el mejor método de propagación, sin embargo no es recomendado para plantaciones a gran escala por lo pesado y difícil del transporte. En Colombia, este método ha sido implementado por Corporaciones Regionales para las reforestaciones con *Guadua Angustifolia*, mediante el uso del “chusquín” y se considera el método más ventajoso por la facilidad de obtención de materia, alta eficiencia y economía. El “chusquín” es un brote delgado que sale de una yema superior del rizoma, y se extrae con un segmento de tallo y un trozo de rizoma basal.

Un plantón de *Guadua Angustifolia* se caracteriza por la alta emisión de “chusquines”, como se muestra en la Figura N° 1.5



Figura N° 1.5 Rizomas con tallo

Propagación por segmentos de Culmo

Es efectivo para propagar bambúes de gran tamaño (8 – 12cm diámetro.) y de pared gruesa; Experimentos en India han indicado que provee solución al problema de escasez y peso del material al plantar pero el éxito en la germinación ha sido limitado. Se observó que se debe utilizar culmos de un año de edad, y segmentos de culmo con uno o dos nudos por segmento; la siembra es mejor horizontal que vertical u oblicua, y se deben enterrar a 20 cm. de profundidad, regando dos veces al día. Este método no es ventajoso por su costo y por la limitación de usar culmos de un año, los cuales pueden ser usados para otros propósitos.

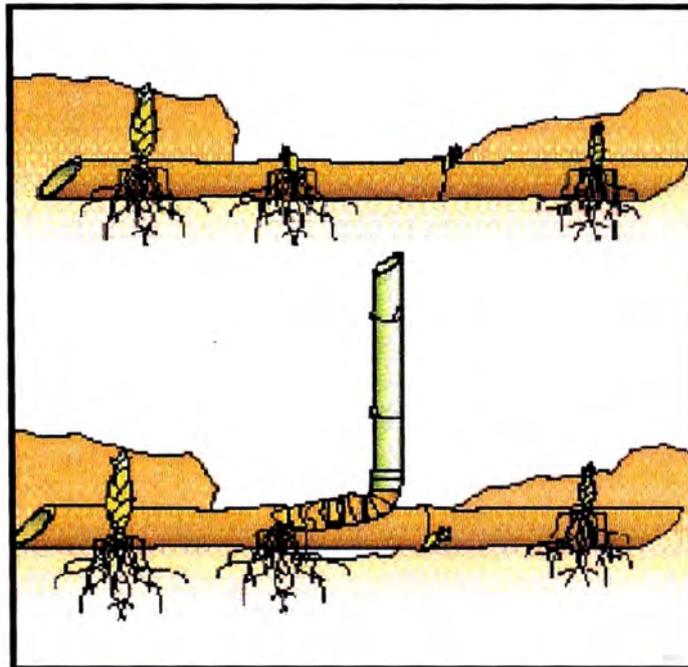


Figura N° 1.6 Segmentos de culmos

Segmentos de ramas

Este método es utilizado en Asia para plantaciones a gran escala de algunas especies de bambú, es útil, práctico y efectivo, de acuerdo a la figura N° 1.6, además de ser fácilmente manejable. El enraizamiento es eficiente en un medio de cascarilla de arroz y carbón.

Para ello se seleccionan ramas principales sanas de los brotes de bambúes de 3 años de edad, con más de 1 cm. Los segmentos de las ramas recién cortados se deben introducir en agua limpia o colocar en un lugar sombreado y fresco.

Después de haber sido sumergido en Naphthalene Acetic Acid NAA (20-100ppm) durante 12 horas, se siembran en zanjas de 30 cm de profundidad, introduciendo la rama de los segmentos entre 15 y 18 cm de separación, luego se cubre con tierra, como se observa en la figura N° 1.7, y dejar el tercer entre nudo sobre la superficie suelo, pisar la tierra alrededor del segmento, cubrir algunas pajas y echar suficiente agua. La densidad debe ser de 120,000-150,000 tallos por hectárea.



Figura N° 1.7 Propagación por segmento de ramas

1.3.2. Limpieza

Los bambúes son plantas heliófilas por excelencia, por eso para su buen desarrollo es muy importante el control de malezas en la primera fase de crecimiento. En el caso de la guadua *Angustifolia*, durante los primeros años de cultivo se puede asociar con frijol, maíz, soya u otros cultivos, lográndose de esta manera mantener la plantación libre de malezas y lograr un ingreso extra para el agricultor. Sin embargo debido al rápido crecimiento de la guadua, esta

asociación no es recomendable por un tiempo mayor de dos años; tampoco se recomienda cuando se utilizan distancias de siembra cortas.

1.3.3. Fertilización

Si al momento de la siembra el suelo no es completamente orgánico (negro) para el llenado de los hoyos se prepara una mezcla de tres partes de suelo negro por una de materia orgánica con bajo contenido de humedad. Esta puede ser gallinaza, porquinaza, pulpa de café, cascarilla de arroz o humus producido por lombricultura.

Son recomendables los abonos orgánicos y los que contienen nitrógeno, fósforo y potasio (NPK); se puede aplicar al momento de la siembra y posteriormente a los 2 meses, 6 meses y al año. Cuando se utilizan químicos se abona a los 10 días después de sembrada la planta. Se debe esparcir en la zona de plateo (excavación poco profundo en círculo al rededor del tronco del árbol), en forma de corona y a una distancia de 20 o 30 centímetros de la planta.

Para fertilización química se recomienda NPK (Nitrógeno, Fosforo y Potasio) en la relación 2-1-4, complementado con Boro (B). La primera aplicación es a los 10 días después de la siembra 30 g/planta; a los 9 meses, 30 g/planta; al final de este primer año, 60 g/planta; a la mitad del segundo año, 80 g/planta; al tercer año al menos dos aplicaciones entre 100 g/planta y 120 g/planta.

1.3.4. Aprovechamiento

El aprovechamiento es una práctica silvicultural de mantenimiento y mejoramiento del guadual. Puede definirse como una práctica silvicultural que procura crear condiciones favorables en el guadual, lo que implica el mejoramiento de la regeneración natural y de la composición estructural, que aseguran el máximo rendimiento sostenible. El aprovechamiento no solo pretende obtener los máximos ingresos posibles del recurso.

En los bosques de guadua, el proceso de sucesión, se puede considerar como progresivo cuando su manejo muestra el guadual en equilibrio biológico,

contrario cuando se produce alguna alteración o deterioro en su estructura, producto de una intervención natural o artificial, caso en el cual se considera que el guadual comienza a presentar una sucesión regresiva, lo cual puede ocasionar su completa desaparición.

Para evitar lo anterior es necesario conocer y diferenciar todos y cada uno de los elementos que conforman el guadual. Su conocimiento permite aprovechamientos técnicos, además de conocer su dinámica dentro del proceso de productividad del guadual.

Entre las causas que ocasionan la llamada sucesión regresiva del guadual está el no manejo, ya que si los guaduales no se aprovechan tienden a degradarse por exceso de individuos en determinado momento y/o por disminución de la actividad biológica o dinámica del guadual.

Por lo expuesto anteriormente los guaduales deben intervenir periódicamente para regular el espacio vital de sus individuos y para favorecer una mayor aparición de rebrotes o renuevos. En Colombia, se han realizado investigaciones sobre aprovechamientos técnicos debido a que la gran mayoría de bosques se encuentran muy densos por falta de manejo, o muy intervenidos por una explotación anti técnica.

Es necesario determinar para cada sitio, el ciclo de corte o periodo de corte a transcurrir entre un aprovechamiento y otro, y la intensidad de corte, o sea la cantidad y clase de individuos a extraer en cada ocasión, siendo esto lo que constituye propiamente el Plan de manejo técnico de un guadual.

Con el aprovechamiento técnico se busca obtener un equilibrio en el bosque, en el ambiente y que a través de él, se obtengan ingresos económicos según el manejo sostenible del recurso.

Los aprovechamientos comerciales se basan principalmente en el sistema de entresaca (eliminación de una proporción de los árboles de un rodal, extrayendo aquellos que interfieren en el crecimiento y/o cuando no pueda cumplir con la obtención de productos de calidad por su mal crecimiento o mala forma), determinando la cantidad de tallos en porcentajes de acuerdo al estado de cada guadual y la edad de corte, planteándose como la ideal, cuando la guadua

cambia de color, pues se pasa de verde a amarillo, siendo invadida por líquenes que le dan la tonalidad ceniza, blancuzca, produciéndose esta coloración aproximadamente a los 5 o 6 años de edad del tallo, como se detalla en la tabla N° 1.2.

1.3.5. Ciclo de Corte

Es el tiempo transcurrido entre dos aprovechamientos sucesivos sobre un mismo bosque. Este depende de la posibilidad del guadua. Lo primordial para el corte de una guadua es tener en cuenta los cambios de luna por eso es recomendable cortarla en luna menguante ya que esta ejerce presión sobre el agua llevándola hasta su raíz y así la guadua está en mejor condición para su aprovechamiento. La época ideal para cosechar el bambú es durante el período seco ya que la emisión de brotes en esta época es baja y el contenido de humedad de los culmos también, lo que facilita el transporte y reduce la aparición de plagas y enfermedades post – cosecha.

Tabla N° 1.2. Edad de corte

Edad de Corte	✓ Hasta 2 años de edad.	La guadua angustifolia Kunth es más vulnerable al ataque de los insectos.
	✓ De 3 a 6 años de edad.	Es la edad óptima para utilizar la guadua angustifolia Kunth en construcción.

Fuente Propia

1.4. SECADO E INMUNIZACIÓN DE LA GUADUA

La guadua contiene humedad, la cual es indispensable extraerla para conseguir una mayor resistencia, controlando la proliferación de hongos y agentes que la puedan atacar. Después del proceso de corte debe ser sometido a un proceso de secado, en este proceso se contrae y obtiene su color amarillo, al estar seca pierde toda la savia y no es tan propensa al ataque de hongos, en este proceso se desecha casi un 20% de guadua por estar rajadas o torcidas. A continuación explicaremos los métodos utilizados más comúnmente para el secado del material:

- Secado al aire

Este método consiste en apilar la guadua en cantidad suficiente en el suelo, se coloca de manera horizontal y aire libre (mejor cubierto), teniendo precaución que no tenga contacto con el suelo, sobre alguna base que impida esto.

- Secado en la mata

Después de haber sido cortada, la guadua se deja con ramas y hojas recostadas de forma vertical, sobre otras guaduas de cultivo, debe de estar aislado del suelo por medio de piedras u otro elemento, como se muestra en la figura N° 1.8 En esta posición se deja por un periodo de 4 semanas, después de lo cual se cortan sus ramas y hojas, y se deja secar dentro de un área cubierta bien ventilada. Este método es hasta ahora el que ofrece los mejores resultados, además los tallos no se manchan y conservan su color.

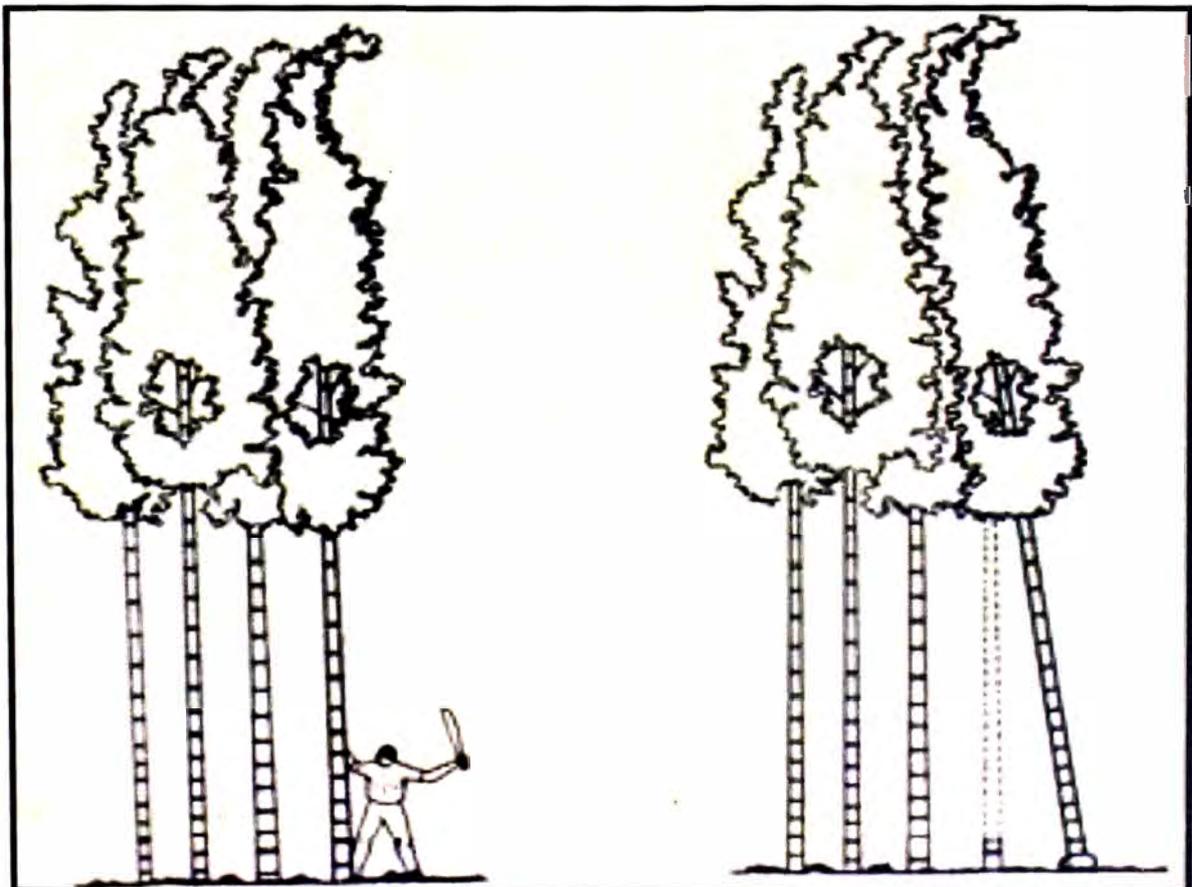


Figura N° 1.8 Secado en la mata

- Secado al calor

El secado al calor se realiza colocando la guadua de forma horizontal sobre brasas de madera, a una distancia apropiada, evitando que pueda ser quemada por las llamas y girándolas constantemente, este proceso se debe hacer a campo abierto. Las brasas se deben colocar en una pequeña excavación de unos 30cm o 40cm de profundidad, como se aprecia en la figura N° 1.9.

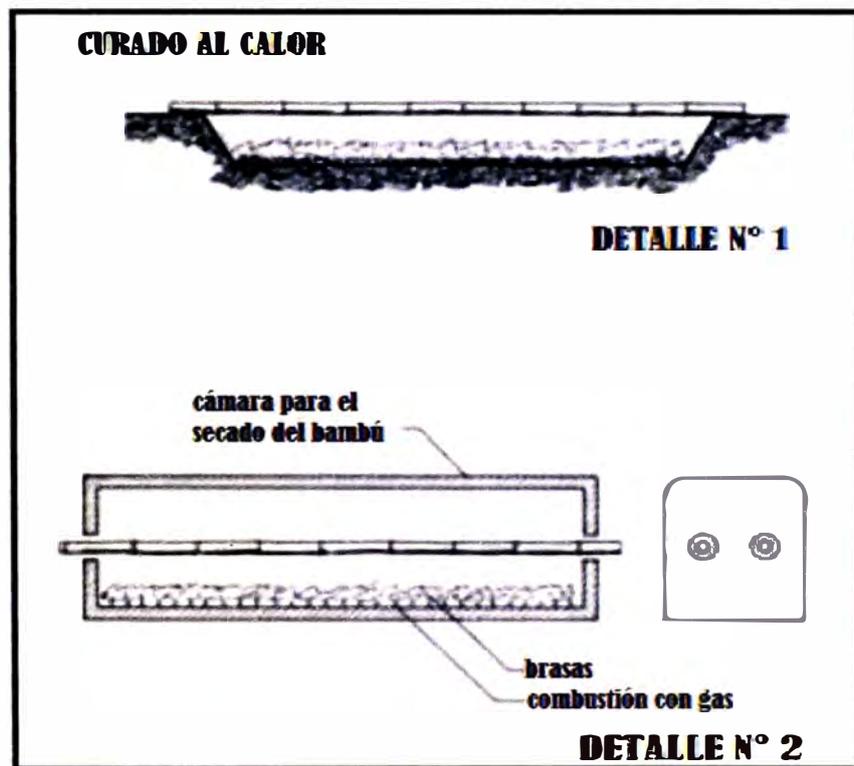


Figura N° 1.9 Proceso de secado al calor

Luego, después del proceso de secado, la guadua es sometida a un proceso de preservación, con la finalidad de prevenir el ataque de insectos y hongos, que son los principales agentes "enemigos", de la guadua.

El tratamiento de preservación no debe afectar sus propiedades físico-mecánicas, incluyendo su color.

Los diferentes tratamientos de preservación de la guadua son los siguientes:

- Inmunización por inmersión

Este proceso se realiza primero, haciendo dos perforaciones en cada entrenudo de la guadua, para después sumergir la guadua mediante unas pesas en un tanque que contiene preservantes, por un periodo de cinco días, con el fin de que el preservante penetre de manera correcta en el interior de cada entrenudo, tal y como se puede observar en la figura 1.10. En el mercado existen diversos productos como inmunizantes, que deben ser elegidos con un respaldo científico.

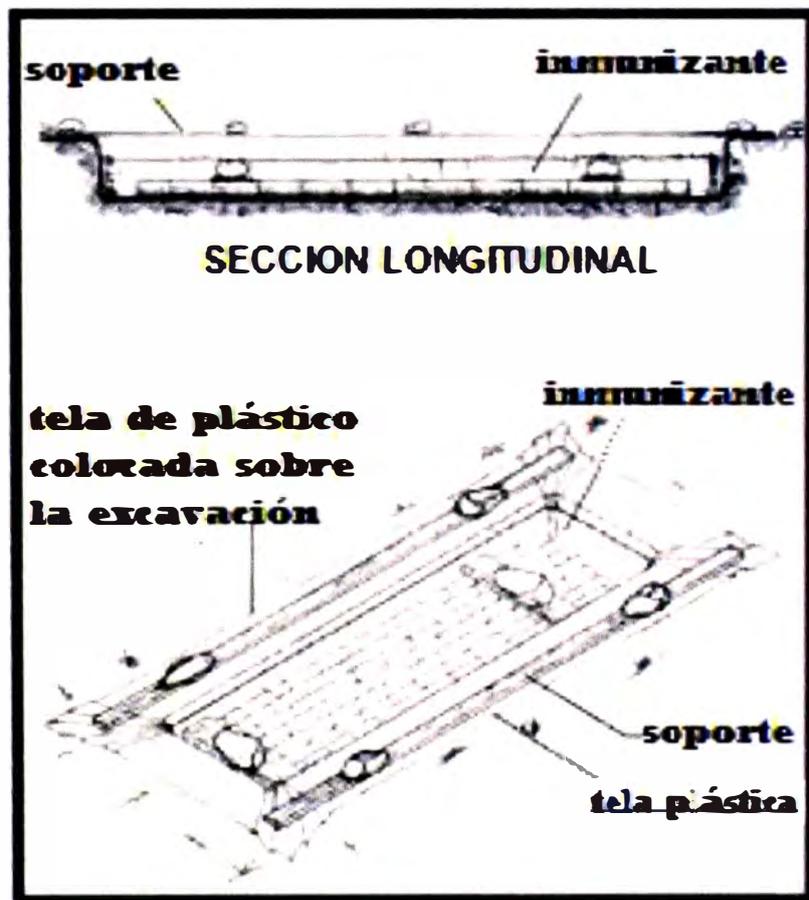


Figura N° 1.10 Tratamiento por inmersión

- Método Boucherie

Este tratamiento es contra el ataque de insectos xilófagos. El procedimiento desplaza la savia de la Guadua por una solución de Pentaborato de ácido bórico y bórax, fue realizado empleando un equipo construido con tanque de almacenamiento de la solución y un sistema a presión (Compresor), con el objeto de vencer la resistencia de la Guadua a la penetración de la solución

preservante; se trabaja con una presión de 137,88 kPa (1,36 bar ó 20 psi), el proceso termina cuando pasa toda la solución preservante al otro lado de la troza de Guadua, sin perforar los tabiques de los internodos como se muestra en la Figura N° 1.11.



Figura N° 1.11 Método boucherie

1.5. VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Los programas internacionales de cooperación técnica han reconocido las cualidades excepcionales del bambú y están realizando un amplio intercambio de variedades de esa planta y de los conocimientos relativos a su uso, sin embargo, este material presenta ventajas y desventajas de las cuales las principales se presentan a continuación en las Tablas N° 1.3 y 1.4:

Tabla N° 1.3 Ventajas de la Guadua

Ventajas	<p>Posee extraordinarias características físicas que permiten su empleo en todo tipo de miembros estructurales.</p>
	<p>Es un material liviano (por su forma circular y hueca), fácil de transportar y de almacenar, lo que permite la construcción rápida de estructuras temporales o permanentes.</p>
	<p>En cada uno de los nudos del bambú hay un tabique o pared transversal que además de hacerlo más rígido y elástico evita su ruptura al curvarse; por esta característica es un material apropiado para construcciones anti-sísmicas.</p>
	<p>La guadua no tienen corteza o partes que puedan considerarse como desperdicio.</p>
	<p>Es un recurso renovable y sostenible.</p>
	<p>Su rápido crecimiento y la alta densidad de culmos por área significa una productividad muy importante de la tierra y una biomasa considerable.</p>
	<p>La manipulación del bambú desde el lugar donde crece (guadual) hasta la obra, necesita muy poca energía; la diferencia de la cantidad de energía y gastos que se necesita en su proceso es muy grande con respecto al acero u otros materiales en obras parecidas.</p>

Fuente Propia

Tabla N° 1.4 Desventajas de la Guadua

Desventajas	<p>La guadua en contacto permanente con la humedad del suelo presenta pudrición y aumenta el ataque de termitas y otros insectos; por ello no deben utilizarse como cimiento por enterramiento a menos que se trate previamente.</p>
	<p>La guadua una vez talada, es infestada por insectos como <i>Dinoderus minutus</i> que construye grandes galerías en su pared debilitándolo. Por ello, una vez cortado debe someterse inmediatamente a tratamientos de curado y secado.</p>
	<p>La guadua es un material altamente combustible cuando está seco; por ello debe recubrirse con una sustancia o material a prueba de fuego, o protegerla de otra manera que evite que se inflame.</p>
	<p>La guadua cuando envejece pierde su resistencia si no se trata apropiadamente.</p>
	<p>La guadua no tiene diámetro igual en toda su longitud, tampoco es constante el espesor de la pared por lo que algunas veces presentan dificultades en la construcción.</p>
	<p>La guadua al secarse se contrae y reduce su diámetro; esto tiene implicancias negativas en la construcción.</p>
	<p>Las uniones de miembros estructurales no pueden hacerse a base de empalmes, como en la madera, lo que implica dificultades como material de construcción.</p>
	<p>La resistencia a fuerzas perpendiculares a las fibras (cortante) es muy baja lo que significa que el bambú tiene tendencia de rajarse fácilmente en forma paralela a las fibras.</p>

Fuente Propia

1.6. ANTECEDENTES DE USO DE LA GUADUA EN CONSTRUCCIONES CIVILES

- **Simón Hosie Samper : Premio Nacional de Arquitectura Bienal 2004 - COLOMBIA**

Casa del Pueblo Biblioteca Pública Guanacas.- Está localizada en Inza, un pequeño Municipio del Departamento del Cauca al Sur - Oeste Colombiano. Fue la obra ganadora de la XIX Bienal Colombiana de Arquitectura realizada en el 2004, se trata de una construcción en Guadua de dos (2) pisos, construida sobre un lote de terreno de topografía plana, el proyecto fue diseñado y construido por el arquitecto Simón Hosie, como se muestra en las figuras N° 1.12 y 1.13.

Se trata de una construcción de forma regular, de conformación ligeramente ovalada, las columnas exteriores funcionan estructuralmente y sirven de soporte a la losa de entrepiso del edificio, que en su interior presenta un vacío de doble altura que se convierte en el organizador del espacio.

La Biblioteca es una estructura porticada, compuesta por pórticos que se conforman con columnas y vigas de guadua dispuestas cada 3.00 m. aproximadamente, las columnas se disponen de dos formas, unas exteriores quedando a la vista y otras interiores, de forma ovalada.

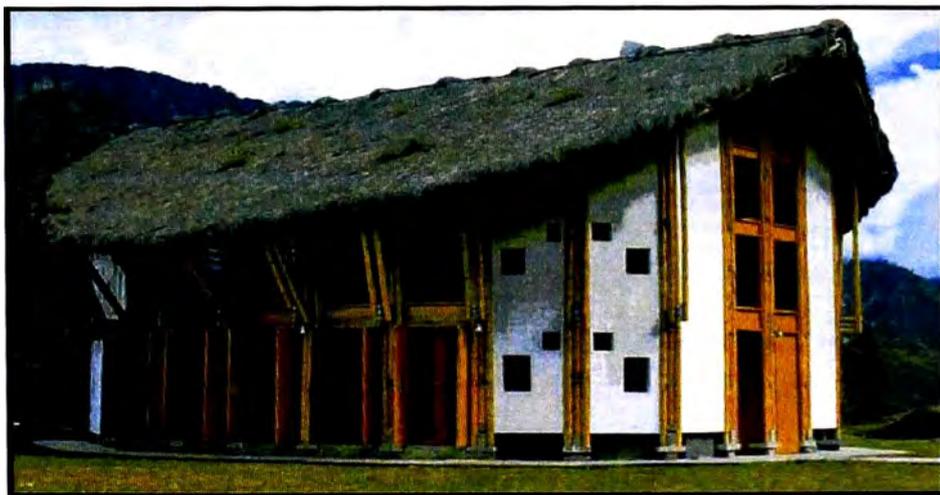


Figura N° 1.12 Vista exterior de Biblioteca Pública Guanacas

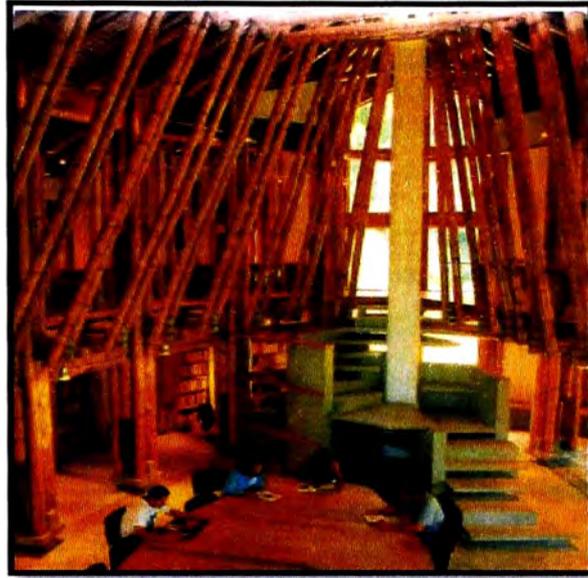


Figura N° 1.13 Vista interior de Biblioteca Pública Guanacas

- **Carlos Vergara: Arquitecto (1934-1993)**

Club Social cañas gordas en Cali.- El arquitecto Carlos Vergara construyó en el año de 1992 el Club Social, la cubierta fue diseñada como una gran estructura tipo cercha, utilizando la guadua como principal material; que se soporta sobre las columnas de concreto, localizadas cada 5 metros y en algunos puntos directamente sobre el muro de carga en ladrillo. Como material de acabado final para la cubierta se usó teja de arcilla española, la cual se soporta directamente sobre correas en caña menuda de bambú, distribuidas sobre la estructura de guadua (Figura N° 1.14).



Figura N° 1.14 Vista de la estructura de la cubierta en guadua

- **Jörg Stamm: Carpintero Alemán**

Puente de la Universidad Tecnológica de Pereira.-En el 2000 se construyó el puente de la Universidad Tecnológica de Pereira, siendo ésta la primera construcción de un puente de guadua, habiendo recibido los respectivos permisos de las autoridades urbanas para su construcción. Este puente de guadua tiene una luz de 52 m como se muestra en la Figura N° 1.15.



Figura N° 1.15 Puente de la Universidad Tecnológica de Pereira

Restaurante de tres niveles.-En 1997 construyó un restaurante en un balneario cerca de Popayán (Colombia).

Ese edificio fascina no tanto por su vista exterior sino por su estructura bien pensada y el carisma del material Guadua.

La estructura portante consiste en un entramado con columnas de cuatro tubos de guadua así como diagonales de guadua que pasan por las columnas espaciadas.

Las cubiertas de concreto están sostenidas por estructuras de guadua. El resultado es una vista atractiva de la cubierta, desde abajo y una construcción

más económica, puesto que se pudo hacer casi sin acero estructural (Figuras N° 1.16 y 1.17).



Figura N° 1.16 Vista exterior de restaurante de 3 niveles



Figura N° 1.17 Perspectiva interior

- **Simón Vélez: Arquitecto Colombiano**

El Restaurante "Meléndez" en Cali.-Esta construcción es otro buen ejemplo de una casa media abierta, que se reduce a la construcción del techo. Simón Vélez, por ejemplo, primero diseña el techo y después el resto de la edificación. Por eso él se llama arquitecto de techos.

El clima tropical exige edificios abiertos o semi-abiertos que hagan posible una buena ventilación de los interiores, como se muestra en la Figura N° 1.18.



Figura N° 1.18 Restaurante Meléndez en Cali

Iglesia de Guadua en Pereira.- El techo se apoya en columnas de guadua curva, que aparecen en estilos tanto gótico y orgánicos.

Los apoyos consisten en cinco palos de guadua, pasando desde el suelo hasta el techo (Figura N° 1.19).



Figura N° 1.19 Perspectiva Interior de la Iglesia en el centro de Pereira

- **Peter Van Impe: Arquitecto Belga**

Esta vivienda está ubicada en un terreno estrecho y con pendiente, que se encuentra hacia el sur a la *Beukenlaan*, barrio que antiguamente parece haber sido una zona de recreación residencial, donde los belgas construían sus casas de veraneo. El proyecto reemplazó una antigua casa. En lugar de seguir la dirección de la calle, la casa cambia sutilmente la orientación de su fachada delantera a favor de la dirección del perímetro en la parte posterior

Al caminar por el sendero ligeramente inclinado a lo largo de la fachada hacia el acceso, uno se da cuenta de la longitud y la estrechez de la casa. La vivienda es de 26,3 m de largo por sólo 4,5 m y parece estar parcialmente enterrada en la pendiente del terreno. Su cubierta sigue la pendiente del sitio, reduciendo el volumen de la casa. El exterior está revestido con palos de bambú dispuestos verticalmente en marcos de acero, en combinación con el reflejo de los árboles circundantes en el vidrio, creando un efecto interesante.



Figura N° 1.20 Vista exterior de la vivienda que se encuentra hacia el sur a la *Beukenlaan*

- **Sun Wei: Arquitecto Chino**

Arquitecto chino que ha diseñado la “Casa de té de bambú”, situado en el jardín Shiqiao en Yangzhou, una ciudad al noroeste de Shanghai, este proyecto es una casa flotante con patio de bambú. El patio de bambú abarca los fundamentos tradicionales chinos del jardín mezclados con el medio ambiente natural. El

bambú está dispuesto vertical y horizontalmente para producir efectos de “profundidad” visual al caminar alrededor de ellos. Altas hileras de palos de bambú crean corredores al aire libre y se organizan de manera asimétrica en medio del lago (Figura N° 1.21 y 1.22).



Figura N° 1.21 Vista exterior de la “Casa de té de bambú”



Figura N° 1.22 Interior de la “Casa de té de bambú”

- **Rumah Asuh/Yori Antar: Arquitectos Indonesios**

Las chozas *Mbaru Niang*, tradicionales en la remota Isla de Flores en Indonesia, se ubican en *Wae Rebo*, un pueblo aislado, rodeado de selva y montañas densas, constituyen uno de los patrimonios culturales más importantes del

mundo. El año 2012, el proyecto de preservación de las estructuras ganó un premio de excelencia en la UNESCO Asia-Pacific Awards en la categoría de Conservación del Patrimonio Cultural. Actualmente, los esfuerzos de estos arquitectos han dado nuevos frutos al ser nombrados finalistas del Premio Aga Khan de Arquitectura, al rescatar los últimos cuatro ejemplares en la isla.



Figura N° 1.23 Vista exterior las chozas *Mbaru Niang*

- **Matteo Ascani: Arquitecto Italiano**

Este proyecto de viviendas sustentables busca recrear la sensación de vivir en una típica casa de Camboya -manteniendo sus tradiciones, pero en condiciones de vida saludable y segura. El diseño genera una experiencia que resulta de la flexibilidad espacial y un método simple de construcción



Figura N° 1.24 Vista exterior típica casa de Camboya

- **Benjamín García Saxe: Arquitecto Costarricense**

Construyó en Guanacaste, una de las provincias más extensas de Costa Rica, una vivienda denominada “Casa para una admiradora de la luna”, fue construida a partir de más de 4 mil piezas de bambú. El proyecto fue premiado en el World Architecture Festival 2010. Su objetivo fue hacer una vivienda sencilla con el fin de disfrutar de la luz de la luna por la noche (figura N° 1.25). La superficie de conos de bambú de la casa, se abre para permitir que el habitante mire hacia el cielo (Figura N° 1.26).

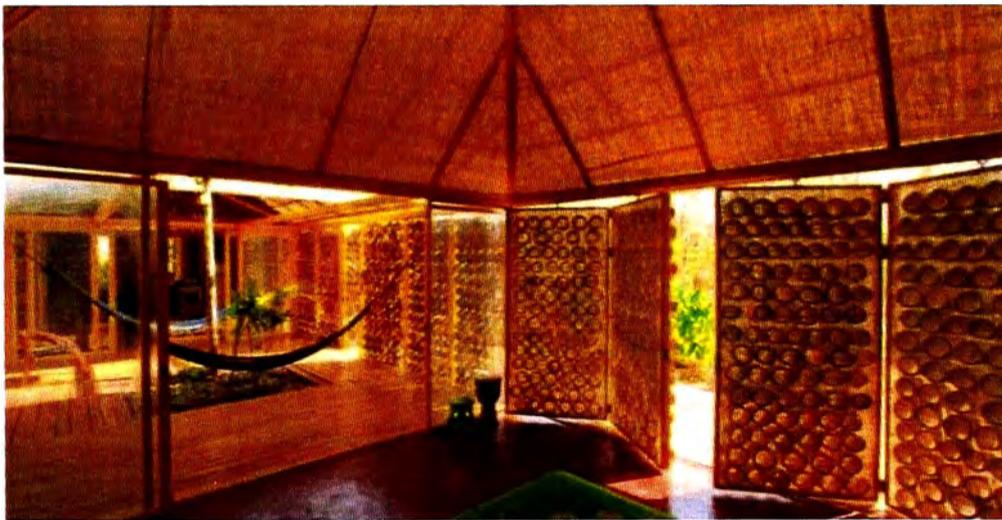


Figura N° 1.25 Vista interior de la vivienda “Casa para una admiradora de la luna”

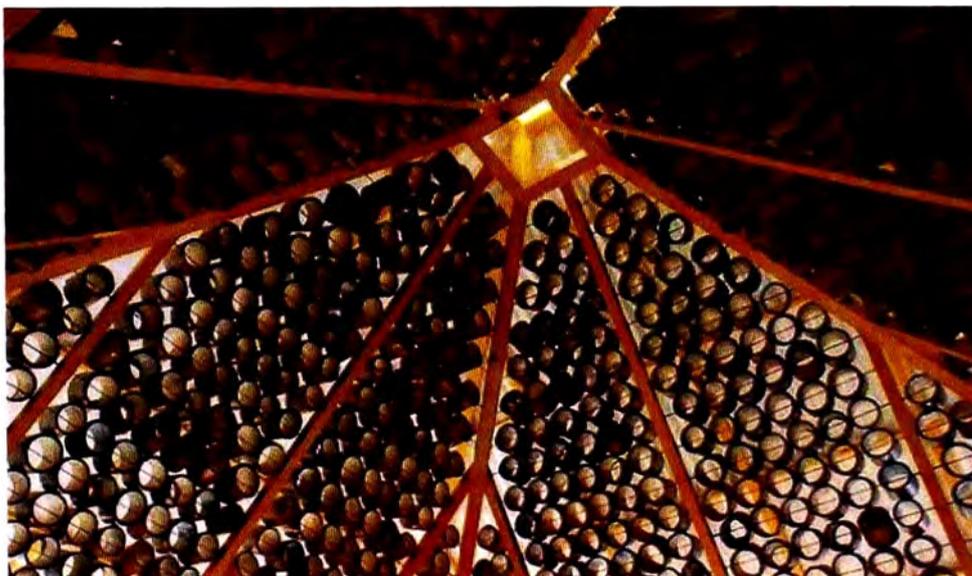


Figura N° 1.26 Vista interior del techo “Casa para una admiradora de la luna”

CAPÍTULO II : ENSAYOS PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS GENERALES DEL BAMBÚ.

2.1. CLASIFICACION DE MUESTRAS

2.1.1. Procedencia

Las cañas de bambú para los ensayos provienen (Figura N° 27)

Bosque : Aramango
Provincia : Bagua
Departamento : Amazonas

Con coordenadas UTM, como se detalla en la tabla N° 2.1

Tabla N° 2.1. Coordenadas UTM Bosque Aramango

Punto	Zona	Este	Norte
P1	17 M	782,334	9,402,085
P2	17 M	782,815	9,402,388
P3	17 M	782,644	9,402,242

Fuente Propia

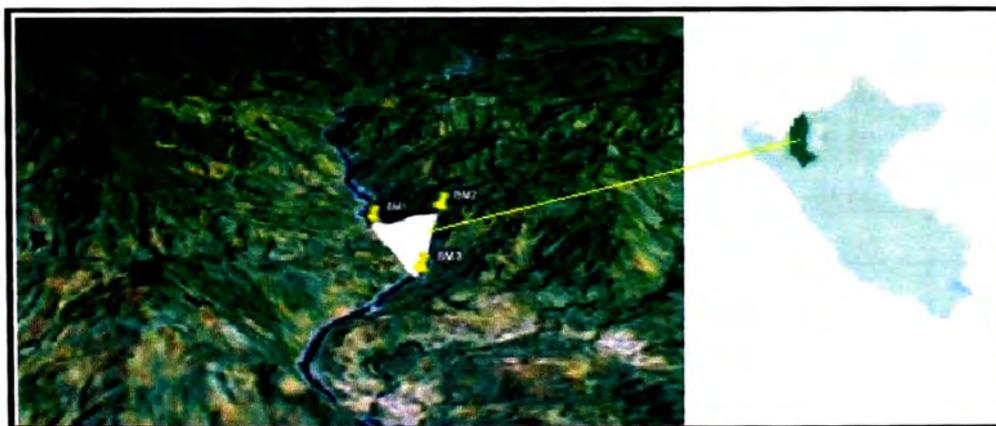


Figura N° 2.1 Ubicación satelital bosque Aramango

De una población de 50 guaduas se seleccionaron 30 guaduas teniendo en cuenta que el culmo sea lineal, sin rajaduras y sin presencia visual de ataques

de hongos o insectos, la edad promedio de las muestras a ensayar está entre los tres y cinco años.

2.1.2. Cuadro de dimensiones (Tabla N° 2.2)

Bosque Aramango

Tabla N° 2.2. Dimensiones iniciales

Item	Long. (m)	D.Inf. (cm)	D.Sup. (cm)	Item	Long. (m)	D.Inf. (cm)	D.Sup. (cm)
1	6.65	9.00	7.00	26	6.19	8.00	8.20
2	6.22	7.80	6.40	27	6.18	9.00	7.00
3	6.20	8.00	6.00	28	6.21	9.60	8.00
4	6.20	9.60	6.40	29	6.21	7.60	5.80
5	6.22	9.40	8.20	30	6.21	9.00	7.80
6	6.20	7.00	6.00	31	6.24	7.80	7.00
7	6.22	8.00	6.20	32	5.56	10.60	6.80
8	6.17	7.20	7.00	33	6.19	6.60	8.00
9	6.21	8.00	4.30	34	6.19	7.80	7.00
10	6.18	9.40	6.40	35	6.19	7.00	6.00
11	6.23	10.40	7.40	36	5.34	8.60	6.00
12	5.80	10.60	7.20	37	5.40	9.00	8.20
13	6.19	7.80	6.80	38	6.20	7.20	6.40
14	6.21	10.00	6.00	39	5.20	8.00	8.00
15	6.20	7.80	6.60	40	5.49	9.80	7.80
16	6.23	9.40	8.60	41	6.20	8.00	4.00
17	6.20	7.00	6.00	42	5.19	9.00	7.00
18	5.37	8.40	8.60	43	6.20	7.40	6.00
19	6.20	7.40	5.40	44	5.51	9.60	7.00
20	5.60	10.00	7.60	45	5.58	9.20	8.00
21	6.20	8.00	7.00	46	6.21	9.00	8.00
22	6.20	7.20	6.00	47	5.82	9.80	7.00
23	5.37	10.00	6.60	48	5.47	9.60	8.40
24	5.87	7.00	6.00				

Fuente Propia

2.1.3. Relación de normas vigentes

(The International Network on Bamboo and Rattan, INBAR), entidad que publicó las normas INBAR. STANDARD for DETERMINATION of PHYSICAL and MECHANICAL PROPERTIES of BAMBOO las cuales fueron analizadas en detalle para el desarrollo de este proyecto.

- Norma ISO 22156:2004 Bamboo - Structural Design.
- Norma ISO/22157-1:2004 Bamboo – Determination of Physical and Mechanical Properties - Part 1: Requirements.
- Norma ISO/22157-2:2004 Bamboo – Determination of Physical and Mechanical Properties – Part 2: Laboratory Manual.

2.2. Propiedades físicas

2.2.1 Metodología

Al ocuparse del estudio de la guadua como material para construcción, es importante ocuparse del estudio de los comportamientos físicos:

2.2.2 Ensayos

- Contenido de Humedad.
- Contracción.
- Densidad.

2.2.3 Muestreo

Las muestras fueron seleccionadas mediante los siguientes criterios:

- Elementos sin deterioro físico y/o descomposición (no picadas).
- Linealidad y diámetro uniforme.
- Cortes transversales para cada tipo de ensayo (físicas, mecánicas y uniones) (Anexo 5).

La distribución de muestras por ensayo se muestra en la Tabla 2.3

Tabla N° 2.3 Número de muestras por ensayo

Ensayos	N° Muestras
Ensayo de Propiedades Físicas	
Contenido de Humedad	125
Contracción	60
Densidad	30
Total	215

Fuente Propia

Se cortaron 215 probetas, como se muestra en la figura N° 1.28, distribuidas para los diferentes tipos de ensayos según la tabla N° 2.3, las cuales tuvieron una medida de 10cm cada una, para las propiedades físicas en la tabla N° 2.4 se presenta las dimensiones de las muestras para las propiedades físicas:

Tabla N° 2.4 Dimensiones de muestras para ensayos en Propiedades Físicas.

Ensayos	Longitud Probetas (cm)
Ensayo de Propiedades Físicas	
Contenido de Humedad	10
Contracción	10
Densidad	10

Fuente Propia

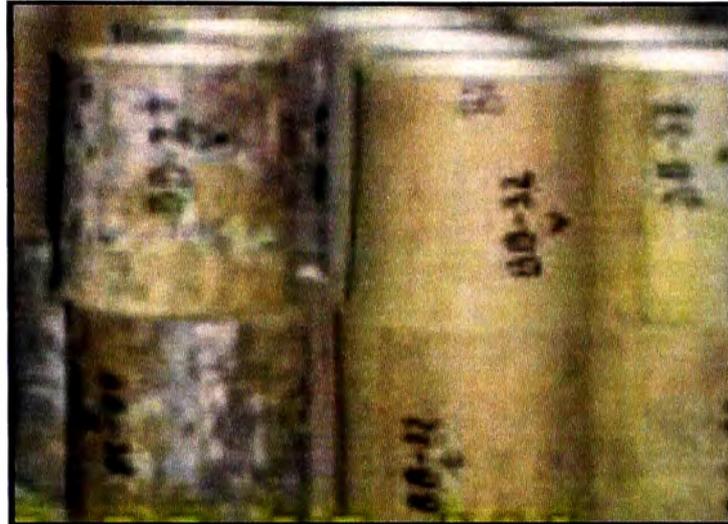


Figura N° 2.2 Probetas de 10 cm de altura para ensayos

2.2.4 Proceso de codificación

El proceso de codificación es muy importante para poder llevar a cabo todos los ensayos de una misma muestra; la codificación de las muestras se realizó con diferentes nomenclaturas de acuerdo al tipo de ensayo, las cuales se detallan a continuación:

BB: Por pertenecer a una primera característica visual (Bosque Aramango)

Referido a los ensayos de propiedades físicas:

- **Contenido de Humedad**

BB_{CH} - X; donde x varía de 1 a 51 según sea el caso.

Donde:

CH : Viene de la frase Contenido de Humedad

X : Número variable de acuerdo al número de guadua del ensayo

- **Contracción**

BB_{CT} - X; donde x varía de 1 a 51 según sea el caso.

Donde:

CT : viene de la palabra Contracción

X : Número variable de acuerdo al número de caña elegida.

- **Densidad**

BA DS - X; donde x varía de 1 a 51 según sea el caso.

Donde:

DS : viene de la palabra Densidad

X : Número variable de acuerdo al número de caña elegida.

En resumen se muestra las codificaciones de las probetas en la tabla N° 2.5 como se muestra a continuación:

Tabla N° 2.5 Denominación de muestras por ensayo.

Ensayos	Denominación
Ensayo de Propiedades Físicas	
Contenido de Humedad	CH-X
Contracción	CT-X
Densidad	DS-X

Fuente Propia

Para todas las probetas se tomaron los siguientes datos:

Altura: Se tomaron las medidas con un pie de rey, el cual arroja un margen de error de 0.01 cm. Se realizaron tres medidas de altura cada 120° alrededor de la superficie de la guadua.

Diámetro Externo: Se tomaron tres medidas a 120° una con respecto a la otra y en ambos extremos de la probeta. Se utilizó un calibrador “pie de rey” que da una aproximación en la lectura de 0.01 cm.

Espesor de la Pared: Este dato se obtuvo midiendo en ambas bases con un calibrador “pie de rey”. Se tomaron 3 medidas en ambos extremos de la probeta.

Diámetro Interno: Se tomaron tres medidas a 120° una con respecto a la otra y en ambos extremos de la probeta. Se utilizó un calibrador “pie de rey” que da una aproximación en la lectura de 0.01 cm.

2.2.5. Contenido de Humedad en Probetas de Guadua

2.2.5.1 Objeto

El ensayo determina el contenido de humedad de cada probeta de guadua, expresada en porcentaje, entre la masa de agua libre y la masa de las partículas sólidas de material.

2.2.5.2 Resumen del Método

Conocer el peso del material cuando está húmedo (espécimen de prueba) y el peso de la muestra seca al horno durante 24 horas a $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ aproximadamente. El contenido de humedad corresponde a un porcentaje del peso seco al horno.

2.2.5.3 Uso y Significado

El contenido de humedad es una de las propiedades índices más significativas, que se emplea para establecer una correlación entre el comportamiento de la guadua y sus propiedades mecánicas.

2.2.5.4 Equipos

-Horno eléctrico.

-Balanzas, con una precisión de 0.01 g.

-Equipo para asegurar la retención de humedad en las piezas de ensayo, por ejemplo, matraces vidrio esmerilado.

2.2.5.5 Muestras

Mantener las muestras en un lugar resguardado de la luz solar y del agua.

La determinación del contenido de humedad, deberá hacerse, cada vez que se tenga que realizar los diferentes ensayos.

2.2.5.6 Espécimen de Ensayo

Se tomarán las probetas ensayadas (cuando su longitud sea menor de 0.3 m) ó un segmento del culmo (cuando sea posible se cortarán cilindros de longitud igual a 7 cm.) que contenga parte del nudo y parte de las paredes del material.

2.2.5.7 Procedimiento

Después que el material se haya secado a peso constante (24 horas a 103 ± 2 °C), retirar la probeta del horno, permitir que el material disipe la energía calórica hasta que pueda ser manipulada sin riesgo, evitando que absorba humedad del ambiente y pésese el material.

Determinese el peso de la muestra seca al horno, usando la misma balanza que usó para determinar el peso húmedo, como se muestra en la figura N° 2.3.



Figura N° 2.3 Ensayo de contenido de humedad

2.2.5.8 Cálculos

Calcúlese el contenido de agua de la muestra así:

$$CH = \frac{m - m_0}{m_0} \times 100$$

Donde:

CH : Contenido de agua %

m : masa de pieza de ensayo antes del secado, g.

m₀ : masa de pieza de ensayo después del secado, g.

2.2.5.9 Informe

El informe debe incluir lo siguiente:

- Identificación de la muestra
- El contenido de humedad del espécimen, aproximado al 0.1%
- Indicación del método de secado si es diferente al de 24 horas en el horno a 110 °C.

2.2.6. Contracción

2.2.6.1 Alcance

Esta cláusula especifica un método para determinar la contracción de cañas completas de bambú.

2.2.6.2 Principio

La determinación de la contracción de una sección intermedia de la guadua, midiendo el diámetro exterior, grosor y altura de pared, antes y después del sacado.

2.2.6.3 Artefactos

-Pie de Rey

-Horno, controlado termostáticamente, preferiblemente del tipo de corriente de aire y que mantenga una temperatura uniforme en toda la cámara de secado.

-Balanzas, con una división de escala de ± 0.1 g para muestras que tengan un peso de 500 g o menos.

2.2.6.4 Preparación de Especímenes de Ensayo

Los especímenes deben prepararse con cañas de bambú completas, secciones intermedias, con una altura de 10 cm. En el caso de ensayos sobre compresión, cizallamiento y tensión, tomándose cerca al corte del espécimen ensayado; en el caso de ensayos de doblado, estos deben ser tomados lo más cerca posible a la ubicación de falla. En cada caso, estos deben ser libres de cualquier rompimiento inicial. Si los ensayos de contracción se efectúan independientemente de cualquier otro ensayo, los especímenes deben ser tomados de la sección más inferior de la caña.

2.2.6.5 Procedimientos

-La contracción deberá ser observada en el diámetro exterior D , en el grosor de la pared t y también en la longitud L del espécimen.

-Los especímenes son colocados en un horno a temperatura de aproximadamente $103 \pm 2^\circ\text{C}$, a fin de que los especímenes se encuentren completamente secos, luego de retirados los especímenes se tomarán las medidas finales.

2.2.6.6 Cálculo y Expresión de Resultados

La contracción de una condición inicial a la condición de secado, deberá ser calculado con la siguiente fórmula:

$$CT = \frac{I-F}{I} \times 100$$

Dónde:

I: es la lectura inicial;

F: es la lectura final;

Siendo cada uno de estos el valor de promedio para el diámetro, grosor y longitud de pared, con una exactitud al mm.más cercano.

2.2.6.7 Informe de Ensayo

El informe de ensayo debe contener las dimensiones iniciales y finales, una descripción de defectos desarrollados en el espécimen durante la contracción, y los resultados de los cálculos.

2.2.7. Densidad

2.2.7.1 Alcance

Esta cláusula especifica un método para determinar la masa por el volumen, para ensayos físicos y mecánicos. Para una comparación exacta entre los valores reportados, la masa básica por el volumen p es la más apropiada, para la determinación de qué masa de secado en horno y volumen verde deben ser usadas porque estos no cambiarán, independientemente de las condiciones de clima.

2.2.7.2 Principio

Determinación de la masa de la pieza de ensayo mediante el peso, y de su volumen por la medición de sus dimensiones o por otro método. Cálculo de la masa de un volumen de unidad del bambú.

2.2.7.3 Artefactos

- Instrumento de medida, capaz de determinar las dimensiones de las piezas de ensayo con una exactitud de 0,1 mm.
- Balanza, que pueda pesar a una exactitud de 0,01 g.
- Equipo, para la determinación del contenido de la humedad.

2.2.7.4 Preparación de Piezas de Ensayo

Las piezas de ensayo deben ser preparados como se especifica en 3.8.1.6 Para la determinación de masa por volumen, también se permite preparar la pieza de ensayo desde una sección transversal de una caña, siempre y cuando el volumen pueda ser medido con facilidad.

2.2.7.5 Procedimiento

Medir las dimensiones de las piezas de ensayo al más aproximado 0,1 mm, y calcular el volumen, o determinar el volumen mediante un método adecuado (por ejemplo inmersión) a una exactitud de 10 mm³. Realizar esto en la condición verde.

Realizar el pesado del espécimen inmediatamente después del secado.

Determinar la masa de las piezas del ensayo a una exactitud de 0,01 g.

2.2.7.6 Cálculo y Expresión de Resultados

La masa de secado al horno por volumen de cada pieza de ensayo es determinada por la siguiente fórmula:

$$\rho = \frac{m}{v} \times 10^6$$

Dónde:

- ρ : masa por volumen, en g/cm³,
- m : masa, en g, de la pieza de ensayo.
- v : volumen verde en cm³ del espécimen.

Expresar el resultado al g/cm³ más cercano.

2.2.7.7 Informe de ensayo

Este informe de ensayo debe estar de acuerdo con el ensayo de contenido de humedad

2.3. PROPIEDADES MECÁNICAS

2.3.1 Metodología

Al ocuparse del estudio de la guadua como material para construcción, es importante ocuparse del estudio de los comportamientos mecánicos:

2.3.2 Ensayos

- Compresión paralela a la fibra.
- Resistencia a la tracción paralela a la fibra de guadua.
- Resistencia al corte paralelo a la fibra de cilindros de guadua.
- Esfuerzo máximo a flexión de guadua

2.3.3 Colección de Muestras

La colección de muestras se llevó a cabo según se muestra en la tabla N° 2.6:

Tabla N° 2.6 Número de muestras por ensayo

Ensayos	N° Muestras
Ensayo de Propiedades Mecánicas	
Ensayo de Compresión	60
Ensayo de Tracción	30
Ensayo de Corte	30
Ensayo de Flexión Escala Real	30
Ensayo de Flexión Escala Reducida	30

Fuente Propia

En la tabla 2.7 se muestra el número de muestras por ensayo las que tuvieron diferentes longitudes de corte como se observa en la siguiente tabla:

Tabla N° 2.7 Dimensiones de muestras para ensayos en Propiedades Mecánicas.

Ensayos	Long. probetas (cm.)
Ensayo de Propiedades Mecánicas	
Ensayo de Compresión	10
Ensayo de Tracción	50
Ensayo de Corte	10
Ensayo de Flexión Escala Real	350
Ensayo de Flexión Escala Reducida	75

Fuente Propia

2.3.4. Proceso de Codificación

El proceso de codificación es muy importante para poder llevar a cabo todos los ensayos de una misma muestra; la codificación de las muestras se realizó con diferentes nomenclaturas de acuerdo al tipo de ensayo, las cuales se detallan a continuación:

BB: Por pertenecer a una primera característica visual (Bosque Aramango)

Referido a los ensayos de propiedades Mecánicas:

Ensayos de probetas de elementos individuales a compresión paralela a la fibra.

BB c₁ o 2- X_i; donde x varía de 1 a 51 según sea el caso.

Donde:

C : viene de la palabra compresión

C_{102} :Será número uno cuando sea de la parte baja del tallo, quiere decir el más cerca al rizoma y dos cuando sea de la parte alta del tallo, quiere decir el más cerca de la copa.

X :Número variable de acuerdo al número de caña elegida.

Ensayos de probetas de elementos individuales a tracción paralelas a la fibra.

BB_{T-X}; donde x varía de 1 a 51 según sea el caso.

Donde:

T :Viene de la palabra tracción

X :Número variable de acuerdo al número de caña elegida.

Ensayos de probetas de elementos individuales de corte paralelo a la fibra.

BB_{V-X}; donde x varía de 1 a 51 según sea el caso.

Donde:

V :Viene de la denominación que se utiliza en los diagramas de fuerza cortantes.

X :Número variable de acuerdo al número de caña elegida.

Ensayos de probetas de elementos individuales a FLEXIÓN ESCALA REAL

BB_{FLX SR - X}; donde x varía de 1 a 51 según sea el caso

Donde:

FLX SR: Viene de la frase flexión escala real.

X :Número variable de acuerdo al número de caña elegida

Ensayos de probetas de elementos individuales a FLEXIÓN ESCALA REDUCIDA.

$BB_{FLX Sr-X}$; donde x varía de 1 a 51 según sea el caso.

Donde:

FLX Sr: Viene de la frase flexión escala reducida.

X : Número variable de acuerdo al número de caña elegida

En resumen se muestra las denominaciones de las probetas en la tabla N° 2.8 como se muestra a continuación:

Tabla N° 2.8 Denominación de muestras por ensayo.

Ensayos	Denominación
Ensayo de Propiedades Mecánicas	
Ensayo de Compresión	$BB_{C1 o 2 - X}$
Ensayo de Tracción	BB_T
Ensayo de Corte	BB_v
Ensayo de Flexión Escala Real	$BB_{FLX SR-X}$
Ensayo de Flexión Escala Reducida	$BB_{FLX Sr-X}$

Fuente Propia

Para todas las probetas se tomaron los siguientes datos:

Altura: Se tomaron las medidas con un pie de rey, el cual arroja un margen de error de 0.01 cm. Se realizaron tres medidas de altura cada 120° alrededor de la superficie de la guadua.

Diámetro Externo: Se tomaron tres medidas a 120° una con respecto a la otra y en ambos extremos de la probeta. Se utilizó un calibrador “pie de rey” que da una aproximación en la lectura de 0.01 cm.

Espesor de la Pared: Este dato se obtuvo midiendo en ambas bases con un calibrador “pie de rey”. Se tomaron 3 medidas en ambos extremos de la probeta.

Diámetro Interno: Se tomaron tres medidas a 120° una con respecto a la otra y en ambos extremos de la probeta. Se utilizó un calibrador “pie de rey” que da una aproximación en la lectura de 0.01 cm.

2.3.5. Ensayo de Compresión Paralela a la Fibra de Cilindros de Guadua

2.3.5.1 Objeto

Este ensayo determina la resistencia a la compresión de especímenes de guadua y su módulo de elasticidad.

El ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a los especímenes a una velocidad de carga prescrita, hasta que se presente la falla. La resistencia a la compresión del espécimen se determina dividiendo la carga aplicada durante el ensayo entre la sección transversal del espécimen. El módulo de elasticidad se halla determinando la pendiente de la curva esfuerzo-deformación unitaria del material.

2.3.5.2 Uso y Significado

Los resultados de este ensayo pueden usarse como dato de resistencia última (máximo esfuerzo de compresión) a la compresión de la guadua para el diseño de estructuras.

2.3.5.3 Aparatos

-Pie de Rey para medición.

Los ensayos deben realizarse en una máquina de ensayo adecuada. Por lo menos una plancha de la máquina de ensayo debe estar equipada con un soporte hemisférico para obtener la distribución uniforme de la carga sobre los extremos del espécimen. Entre las planchas de acero de la máquina y en los extremos del espécimen se debe aplicar una capa intermedia para reducir la fricción a un mínimo.

Velocidad de Carga. Aplíquese la carga continuamente sin golpes bruscos. Para Las máquinas de ensayo del tipo tornillo, la cabeza móvil debe avanzar a una velocidad de 0,01 mm/s cuando la máquina está operando sin transmitir carga.

Para las máquinas hidráulicamente operadas la carga debe aplicarse a una velocidad correspondiente a una tasa de aplicación de carga comprendida en el rango de 0.14 a 0.34 MPa/s (20 a 50 Psi/s). La velocidad escogida se debe mantener al menos durante la segunda mitad del ciclo de ensayo, para la fase de carga prevista.

Durante la aplicación de la primera mitad de la fase de carga prevista, se permite una velocidad de carga mayor.

Aplíquese la carga hasta que la muestra falle y regístrese la carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo. Anótense el valor de la carga de falla, el tipo de falla y la apariencia de la probeta.

La máquina debe operar mecánicamente y aplicar la carga de una manera continua y no en forma intermitente, y sin choques.

División de escala.- La división de escala de la máquina de ensayo, determinada con un elemento de calibración elástico, debe cumplir con los siguientes requisitos:

El porcentaje de error de las cargas dentro del rango propuesto para la máquina, no excederá del $\pm 1.0\%$ de la carga indicada.

La máquina de ensayo debe estar equipada con dos bloques de carga, de acero con caras endurecidas, uno de los cuales es un bloque con rótula el cual descansa sobre la superficie superior de la muestra para obtener una distribución uniforme de carga, y el otro un bloque sólido sobre el cual se colocará el espécimen.

Las superficies de los bloques que están en contacto con el espécimen deben tener una dimensión al menos 3% mayor que el diámetro del espécimen ensayado. El bloque inferior de carga debe cumplir los siguientes requisitos:

Las superficies superiores e inferiores deben ser paralelas una a la otra. El bloque debe poder asegurarse a la platina de la máquina de ensayo.

El bloque de carga inferior debe tener al menos 25 mm (1") de espesor cuando sea nuevo.

Nota: Si la máquina de ensayo está diseñada de tal forma que la misma plataforma pueda mantenerse con su superficie en las condiciones especificadas, no se requerirá un bloque inferior.

El bloque de carga con rótula debe cumplir los siguientes requisitos:

- El centro de la rótula debe coincidir con el de la superficie de la cara de carga dentro de una tolerancia de $\pm 5\%$ del radio de la rótula.
- La rótula debe ser diseñada de tal forma que el acero en el área de contacto no sufra deformaciones permanentes debido al uso.
- Las superficies de la rótula deben mantenerse limpias y lubricadas con aceite mineral, convencional. Después de entrar en contacto con el espécimen y de aplicar una pequeña carga inicial, debe evitarse cualquier movimiento adicional del bloque con rótula.
- La porción móvil del bloque de carga debe sostenerse lo más segura que sea posible, pero el diseño debe ser tal que la cara de carga pueda girar libremente e inclinarse al menos 4° en cualquier dirección.

2.3.5.4 Muestras

Preparación de especímenes de la prueba.

Los especímenes se codifican, se deben limpiar de líquenes, musgos y sólidos adheridos al material, sin disminuir la capa exterior de la guadua y no deberán tener defectos como grietas por secado, perforaciones por ataque biológico, hongos, etc.

La prueba de compresión paralela al eje se hará con probetas de 10 cm de diámetro exterior.

Los planos de las caras extremas serán llanos y paralelos. No diferir los planos horizontales en más de 3° .

Se deben descartar las probetas que desarrollen grietas en el proceso de cortado de la guadua.

El diámetro usado para calcular el área de la sección transversal de la muestra debe determinarse con una división de escala de 0.1 mm, promediando tres diámetros a su alrededor.

2.3.5.5 Procedimiento

Colocación de anillos de apoyo para el deformímetro mecánico. Antes de colocar la muestra en la máquina de compresión se debe seleccionar el anillo de apoyo para el deformímetro, el cual debe ser el más apropiado para cada espécimen; una vez seleccionado el juego de anillos se procede a colocar la probeta en una superficie plana y nivelada (figura N° 2.4).

Colocación de la muestra. Si la máquina lo requiere, colóquese el bloque de carga inferior sobre la plataforma de la máquina de ensayo directamente debajo del bloque superior. Límpiense con un paño las superficies de los bloques superiores e inferiores.

Ninguna de las muestras ensayadas a compresión debe separarse de la perpendicularidad del eje en más de 0.5° (equivalentes a 3 mm en 300 mm aproximadamente).

Cuídese que el eje del espécimen quede alineado con el centro del bloque superior. El bloque con rótula debe rotarse inmediatamente antes de proceder al ensayo, para asegurar la libertad de movimiento requerida.

La carga se aplicará continuamente durante la prueba para encausar la cabeza móvil de la máquina, para viajar a una velocidad constante de 0.01 mm por segundo.

Lecturas de deformación. Las lecturas del deformímetro se leerán para incrementos de carga constantes de 500 Kg. (cuando sea posible, en su defecto se debe indicar el proceso de toma de datos) para trazar con suficiente exactitud el diagrama **esfuerzo-deformación**.

Se toma la lectura final de la carga máxima, en la cual el espécimen falla.

Tomar los especímenes para determinación de contenido de humedad.



Figura N° 2.4 Ensayo de Compresión

2.3.5.6 Cálculos y Resultados

El esfuerzo máximo de compresión se determinará siguiendo la fórmula:

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

Donde:

- σ_{ult} : Es la resistencia a la compresión paralela a la fibra en MPa.
- F_{ult} : Carga máxima en la cual la pieza falla, en N.
- A : Área seccional transversal media de sección de calibración, en mm^2

Para la determinación del módulo de Elasticidad, se define sobre la curva Esfuerzo vs. Deformación unitaria, aquellos puntos que reflejan proporcionalidad y sobre los cuales se ajusta por regresión lineal una recta; posteriormente se calcula la pendiente que será igual al módulo de elasticidad en cada probeta. El esfuerzo máximo para determinar el límite de proporcionalidad debe tomarse igual al 55% del esfuerzo último.

2.3.5.7 Informe

El informe de los resultados debe incluir:

Número de identificación.

Área de la sección transversal (cm² o pulgada²).

Carga máxima (KN).

Esfuerzo máximo a la compresión (MPa).

2.3.6. Ensayo de tracción paralela a la fibra de la guadua

2.3.6.1 Objeto

Este ensayo permite determinar la resistencia a la tracción paralela a la fibra de láminas de guadua.

El ensayo consiste en aplicar unas cargas axiales a tracción a una velocidad de carga constante hasta que se presente la falla. La resistencia a tracción del espécimen se determina al dividir la carga máxima aplicada entre el área del elemento y, con las cargas últimas los esfuerzos últimos a tracción.

2.3.6.2 Uso y Significado

Los resultados de este ensayo pueden ser usados como dato de esfuerzo máximo a tracción paralela a la fibra de la guadua para el diseño de estructuras.

2.3.6.3 Aparatos

Las agarraderas de la máquina de tensión deben garantizar que la carga sea aplicada en todo el eje longitudinal del espécimen, para evitar la torsión longitudinal. Las agarraderas deben presionar la pieza de ensayo perpendicularmente a las fibras y en dirección radial

La carga debe ser aplicada continuamente durante todo el ensayo a una capacidad de movimiento del cabezal transversal de 0,01 mm/s. la carga debe ser medida a 1%

Las dimensiones transversales seccionales de la sección de calibración de la pieza de ensayo deben ser medidas con una precisión de 0,1 mm.

2.3.6.4 Muestras

Preparación de especímenes de la prueba.

Los especímenes se codifican, se deben limpiar de líquenes, musgos y sólidos adheridos al material, sin disminuir la capa exterior de la guadua y no deberán tener defectos como grietas por secado, perforaciones por ataque biológico, hongos, etc.

Se deben eliminar las probetas que desarrollen grietas en el proceso de corte.

Debe prevenirse la pérdida de humedad antes de realizar el ensayo.

Las dimensiones empleadas para calcular el área de la sección transversal de la muestra deben determinarse con una división de escala de 0.1 mm, promediando tres espesores y anchos medidos en diferentes secciones de la probeta.

La longitud debe medirse con una aproximación de 0.1 mm

2.3.6.5 Procedimiento

Colocación de mordazas. Debe ser una mordaza plana con textura y nivel de rugosidad específica para evitar deslizamientos de las probetas.

La lectura de la carga máxima, para la cual el espécimen falla, se anotará, como se muestra en la Figura N° 2.5.

Toma de muestras para determinación de contenido de humedad.



Figura N° 2.5 Ensayo de tracción

2.3.6.6 Cálculos y Resultados

La resistencia última a tracción se determinará siguiendo la fórmula:

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

Donde:

σ_{ult} : Resistencia a la compresión paralela a la fibra en MPa.

F_{ult} : Carga máxima en la cual la pieza falla, en N.

A : Área seccional transversal media de sección de calibración, en mm^2

El Módulo de Elasticidad, se calcula como la pendiente de la curva Esfuerzo vs. Deformación unitaria determinada entre los valores de carga $0.2 F_{ult}$ y $0.8 F_{ult}$.

2.3.6.7 Informe

El informe de los resultados debe incluir:

Número de identificación.

Dimensiones de la sección transversal (mm).

Área de la sección transversal (cm^2 o pulgada^2).

Carga máxima (KN).

Resistencia a la tracción (MPa).

Descripción del tipo de falla.

2.3.7. Ensayo de corte paralelo a la fibra de especímenes de guadua

2.3.7.1 Objeto

Este ensayo permite determinar la resistencia al corte de especímenes de guadua.

El ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a los especímenes de guadua, a una velocidad de carga constante hasta que se presente la falla. La resistencia al corte del espécimen se determina dividiendo la carga aplicada durante el ensayo por el área de la sección longitudinal del espécimen.

2.3.7.2 Uso y Significado

El valor promedio encontrado en este ensayo, puede usarse como la resistencia última al corte (esfuerzo cortante último).

2.3.7.3 Aparatos

-Máquina de Ensayo. La máquina de ensayo deberá tener una capacidad de carga de 20 toneladas y debe incrementarse la velocidad de manera constante.

-Velocidad de Carga. Aplíquese la carga continuamente, sin golpes bruscos. Para las máquinas de ensayo del tipo tornillo, la cabeza móvil debe avanzar a una velocidad de 0,01 mm/s cuando la máquina está operando sin transmitir carga. Para las máquinas hidráulicas, la carga debe aplicarse a una velocidad correspondiente a una tasa de aplicación de carga comprendida en el rango de 0.14 a 0.34 MPa/s (20 a 50 Psi/s). La velocidad escogida se debe mantener al menos durante la segunda mitad del ciclo de ensayo, para la fase de carga prevista.

Durante la aplicación de la primera mitad de la fase de carga prevista, se permite una velocidad de carga mayor.

Aplíquese la carga hasta que la muestra falle y regístrese la carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo. Anótense el tipo de falla y la apariencia de la misma.

La máquina debe operar mecánicamente y aplicar la carga de una manera continua y no en forma intermitente, y sin choques.

División de escala.- La división de escala de la máquina de ensayo, determinada con un elemento de calibración elástico, debe cumplir con los siguientes requisitos:

El porcentaje de error de las cargas dentro del rango propuesto para la máquina, no excederá del $\pm 1.0\%$ de la carga indicada.

Los planos de las caras extremas serán llanos y paralelos. No deben diferir los planos horizontales en más de 3° .

La máquina de ensayo debe estar equipada con dos bloques de carga de acero caras endurecidas, sobre la superficie superior lleva un bloque con rótula para obtener una mejor distribución de carga, y en el otro un bloque sólido.

El bloque inferior de carga debe cumplir los siguientes requisitos:

Las superficies superiores e inferiores deben ser paralelas (tolerancia de 3°) una a la otra. El bloque debe poder asegurarse a la platina de la máquina de ensayo.

El bloque de carga inferior debe tener al menos 25 mm (1") de espesor cuando sea nuevo.

El dispositivo de ensayo debe cumplir los siguientes requisitos:

El centro del dispositivo debe coincidir con el de la superficie de la cara de carga dentro de una tolerancia de $\pm 5\%$ del radio de la rótula.

El dispositivo de ensayo debe ser diseñado de tal forma que el acero en el área de contacto no sufra deformaciones. Las superficies de la rótula deben mantenerse limpias y lubricadas. Después de entrar en contacto con el dispositivo y al aplicar una pequeña carga inicial, debe evitarse cualquier movimiento adicional del bloque con rótula.

Indicador de Carga. La escala graduada del dial debe ser tal, que permita leer con una división de escala del 1% de la carga total de la escala. La escala debe tener una línea y un número que indique el cero (0). El puntero debe tener una longitud tal, que alcance las marcas indicadoras. El espesor del extremo del puntero no debe exceder la distancia libre entre las graduaciones más pequeñas. Cada dial debe estar equipado con un dispositivo de ajuste al cero, accesible desde afuera, y con un indicador apropiado para que en todo momento y hasta cuando sea reiniciado, indique con una exactitud del 1%, la carga máxima aplicada al espécimen.

Si la máquina de ensayos indica la carga en forma digital, el número debe ser suficientemente grande para que sea legible, con un incremento numérico igual o menor al 0.05% de la carga total de la escala y dentro del 1.0% de la carga indicada en cualquier nivel dentro del rango de valores de carga dados.

Dispositivos de ensayos para corte(ver anexo)

2.3.7.4 Muestras

Preparación de especímenes de la prueba.

Estos especímenes se marcarán con las letras correspondientes a la sección proceso de codificación respectivamente y no deberán tener defectos, como grietas por secado, perforaciones por ataque biológico, hongos.

La prueba de corte paralelo a la fibra se hará con cilindros sin y con nudo en su altura media, y se tomará especímenes de longitud igual a 10 cm.

Las probetas se deben limpiar de líquenes, musgos y sólidos adheridos al material, sin disminuir la capa exterior de la guadua.

Los planos de las caras extremas serán llanos y paralelos. Se deben eliminar las probetas que desarrollen grietas en el proceso de corte.

Debe prevenirse la pérdida de humedad antes de realizar el ensayo.

El diámetro usado para calcular el área de la sección transversal de la muestra debe determinarse con una división de escala de 0.1 mm promediando tres diámetros medidos cada 120° alrededor de la superficie de la guadua.

.La longitud debe medirse con una aproximación de 0.1 mm.

2.3.7.5 Procedimiento

Colocación de dispositivos de ensayo. Antes de colocar la muestra en la máquina se debe colocar la parte inferior en la rótula de la máquina, teniendo en cuenta que debe quedar centrada. Se procede a colocar la probeta y encima de esta la parte faltante del dispositivo.

Se medirán cargas últimas para cada una de las probetas a ensayar.

Colocación de la Muestra. Cuidar que el eje del espécimen quede alineado con el centro del dispositivo de ensayo. El bloque con rótula debe rotarse inmediatamente antes de proceder al ensayo, para asegurar la libertad de movimiento requerida.

La carga se aplicará continuamente durante la prueba para encausar la cabeza móvil de la máquina, para viajar a una velocidad constante de 0.01 mm por segundo

Lecturas de carga. Sólo se leerán y anotarán cargas últimas y la forma en que falla, como se muestra en la Figura N° 2.6.



Figura N° 2.6 Ensayo de Corte

2.3.7.6 Cálculos y Resultados

El esfuerzo máximo a corte paralelo a la fibra se determinará:

$$\tau_{ult} = \frac{F_{ult}}{\Sigma(txL)} \text{ en MPa}$$

Donde

τ_{ult} : Esfuerzo a corte, con una aproximación de 0.1 MPa

F_{ult} : Carga máxima a la cual el espécimen falla, en N.

$\Sigma(t x L)$: Es la sumatoria del producto t x L.

t : Espesor promedio de la probeta (cm)

L : Longitud de la probeta (cm)

2.3.7.7 Informe

El informe de los resultados debe incluir:

Número de identificación.

Diámetro y longitud (mm o pulgada).

Área de la sección transversal (cm² o pulgada²).

Carga máxima (KN).

2.3.8. Esfuerzo máximo a flexión en escala real

2.3.8.1 Objeto

Este ensayo permite determinar la resistencia a la flexión de especímenes de guadua y su módulo de elasticidad.

El ensayo consiste en aplicar unas cargas puntuales a una distancia aproximada a los L/3 (donde se encuentre un nudo), a una velocidad de carga constante hasta que se presente la falla. La resistencia a flexión del espécimen se determina al encontrar el momento máximo generado para cada aplicación de carga, y con las cargas máximas los esfuerzos últimos a flexión. El módulo de elasticidad se obtiene de forma indirecta a partir de los ensayos de flexión elástica.

2.3.8.2 Uso y Significado

Los resultados de este ensayo pueden ser usados dependiendo el tipo de falla. Si la falla es debida al corte, entonces se pueden usar los datos de esfuerzo máximo cortante. Si la falla es debida a la flexión, los datos a utilizar son los de esfuerzo máximo a flexión

2.3.8.3 Aparatos

-Un calibrador con capacidad de medir las dimensiones físicas de la probeta con aproximación de 0.1 mm.

-Máquina de Ensayo: La máquina de ensayo deberá tener una capacidad de carga de 20 toneladas o más y debe reunir las condiciones de velocidad expuesta en el siguiente numeral.

Aplicase la carga cada 50 Kg. para obtener una cantidad suficiente de datos de deflexiones para graficar.

Aplicase la carga hasta que la muestra falle y regístrese la carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo. Anótense el tipo de falla y la apariencia de la probeta.

La deflexión se mide en el centro de la luz. El deformímetro se coloca sobre su soporte apoyado en el cabezal inferior de la máquina y garantizando que el vástago del deformímetro que en contacto con la parte inferior de la probeta, de tal forma que mida únicamente deflexiones verticales.

La máquina debe operar mecánicamente y aplicar la carga de una manera continua y no en forma intermitente, y sin choques.

2.3.8.4 Procedimiento

Determinar el valor promedio del diámetro exterior D y el grosor de la pared t para poder calcular el segundo momento del área:

$$I_b = \frac{\pi}{D^4 - (D - 2R)^4}$$

Nota: el Valor de I_b es empleado para predecir el comportamiento durante el ensayo

Poner el espécimen en los dos apoyos de la máquina de doblado, reposando sobre los dispositivos de apoyo permitiendo que el espécimen encuentre su flexión natural con los dos transmisores de carga y los soportes visualmente en un plano vertical.

La velocidad de ensayo, preferiblemente a una capacidad constante de carga debe ser 0,5 mm/s. La carga máxima deberá ser determinada con una precisión de 1% a la carga más cerca. Observar las rajaduras y describir la forma de la falla.

Plotear un diagrama de **flexión de carga**.

Luego del ensayo, determinar el diámetro d y el grosor de la pared t nuevamente, lo más próximo posible a los puntos de carga. El promedio de los diámetros y los grosores de la pared debe ser empleado para calcular el segundo momento de área I , como se muestra en la Figura N° 2.7.



Figura N° 2.7 Ensayo de flexión de especímenes de 3 m

2.3.8.5 Cálculos y Expresión de Resultados

La resistencia principal σ_{ult} , en MPa (o N/mm²), en doblado estático con el contenido de humedad en el momento en que el ensayo es determinado por la fórmula

$$\sigma_{ult} = \frac{FxLx\frac{D}{2}}{\frac{I_b}{6}}$$

Donde:

F : Es la máxima carga aplicada en N

L : Es el tramo libre en mm

D : Es el diámetro exterior en mm

I_b : Es el segundo momento de área en mm⁴

Expresa el resultado con una precisión de 1 MPa (o N/mm²)

Los módulos de elasticidad (módulos de Young) son determinados por la inclinación de una parte lineal del diagrama de deformación de carga.

2.3.9. Esfuerzo Máximo a Flexión en Escala Reducida

2.3.9.1 Objeto

Este ensayo permite determinar la resistencia a la flexión de especímenes de guadua y su módulo de elasticidad.

El ensayo consiste en aplicar unas cargas puntuales a una distancia aproximada a los $L/3$ (donde se encuentre un nudo), a una velocidad de carga constante hasta que se presente la falla. La resistencia a flexión del espécimen se determina al encontrar el momento máximo generado para cada aplicación de carga y con las cargas últimas, los esfuerzos últimos a flexión. El módulo de elasticidad se obtiene de forma indirecta a partir de los ensayos de flexión elástica.

2.3.9.2 Uso y Significado

Los resultados de este ensayo pueden ser usados dependiendo el tipo de falla. Si la falla es debida al corte, entonces se pueden usar los datos de esfuerzo máximo a cortante. Si la falla es debida a la flexión los datos a utilizar son los de esfuerzo máximo a flexión. Si se presenta la falla por flexión entonces estos datos no pueden ser usados

2.3.9.3 Aparatos

-Un calibrador con capacidad de medir las dimensiones físicas de la probeta con aproximación de 0.1 mm.

-Máquina de Ensayo: La máquina de ensayo deberá tener una capacidad de carga de 20 toneladas o más y debe reunir las condiciones de velocidad expuesta en el siguiente numeral.

Aplicarse la carga cada 50 Kg. para obtener una cantidad suficiente de datos de deflexiones para graficar.

Aplíquese la carga a la velocidad constante hasta que la muestra falle y regístrese la carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo. Anótese el tipo de falla y la apariencia de la probeta.

La deflexión se mide en el centro de la luz. El deformímetro se coloca sobre su soporte apoyado en el cabezal inferior de la máquina y garantizando que el vástago del deformímetro quede en contacto con la parte inferior de la probeta, de tal forma que mida únicamente deflexiones verticales.

La máquina debe operar mecánicamente y aplicar la carga de una manera continua y no en forma intermitente, y sin choques.

2.3.9.4 Procedimiento

Determinar el valor promedio del diámetro exterior D y el grosor de la pared t para poder calcular el segundo momento del área:

$$I_b = \frac{\pi}{D^4 - (D - 2R)^4}$$

Nota: el Valor de I_b es empleado para predecir el comportamiento durante el ensayo

Poner el espécimen en los dos apoyos de la máquina de doblado, reposando sobre los dispositivos de apoyo permitiendo que el espécimen encuentre su flexión natural con los dos transmisores de carga y los soportes visualmente en un plano vertical.

La carga de la caña debe ser realizada uniformemente a una velocidad constante. La velocidad de ensayo (preferiblemente a una capacidad constante de carga debe ser 0,5 mm/s. La carga máxima deberá ser determinada con una precisión de 1% a la carga más cerca y la deflexión al n_{10} más cercano. Observar las rajaduras y describir la forma de la falla.

Plotear un diagrama de deflexión de carga.

Luego del ensayo, determinar el diámetro d y el grosor de la pared t nuevamente, lo más próximo posible a los puntos de carga. El promedio de los diámetros y los grosores de la pared para calcular el segundo momento de área I_b , (Figura N° 2.8).



Figura N° 2.8 Ensayo de flexión a escala pequeña

2.3.9.5 Cálculos y Expresión de Resultados

La resistencia principal σ_{ult} , en MPa (o N/mm²), en doblado estático con el contenido de humedad en el momento en que el ensayo es determinado por la fórmula:

$$\sigma_{ult} = \frac{F x L x \frac{D}{2}}{\frac{I_b}{6}}$$

Donde:

F : Es la máxima carga aplicada en N (la carga total aplicada a los dos puntos de carga)

L : Es el tramo libre en mm

D : Es el diámetro exterior en mm

I_b : Es el segundo momento de área en mm^4

Expresa el resultado a una precisión de 1 MPa o N/mm^2

Los módulos de elasticidad (módulos de Young) son determinados por la inclinación de una parte lineal del diagrama de deformación de carga.

CAPITULO III: UNIONES ESTRUCTURALES HORIZONTALES, PERPENDICULARES Y DIAGONALES

3.1 OBJETO

Este ensayo permite determinar la resistencia de las uniones estructurales ejerciéndoles una fuerza paralela a la fibra de guadua.

El ensayo consiste en aplicar unas cargas axiales a tracción a una velocidad de carga prescrita hasta que se presente la falla. La resistencia del espécimen se determinó por medio de la **MAQUINA UNIVERSAL AMSLER TESTING MACHINE** al alcanzar la carga máxima aplicada entre los elementos.

3.2 USO Y SIGNIFICADO

Los resultados de este ensayo pueden ser usados como valores referenciales de resistencia en uniones con pernos de la guadua para el diseño de estructuras.

3.3 APARATOS

Un calibrador con capacidad de medir las dimensiones físicas de la probeta con aproximación de 0.1 mm.

Mordazas que no permitan el deslizamiento de la lámina de guadua.

Máquina de Ensayo: La máquina de ensayo deberá tener una capacidad de carga de 20 toneladas o más y debe reunir las condiciones de velocidad expuesta en el siguiente numeral.

Aplíquese la carga hasta que la muestra falle y regístrese la carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo. Anótense el tipo de falla y la apariencia de la probeta.

La máquina debe operar mecánicamente y aplicar la carga de una manera continua y no en forma intermitente, y sin choques.

Extractores mecánicos (figura N° 35)

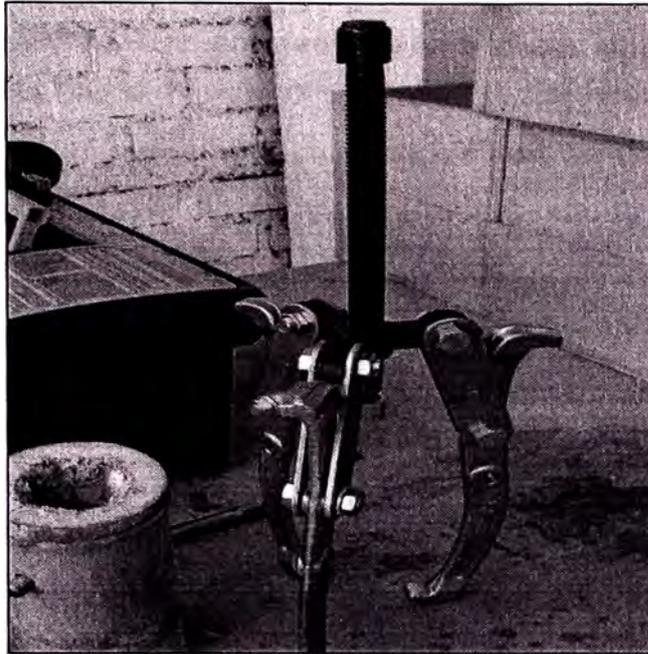


Figura N° 35 Extractor mecánico

3.4 PREPARACIÓN DE PROPUESTAS DE ENSAYO

El objetivo de la propuesta es una unión que puede transmitir un máximo de fuerza, que es relativamente liviano, que tiene un alto nivel de prefabricación y que finalmente permite el montaje y desmontaje rápido y fácil para estructuras temporales.

3.5 MUESTRAS

Unión Colineal

La unión consiste en tres elementos. Dos tubos de bambú de 10 cm de diámetro aproximadamente y 20 cm de largo, el tercer elemento es una pieza de madera la cual actúa como tarugo. Para este tipo de unión se preparó los especímenes con dos tipos de madera (capirona y eucalipto). Las fuerzas axiales se transmiten a través de ganchos especialmente fabricados para este ensayo

Además de utilizar la madera, estas serán sujetas con el bambú en forma colineal con pernos transversales de Φ 3/8" y Φ 1/2" de diámetro

Entre los especímenes se fijan arandelas para que el extractor no las dañe.

Todos estos elementos se especifican en el anexo N° 5.

Su fácil montaje y desmontaje convierte este sistema apto para arquitectura temporal.

Unión Perpendicular

La unión consiste de cuatro elementos. Un tubo de bambú de 10 cm de diámetro aproximadamente y 20 cm de largo, el segundo elemento es la base conformada de un tubo de bambú que contiene un entre nodo por lo menos, el tercer elemento es un una varilla de acero de 3/8" que termina en forma de gancho en sus extremos, el cuarto elemento es el mortero (proporción 1:3) que será introducido en los tubos de bambú. Además, de utilizar concreto y las varillas de acero con ganchos, estas serán sujetas con el bambú en forma perpendicular con pernos de 3/8" de diámetro.

Todos estos elementos se presentan en el anexo 6

Su fácil montaje y desmontaje convierte este sistema apto para arquitectura temporal.

Unión Diagonal

La unión consiste en cuatro elementos. Un tubo de bambú de 10 cm de diámetro Aproximadamente y 20 cm de largo, el segundo elemento es la base conformada de un tubo de bambú que contiene un entre nodo por lo menos, el tercer elemento es un una varilla de acero de 3/8" que termina en forma de gancho en sus extremos, el cuarto elemento es el mortero (proporción 1:3) que será introducido en los tubos de bambú.

Además, de utilizar concreto y las varillas de acero con ganchos, estas serán sujetas con el bambú en forma diagonal formando un ángulo de 45° con pernos de 3/8" de diámetro.

Todos estos elementos presentados se pueden mostrar en el anexo de planos.

Su fácil montaje y desmontaje convierte este sistema apto para arquitectura temporal.

3.6. ENSAYO EN UNIONES COLINEALES

Propuesta Primera:

Uso de madera capirona – pernos transversales de ϕ 3/8 de pulgada (uno a cada extremo)

La experiencia realizada con uniones colineales fue utilizando madera capirona, por dos razones: la primera, resistencia con el uso de pernos; la segunda, se encuentra con secciones transversales cuadradas según el diámetro del bambú. Se colocó el tarugo de madera y luego se insertaron transversalmente los pernos de ϕ 3/8" de pulgada, tal como se muestra en la figura N° 36.



Figura N° 36 Arandelas para ensayo de uniones colineales



Unión colineal, con un perno transversales de ϕ 3/8 de pulgada.

Las resistencias obtenidas al someter a tracción estas probetas se detallarán en la tabla N° 3.6.1:

Tabla N° 3.6.1 Resultados de ensayos con madera capirona – propuesta primera.

MADERA CAPIRONA		
Item	EQUIVALENCIA	CARGA (KG)
1	BACC-1	750
2	BACC-2	900
3	BACC-3	980
4	BACC-4	590
5	BACC-5	670

Fuente Propia

Propuesta Segunda:

Uso de madera eucalipto – pernos transversales de ϕ 3/8” de pulgada (uno a cada extremo)

La experiencia realizada fue utilizando madera eucalipto, por dos razones: la primera es una madera muy común se puede encontrar en todos lados y la segunda porque tiene un costo muy barato, se colocó el cilindro de madera eucalipto y luego se insertaron transversalmente los pernos de ϕ 3/8” de pulgada (figura N° 37).

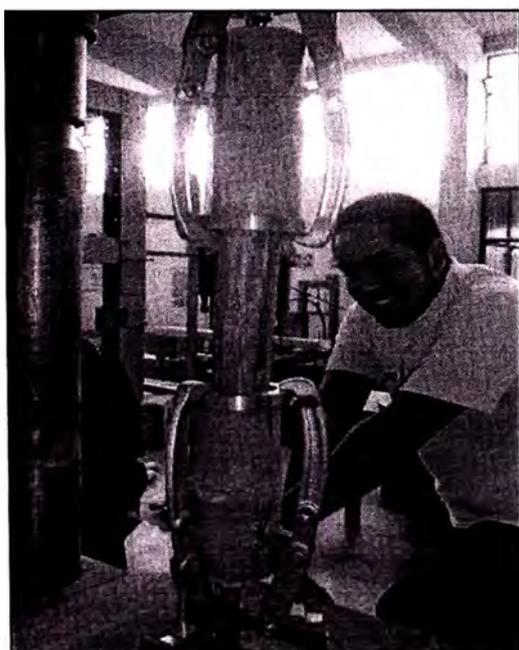


Figura N° 37 probeta en ensayo

Las resistencias obtenidas al someter a tracción estas probetas se detallarán en la tabla N° 3.6.2:

Tabla N° 3.6.2 Resultados de ensayos con madera eucalipto – propuesta segunda.

MADERA EUCALIPTO		
Item	EQUIVALENCIA	CARGA (KG)
1	BACE-1	880
2	BACE-2	1000
3	BACE-3	770
4	BACE-4	800
5	BACE-5	630

Fuente Propia

Propuesta Tercera:

Uso de madera capirona – pernos transversales de ϕ 3/8 de pulgada (dos a cada extremo)

La experiencia realizada fue utilizando madera capirona, Se colocó el tarugo de madera y luego se insertaron transversalmente los pernos de ϕ 3/8 de pulgada.



Unión colineal, con dos pernos transversales de ϕ 3/8 de pulgada.

Las resistencias obtenidas al someter a tracción estas probetas se detallarán en la tabla N° 3.6.3

Tabla N° 3.6.3 Resultados de ensayos con madera capirona – propuesta tercera.

MADERA CAPIRONA		
Item	EQUIVALENCIA	CARGA (KG)
1	BACC2-1	870
2	BACC2-2	980
3	BACC2-3	920
4	BACC2-4	1210
5	BACC2-5	1550

Fuente Propia

Propuesta Cuarta:

Uso de madera eucalipto – pernos transversales de ϕ 3/8 de pulgada (dos a cada extremo)

La experiencia realizada fue utilizando madera eucalipto, se colocó el cilindro de madera y luego se insertaron transversalmente los pernos de ϕ 3/8 de pulgada, dos a cada lado.

Las resistencias obtenidas al someter a tracción estas probetas se detallarán en la tabla N° 3.6.4

Tabla N° 3.6.4 Resultados de ensayos con madera eucalipto – propuesta cuarta.

MADERA EUCALIPTO		
Item	EQUIVALENCIA	CARGA (KG)
1	BACE2-1	910
2	BACE2-2	1440
3	BACE2-3	1170
4	BACE2-4	1130
5	BACE2-5	850

Fuente Propia

Propuesta Quinta: Uso de madera capirona – pernos transversales de ϕ 1/2 de pulgada (uno a cada extremo)

La experiencia fue utilizando madera capirona, Se colocó el tarugo y se insertaron transversalmente los pernos de ϕ 1/2 de pulgada.

Las resistencias obtenidas al someter a tracción estas probetas se detallarán en la tabla N° 3.6.5

Tabla N° 3.6.5 Resultados de ensayos con madera capirona – propuesta quinta.

MADERA CAPIRONA		
Item	EQUIVALENCIA	CARGA (KG)
1	BACC2-1	870.00
2	BACC2-2	980.00
3	BACC2-3	920.00
4	BACC2-4	1210.00
5	BACC2-5	1550.00

Fuente Propia

Propuesta Sexta:

Uso de madera eucalipto – pernos transversales de ϕ 1/2 de pulgada (uno a cada extremo)

La experiencia fue utilizando madera eucalipto, se colocó el tarugo y se insertaron transversalmente los pernos de ϕ 1/2 de pulgada.



Unión colineal, con un perno transversales de ϕ 1/2 de pulgada.

Las resistencias obtenidas al someter a tracción estas probetas se especifican en la tabla N° 3.6.6

Tabla N° 3.6.6 Resultados de ensayos con madera eucalipto – propuesta sexta.

MADERA EUCALIPTO		
Item	EQUIVALENCIA	CARGA (KG)
1	BACE2-1	910.00
2	BACE2-2	1440.00
3	BACE2-3	1170.00
4	BACE2-4	1130.00
5	BACE2-5	850.00

Fuente Propia

Según las tablas 3.6.5 y 3.6.6 se concluye que se puede usar la madera eucalipto (diámetro 2") y capirona (lingotes de 2"x2") para este tipo de uniones, arrojando valores aproximados.

3.7 ENSAYO DE UNIONES DE ELEMENTOS PERPENDICULARES

Para los ensayos de uniones perpendiculares se adaptó un sistema de tracción el cual muestre una unión para que trabaje el bambú en todo sentido.

El sistema consistió en un cuadrado de acero estructural y dos Us de 5/8", además se instalaron dos planchas de acero curvadas que servirían como distribuidor de la fuerza en la zona de contacto entre el acero y el bambú, como se muestra en la figura N° 38.



Figura N° 38

Equipo completo para ensayo de uniones estructurales

Primera Propuesta:

Uso de mortero, barra de $\Phi 3/8''$ longitudinal con ganchos a los extremos y pasador de $\Phi 3/8''$.

Se utilizó la barra de $\phi 3/8''$ interiormente con ganchos en los extremos. El mortero utilizado de una relación de cemento/arena gruesa de 1 a 3. Además, se colocó un tornillo en la parte superior del brazo en bambú vertical y uno en la base, esto con el objetivo de generar que funcione el nodo en el bambú vertical, y se colocó el otro perno en la base para hacer trabajar el bambú al corte (figura N° 39).

En el proceso constructivo se cortaron los bambú teniendo en cuenta para el vertical una longitud de 20 cm y para el horizontal una disposición de manera que quedase un culmo entre nodos el cual sería perforado para poder pasar por el gancho que está hecho de varilla estructural 3/8 y luego atravesar un pasador que será un perno de $\phi 3/8''$.

La resistencia obtenida al someter a tracción estas probetas se detalla en la tabla N° 3.7.1:

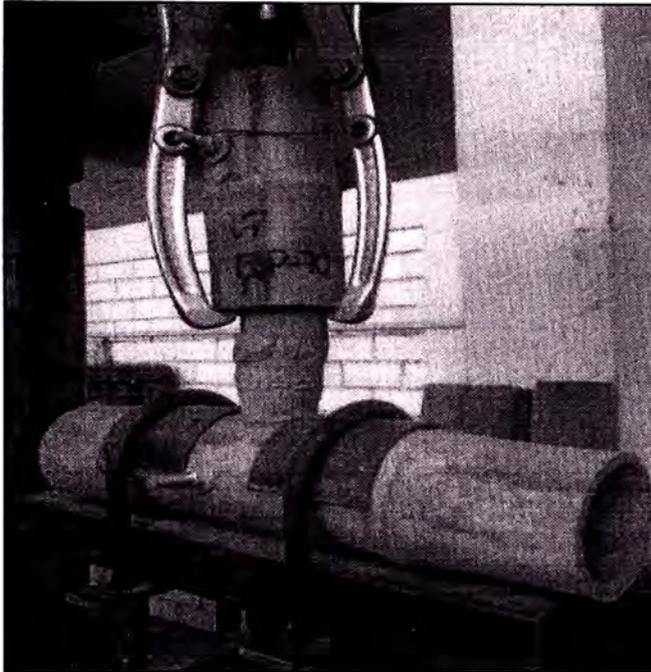


Figura N° 39 Unión perpendicular primera propuesta

Tabla N° 3.7.1 Resultados de ensayos en uniones perpendiculares - primera propuesta.

PERPENDICULARES		CARGA kg		
MUESTRA	EQUIVALENCIA	7d	14d	21d
RP-50	BAP1-1	650.00		
RP-2	BAP1-2		750.00	
RP-40	BAP1-3	470.00		
RP-15	BAP1-4			830.00
RP-5	BAP1-5		820.00	
RP-6	BAP1-6		650.00	
RP-7	BAP1-7		650.00	
RP-6	BAP1-8	590.00		
BR-25	BAP1-9			860.00
BP-170	BAP1-10			870.00
	MEDIA	570.00	650.00	865.00
	DESVIACION	91.65	83.02	20.82

Fuente Propia

Estos resultados nos indicaron que el sistema utilizado debería ser modificado, la adherencia entre el mortero y el bambú fue menor a la esperada, así como la

resistencia al corte perpendicular a la fibra (figura N° 40). Los bambúes tanto horizontales como verticales tampoco sufrieron mayor daño al ser inspeccionados visualmente, esto nos indicaba que se deberían de hacer modificaciones importantes a la metodología de construcción de la unión.

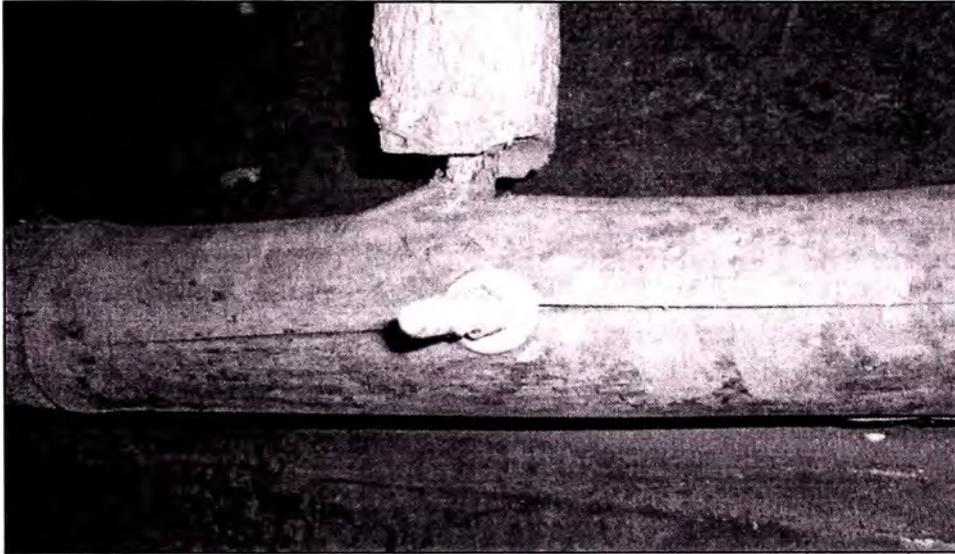


Figura N° 40 Falla por corte, originado en el plano de falla donde se colocó el perno, la abertura del gancho inferior origina el desplazamiento del brazo en la muestra.

Segunda Propuesta:

Uso de mortero, barra de ϕ 3/8" longitudinal con un gancho a su extremo y un perno de ϕ 3/8" al otro extremo y pasador de ϕ 3/8".

En esta alternativa se modificaron los siguientes elementos:

- Se cambió la vara longitudinal roscada por una de construcción de 8 mm.
- Se dobló la barra en su parte superior en forma de bastón, zona por la que atravesaría el perno de ϕ 3/8" transversalmente (figura N° 41).
- Se modificó la barra en su parte inferior, maquinando una rosca a medida en el torno, ver (figura N 42).

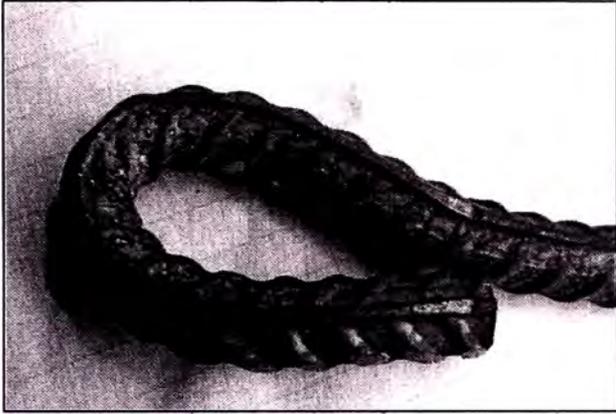
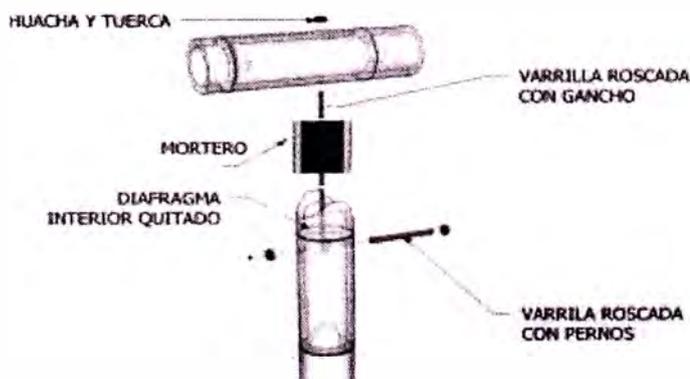


Figura N° 41 Cambio realizado en el Gancho para la segunda alternativa.



Figura N° 42 Barra de acero interior, forma de bastón superior y rosca inf.

Con estas modificaciones se esperaba aumentar considerablemente la resistencia a la tracción de la unión perpendicular, condición que se comprobaría al realizar los ensayos (figura N° 43).



UNION PERPENDICULAR

Unión perpendicular, con barra de ϕ 3/8" longitudinal con un gancho a su extremo y un perno de ϕ 3/8" al otro extremo y pasador de ϕ 3/8".

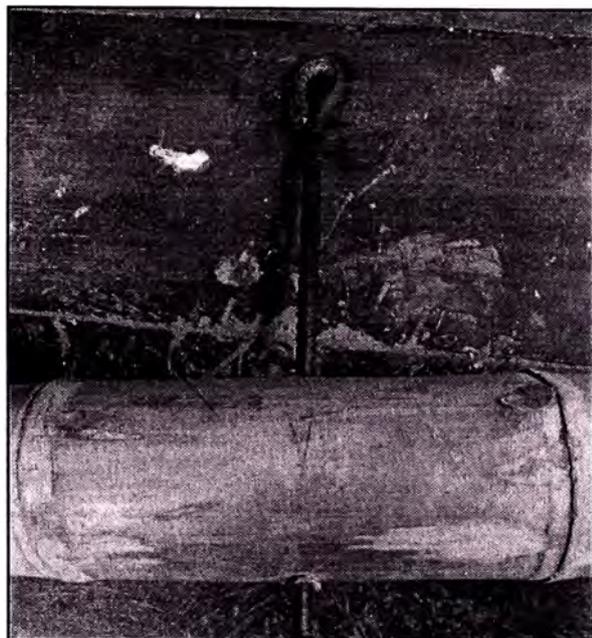


Figura N° 43 Ensamblaje de unión, colocación de vara longitudinal y perno transversal.

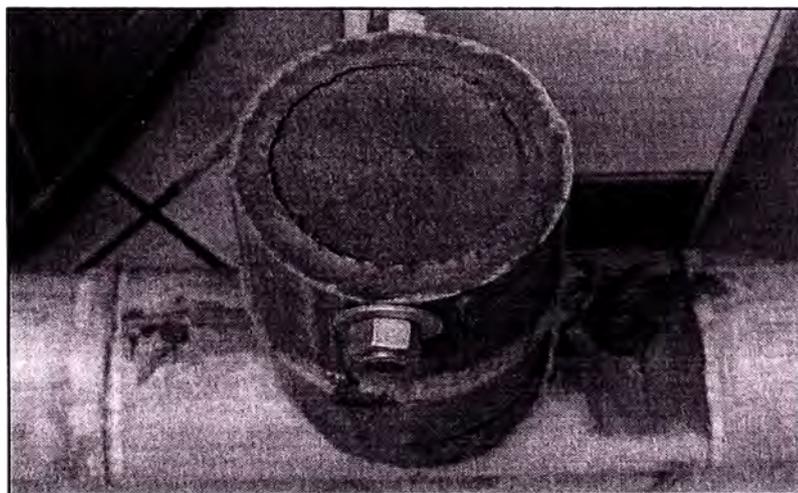


Figura N° 44 Unión perpendicular utilizando un perno transversal y acero longitudinal, unión lista para la prueba de tracción.

La resistencia obtenida al someter a tracción, según la figura N° 44, estas probetas se detalla en la tabla N° 3.7.2:

Tabla N° 3.7.2 Resultados de ensayos en uniones perpendiculares. Propuesta segunda

PERPENDICULARES		CARGA (kg)
ITEM	EQUIVALENCIA	7 días
1.00	BAP2-1	770.00
2.00	BAP2-2	940.00
3.00	BAP2-3	580.00
4.00	BAP2-4	840.00
5.00	BAP2-5	950.00

Fuente Propia

Los resultados obtenidos fueron satisfactorios, a diferencia de la unión mortero – barra de acero, ahora el usar una barra con un bastón - rosca y además un perno transversal este a los siete días obtuvo la misma resistencia que a los catorce días aproximadamente. Esta vez sí se sometió a esfuerzo la unión hasta que falló el bambú completamente y la unión mortero – acero tuvo una buena adherencia.

Era de esperarse por investigaciones anteriores (Sergio Claver 2010) en este ensayo una deformación en el bambú horizontal, y que se producía un pandeo debido a la falla del mortero interior y de la consecuente falla del bambú así que se puso una pequeña plancha de metal para que esta soporte la fuerza ejercida por el perno.

Tercera Propuesta:

Uso de mortero, barra de ϕ 3/8" longitudinal con ganchos a los extremos y pasador de ϕ 1/2".

Se utilizó la barra de ϕ 3/8" interiormente con ganchos en los extremos. El mortero utilizado de una relación de cemento/arena gruesa de 1 a 3. Además, se colocó un tornillo en la parte superior del espécimen vertical y uno en la base, esto con el objetivo de generar que funcione el nodo en el bambú vertical, y se colocó el otro perno en la base para hacer trabajar el bambú al corte.

En el proceso constructivo se cortaron los especímenes de guadua teniendo en cuenta para el vertical una longitud de 20 cm y para el horizontal en un rango de 40 a 50cm de manera que quede un nodo, el cual sería perforado para poder

pasar el gancho que está hecho de varilla estructural ϕ 3/8" y luego atravesar un pasador que será un perno de ϕ 1/2".

La resistencia obtenida al someter a tracción estas probetas se detalla en la tabla N° 3.7.3:

Tabla N° 3.7.3 Resultados de ensayos en uniones perpendiculares – propuesta tercera.

PERPENDICULARES		CARGA
ITEM	EQUIVALENCIA	(kg) 7 días
1.00	BAP3-1	620.00
2.00	BAP3-2	530.00
3.00	BAP3-3	450.00
4.00	BAP3-4	870.00
5.00	BAP3-5	440.00
6.00	BAP3-6	680.00
7.00	BAP3-7	480.00
8.00	BAP3-8	500.00
9.00	BAP3-9	520.00
10.00	BAP3-10	320.00

Fuente Propia

Cuarta Propuesta:

Uso de mortero, barra de ϕ 3/8" longitudinal con un gancho a su extremo y un perno de ϕ 3/8" al otro extremo y pasador de ϕ 1/2".

Será igual que la propuesta número dos, pero con una modificación que se hace en esta alternativa es que el pasador ahora será ϕ 1/2". (Figura N° 45)

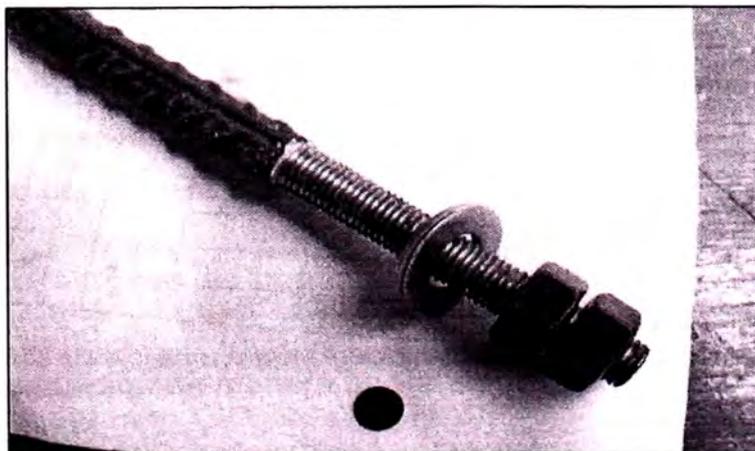


Figura N° 45 Barra de acero interior, forma de bastón superior y rosca inferior, ambos realizados expresamente para la segunda alternativa.

La resistencia obtenida al someter a tracción estas probetas se detalla en la tabla N° 3.7.4:

Tabla N° 3.7.4 Resultados de ensayos en uniones perpendiculares. propuesta Cuarta

PERPENDICULARES		CARGA
ITEM	EQUIVALENCIA	(kg) 7 días
1.00	BAP4-1	680.00
2.00	BAP4-2	560.00
3.00	BAP4-3	580.00
4.00	BAP4-4	570.00
5.00	BAP4-5	530.00
6.00	BAP4-6	580.00
7.00	BAP4-7	500.00
8.00	BAP4-8	500.00
9.00	BAP4-9	540.00
10.00	BAP4-10	480.00

Fuente Propia

3.8 ENSAYO DE UNIONES DE ELEMENTOS DIAGONALES

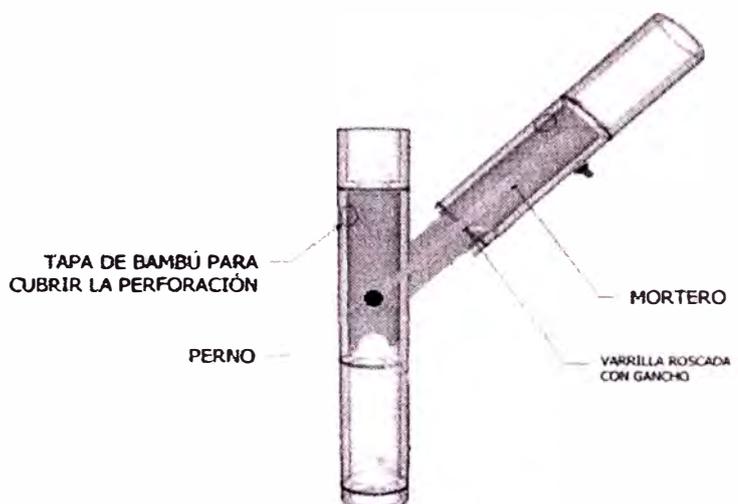
Primera Propuesta:

Uso de mortero, barra de ϕ 3/8" longitudinal con ganchos a los extremos y pasador de ϕ 3/8".

Se utilizó la barra de ϕ 3/8" interiormente con ganchos en los extremos. El mortero utilizado de una relación de cemento/arena gruesa de 1 a 3. Además, se colocó un tornillo en la parte superior del brazo en el bambú vertical y uno en la base, esto con el objetivo de generar que funcione el nodo en el bambú vertical, y se colocó el otro perno en la base para hacer trabajar el bambú al corte.

En el proceso constructivo se cortaron los especímenes de guadua, para la diagonal una longitud de 20 cm (formando 45° con la horizontal) y para el horizontal una disposición de manera que quedase un culmo entre nodos el cual

sería perforado para poder pasar por el gancho que está hecho de varilla estructural de ϕ 3/8" y luego atravesar un pasador que será un perno de ϕ 3/8", como se muestra en la figura N° 46.



Unión diagonal, barra de ϕ 3/8" longitudinal con ganchos a los extremos y pasador de ϕ 3/8".

La resistencia obtenida al someter a tracción estas probetas se detalla en la tabla N° 3.8.1:

Tabla N° 3.8.1 Resultados de ensayos en uniones diagonales—primera propuesta

DIAGONALES		CARGA		
MUESTRA	EQUIVALENCIA	7d	14d	21d
RD-1	RD-1		700.00	
RD-110	RD-2	600.00		
RD-3	RD-3		850.00	
RD-4	RD-4			700.00
RD-5	RD-5			
RD-22	RD-6			580.00
RD-140	RD-7	980.00		
RD-8	RD-8			620.00
RD-302	RD-9			700.00
RD-120	RD-10	1000.00		
RD-301	RD-11	880.00		

Fuente Propia

Estos resultados nos indicaron que el sistema utilizado debería ser modificado, la adherencia entre el mortero y el bambú fue menor a la esperada, así como la resistencia al corte perpendicular a la fibra. Los bambúes tanto horizontales como verticales tampoco sufrieron mayor daño al ser inspeccionados visualmente, esto nos indicaba que se deberían de hacer modificaciones importantes a la metodología de construcción de la unión, según se muestra en la figura N° 47.

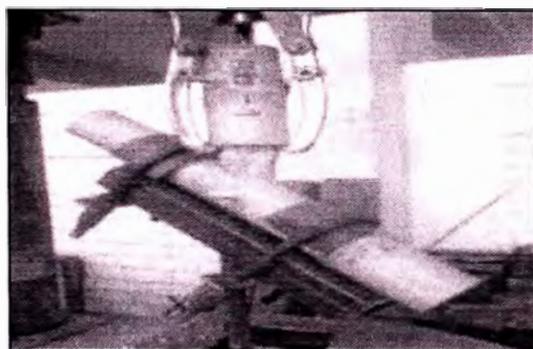


Figura N° 3.12 Unión diagonal

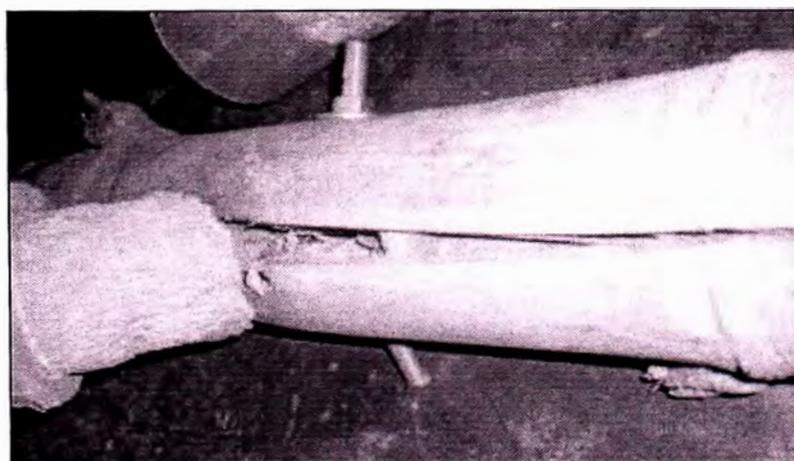


Figura N° 3.13 Doble interior de los ganchos y del perno.

Figura N° 47 Doble interior de los ganchos y del perno.

Segunda Propuesta:

Uso de mortero, barra de ϕ 3/8" longitudinal con ganchos a los extremos y pasador de ϕ 1/2".

Se utilizó la barra de ϕ 3/8" interiormente con ganchos en los extremos. El mortero utilizado de una relación de cemento/arena gruesa de 1 a 3. Además, se colocó un tornillo en la parte superior del brazo en el bambú vertical y uno en la base, esto con el objetivo de generar que funcione el nodo en el bambú vertical, y se colocó el otro perno en la base para hacer trabajar el bambú al corte.

En el proceso constructivo se cortaron los bambú teniendo en cuenta para el vertical una longitud de 20 cm (la vertical forma 45° con la horizontal) y para el horizontal una disposición de manera que quedase un nodo el cual sería perforado para poder pasar por el gancho que está hecho de varilla estructural ϕ 3/8" y luego atravesar un pasador que será un perno de ϕ 1/2".

La resistencia obtenida al someter a tracción estas probetas se detalla en la tabla N° 3.8.2:

Tabla N° 3.8.2 Resultados de ensayos en uniones diagonales – segunda propuesta.

ITEM	DIAGONALES	CARGA (kg)
	EQUIVALENCIA	7 días
1.00	BAD2-1	200.00
2.00	BAD2-2	330.00
3.00	BAD2-3	200.00
4.00	BAD2-4	670.00
5.00	BAD2-5	460.00

6.00	BAD2-6	460.00
7.00	BAD2-7	560.00
8.00	BAD2-8	300.00
9.00	BAD2-9	550.00
10.00	BAD2-10	600.00

Fuente Propia

Tercera Propuesta: Uso de mortero, barra de ϕ 3/8" longitudinal con un gancho a su extremo y un perno de ϕ 3/8" al otro extremo y pasador de ϕ 1/2".

Se utilizó la barra de 3/8" interiormente con un gancho en uno de sus extremos y en el otro un perno de 3/8". El mortero utilizado de una relación de cemento/arena gruesa de 1 a 3. Además, se colocó un tornillo en la parte superior del brazo en el bambú vertical y uno en la base, esto con el objetivo de generar que funcione el nodo en el bambú vertical, y se colocó el otro perno en la base para hacer trabajar el bambú al corte.

En el proceso constructivo se cortaron los especímenes de guadua teniendo en cuenta para el vertical una longitud de 20 cm (la vertical formara 45° con la horizontal) y para el horizontal una disposición de manera que quedase un nodo el cual sería perforado para poder pasar por el gancho que está hecho de varilla estructural de ϕ 3/8" y luego atravesar un pasador que será un perno de ϕ 1/2".

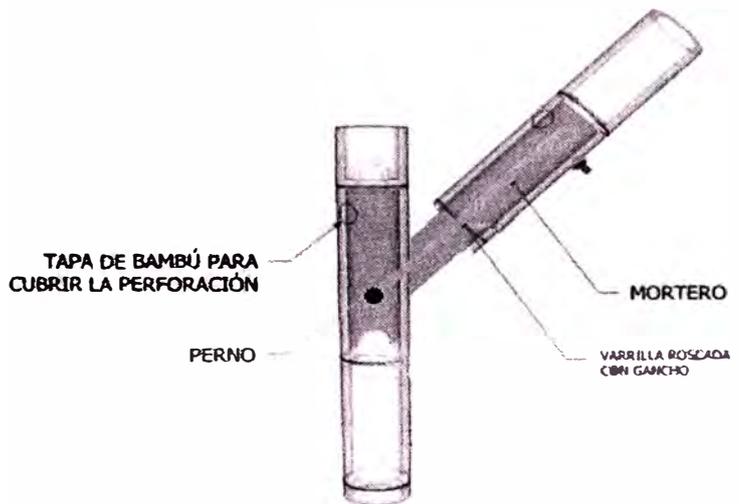
La resistencia obtenida al someter a tracción estas probetas se detalla en la tabla N° 3.8.3:

Tabla N° 3.8.3 Resultados de ensayos en uniones diagonales – propuesta tercera.

ITEM	DIAGONALES	CARGA (kg)
	EQUIVALENCIA	7 días
1.00	BAD3-1	920.00
2.00	BAD3-2	400.00
3.00	BAD3-3	150.00
4.00	BAD3-4	780.00
5.00	BAD3-5	480.00
6.00	BAD3-6	450.00

7.00	BAD3-7	240.00
8.00	BAD3-8	400.00
9.00	BAD3-9	400.00
10.00	BAD3-10	750.00

Fuente Propia



Unión Diagonal, con barra de ϕ 3/8" longitudinal con un gancho a su extremo y un perno de ϕ 3/8" al otro extremo y pasador de ϕ 1/2".

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS FÍSICOS

4.1.1 Ensayo de Contenido de Humedad

El contenido de humedad obtenido estuvo en el rango de 10% a 24% para todas las pruebas excepto en los ensayos de uniones, debido a que este varía de acuerdo a los siguientes factores que influyen en el proceso constructivo, como por ejemplo: la cantidad de agua que se le vierte al mortero, o si le cae agua por factores externos, y más en el proceso de llenado que puede mojarse, sin embargo ya en el proceso de construcción de una unión se debe tener en cuenta la condición del ambiente.

El contenido de humedad promedio del bambú en el momento de ser ensayado en las propiedades mecánicas como compresión, corte y flexión fue de: 12.42%, como se muestra en la Tabla N° 4.1

Tabla N° 4.1 Contenido de humedad de Propiedades Físicas

	CONTENIDO HUMEDAD
ITEM	% C.H. Promedio
Ensayos	12.42

Fuente Propia

4.1.2 Ensayo de densidad

Respecto a la densidad de las muestras en las pruebas de propiedades físicas esta estuvo en el intervalo de 0.111 g/cm³ a 0.190 g/cm³ aproximadamente.

Tabla N° 4.2 Contenido de humedad de Propiedades Físicas

	DENSIDAD	
ITEM	Densidad Promedio	Desviación Estandar
Ensayos	0.149 g/cm ³	0.023 g/cm ³

4.1.3 Ensayo de contracción

Se realizó el ensayo de contracción por variación del contenido de humedad, y el resultado de éstos ensayos se muestran en la Tabla N° 4.3

Tabla N° 4.3 Resultados de ensayos de contracción en probetas de bambú con contenido de humedad saturado.

ΔContracción			
	ΔDex	ΔDin	ΔH
Promedio	3.94%	3.16%	0.35%

Fuente Propia

- ΔD_{ex} : Contracción Diámetro exterior
- ΔD_{in} : Contracción Diámetro interior
- ΔH : Contracción Altura

4.2. ENSAYO DE COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA

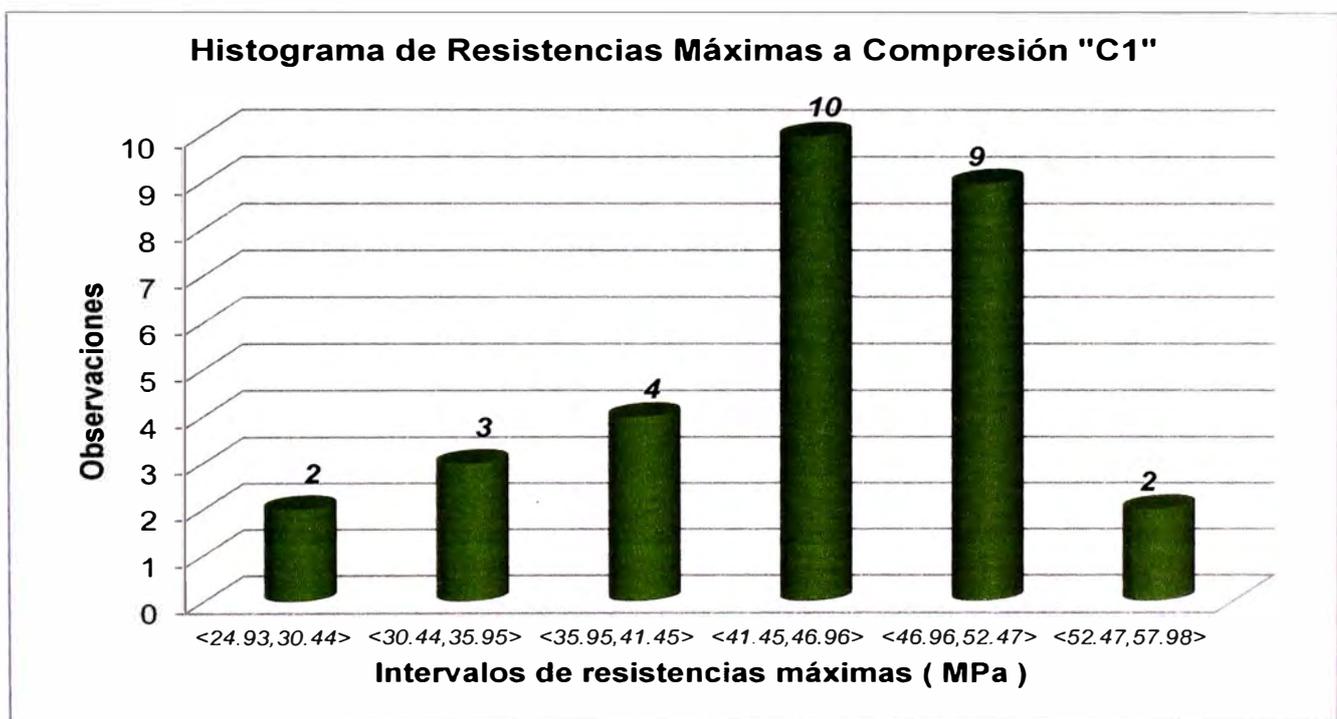
La propuesta de normas internacionales para ensayos de bambú "INBAR STANDARD FOR DETERMINATION OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF BAMBOO", especifican para el ensayo de compresión una altura de la probeta entre 1 y 2 veces el diámetro, para que el ensayo resulte evaluando las propiedades del material, sin que sea afectado por efectos secundarios como el pandeo.

De los gráficos 4.1 y 4.3 muestra la distribución de las resistencias máximas a compresión. El comportamiento de las columnas está condicionado por la longitud de las mismas, por lo que, para hacer esta distribución se trató de dejar a un lado el problema del pandeo, las columnas largas e intermedias fueron convertidas en cortas y sus resistencias máximas a compresión convertidas en resistencias máximas para columnas equivalentes de longitud 0.10 m, mediante un procedimiento aproximado.

Respecto a la compresión paralela a las fibras de las muestras en las pruebas de propiedades mecánicas, se obtuvo para las muestras denominadas C1 que la media es de 37.07 MPa, con una desviación estándar de 5.16 MPa.

En el gráfico 4.2 se muestra el valor que define el límite de exclusión del 5% de los valores de esfuerzos máximos obtenidos de los ensayos en compresión. En donde el esfuerzo 5º percentil es de 29.08 MPa

Gráfico 4.1 Histogramas de resistencia máximas a compresión C1 (Parte inferior de las cañas).



En el grafico 4.1 se observa que 10 especímenes presentan resistencias en el intervalo <41.15,46.96>, seguido de 9 especímenes que presentan resistencias máximas de <46.96,52.47> MPa.

Gráfico 4.2 Valor que define el límite de exclusión del esfuerzo máximo en compresión.

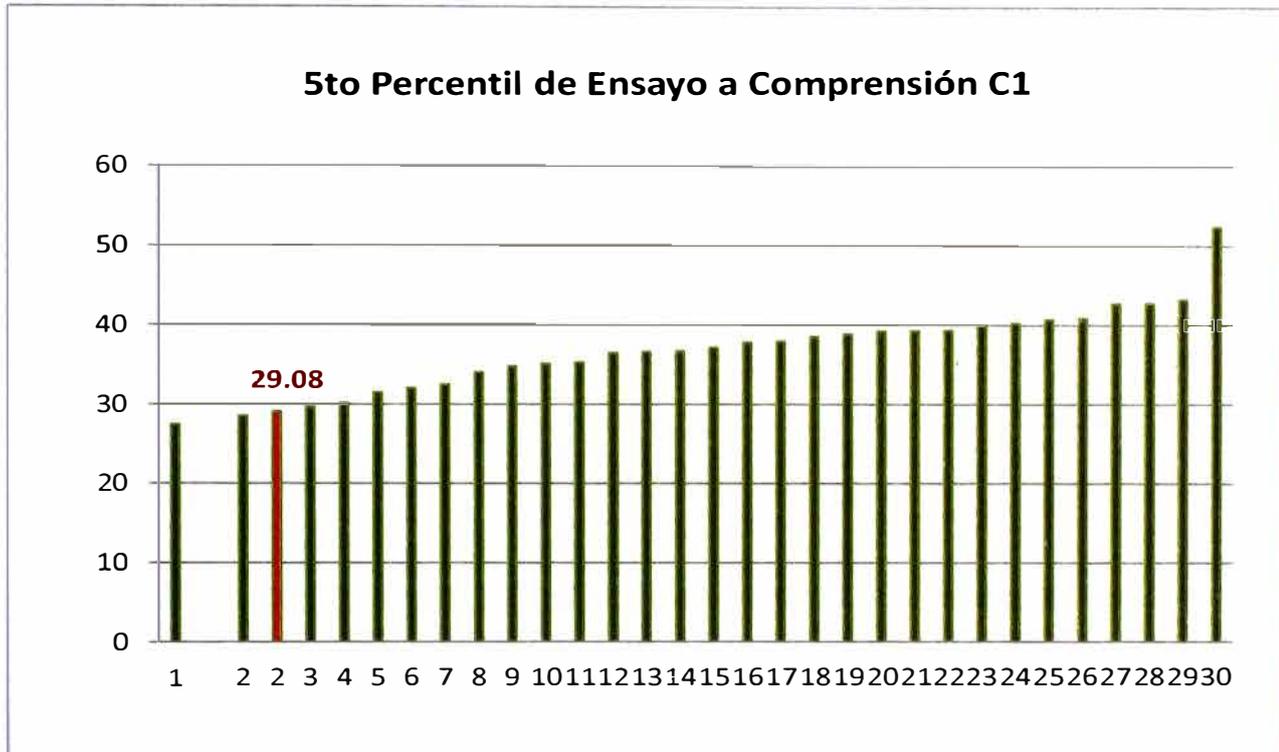
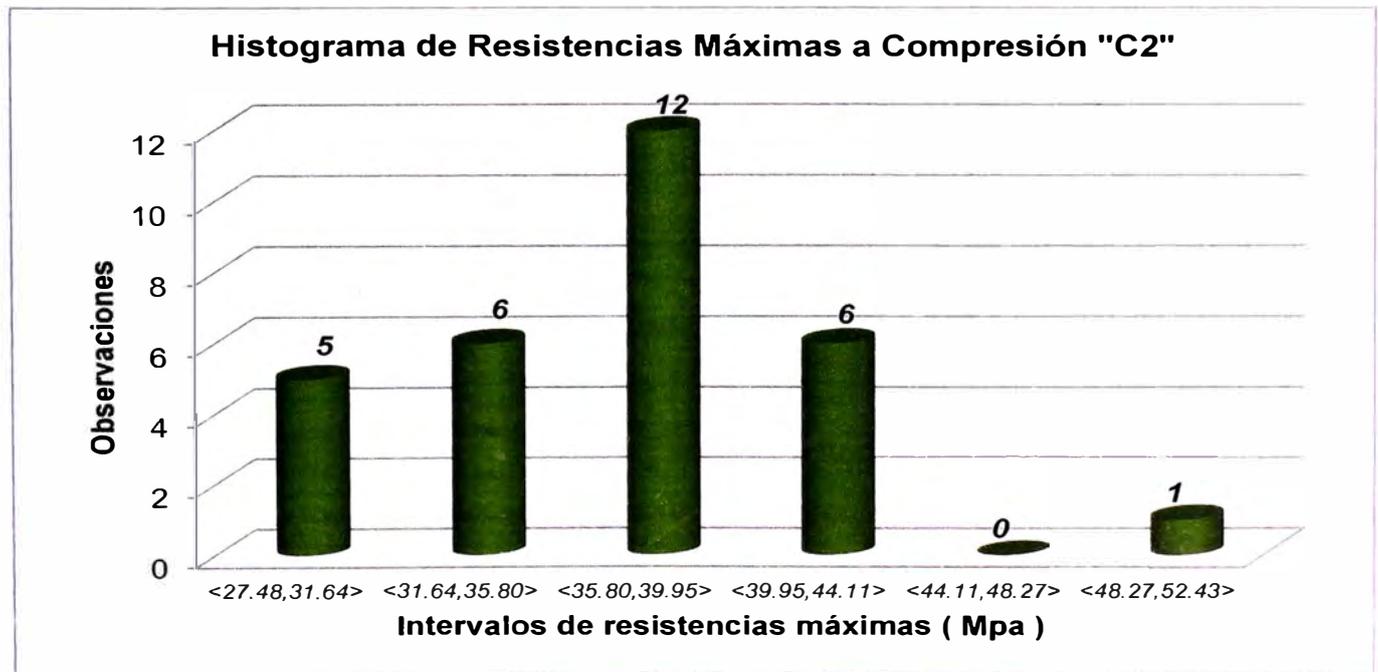
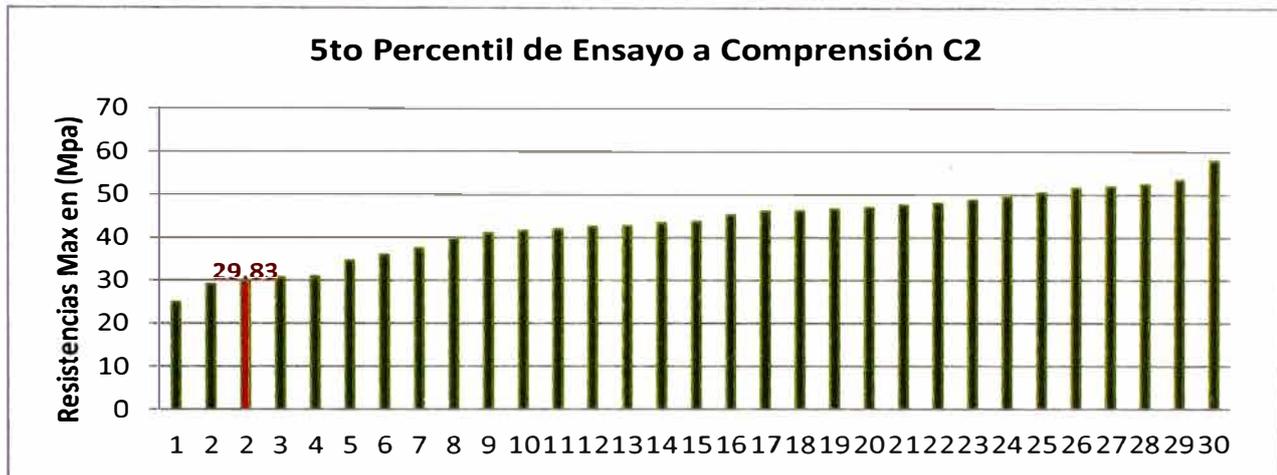


Gráfico 4.3 Histogramas de resistencia máximas a compresión C2. (Parte superior de las cañas)



Respecto a la compresión paralela a las fibras de las muestras en las pruebas de propiedades mecánicas, se obtuvo para las muestras denominadas C2 que la media es de 43.47 MPa, con una desviación estándar de 7.84 MPa.

Gráfico 4.4 Valor que define el límite de exclusión del esfuerzo máximo en compresión.



En el gráfico 4.4 se muestra el valor que define el límite de exclusión del 5% de los valores de esfuerzos máximos obtenidos de los ensayos en compresión. En donde el esfuerzo 5º percentil es de 29.83 MPa.

Gráfico 4.5 Variación de la media y 5º percentil entre C1 y C2

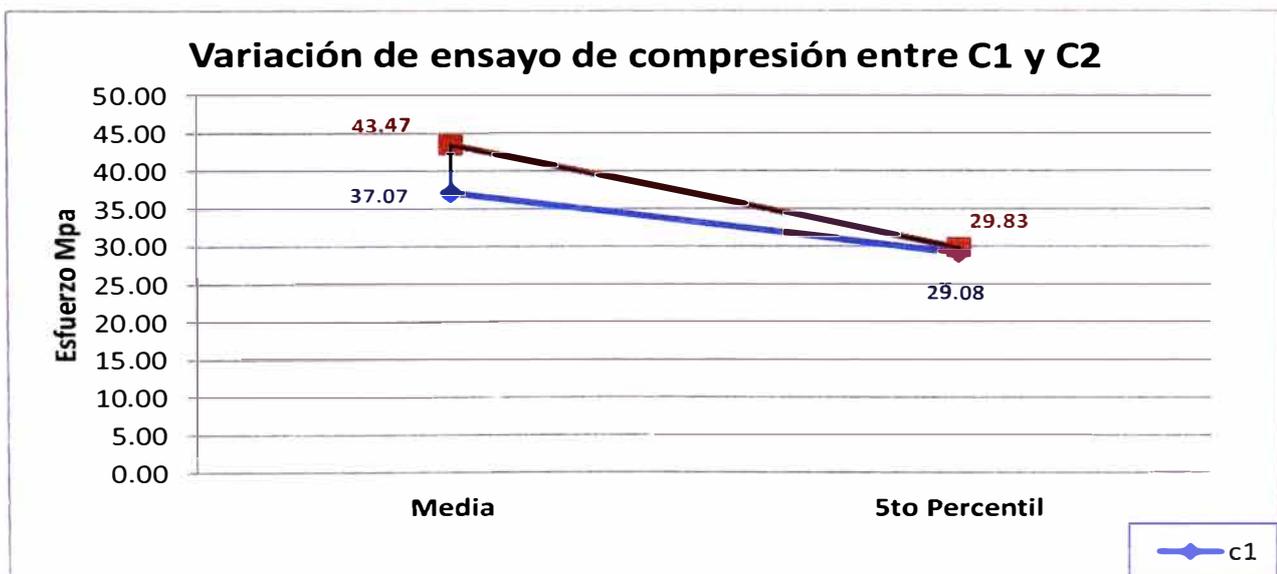


Gráfico 4.6 Histograma de resistencia máxima a la tracción

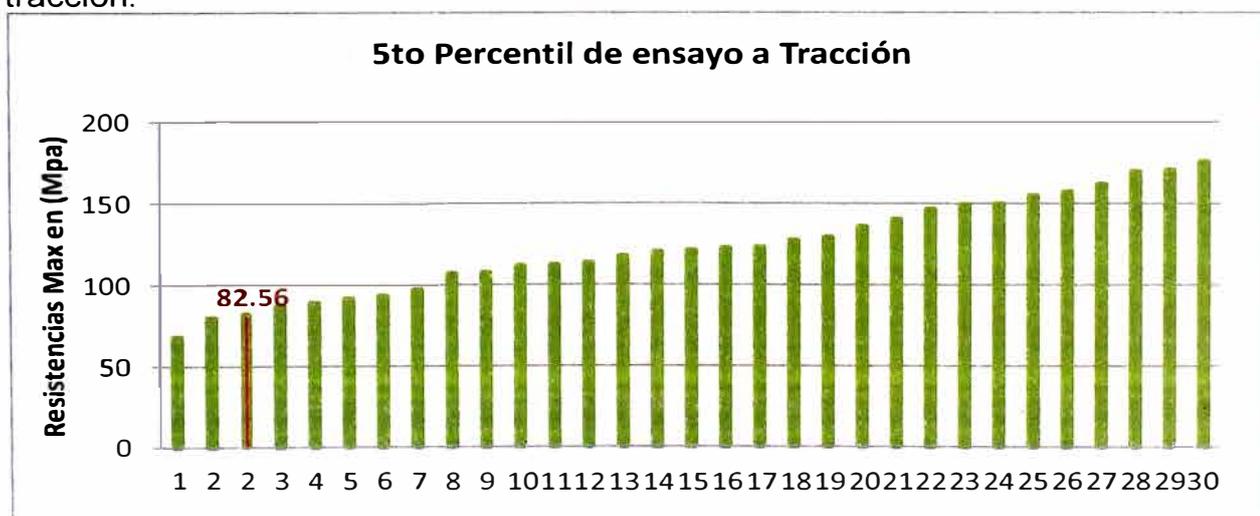


(a) En el gráfico 4.6 se observa que 8 especímenes presentan resistencias en el intervalo <103.58,121.56>MPa, seguido de 6 especímenes que presentan resistencias máximas de <139.54,157.51> MPa.

Los resultados de los ensayos de tracción se muestran en la distribución del gráfico 4.6, los datos se agrupan alrededor de la media, 124.02 MPa con una desviación estándar de 28.80 MPa con base en este gráfico se determinará un valor de diseño para tracción.

En el siguiente gráfico 4.7 se muestra el valor que define el límite de exclusión del 5% de los valores de esfuerzos máximos obtenidos de los ensayos a tracción, en donde el esfuerzo 5º percentil es 82.56 MPa.

Gráfico 4.7 Valor que define el límite de exclusión del esfuerzo máximo en tracción.

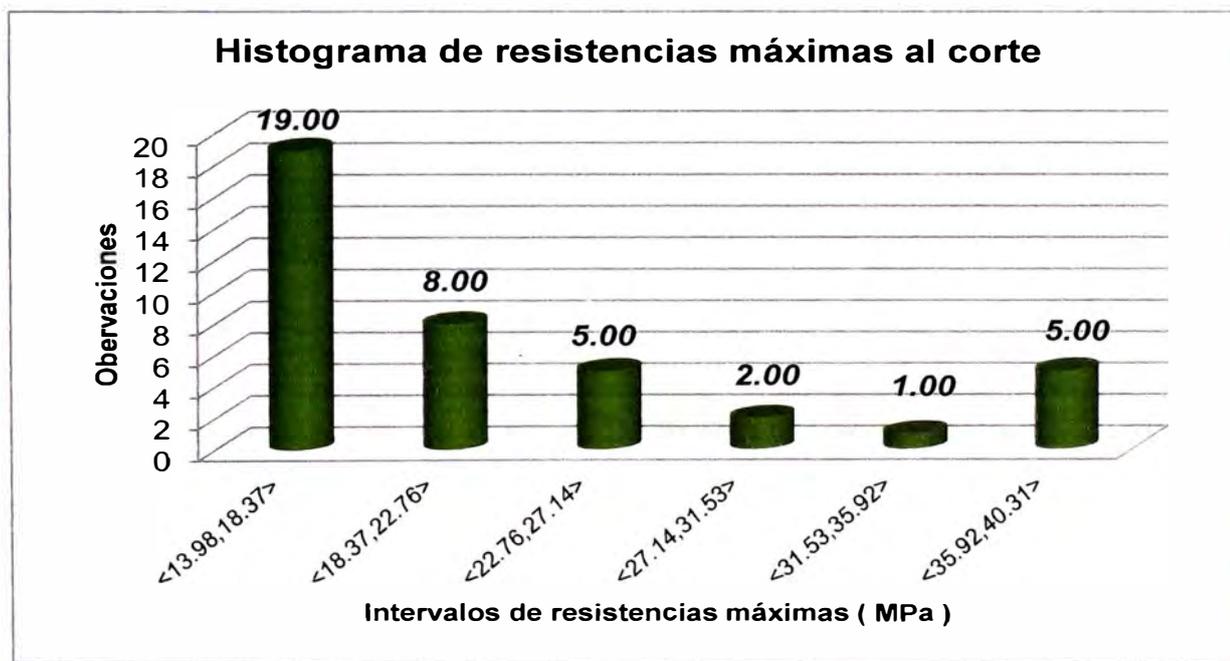


4.3 ENSAYO DE CORTE PARALELA A LA FIBRA

En el gráfico 4.8 se muestra la distribución de las resistencias al corte de las 30 probetas. El comportamiento es dominado por tres intervalos donde se concentran el 70% del total de las muestras.

Respecto al corte La media es 23.93 MPa y se localiza en el segundo intervalo más importante. La desviación estándar fue de 8.25 MPa que resulta pequeña comparada con los ensayos de tracción, compresión y flexión.

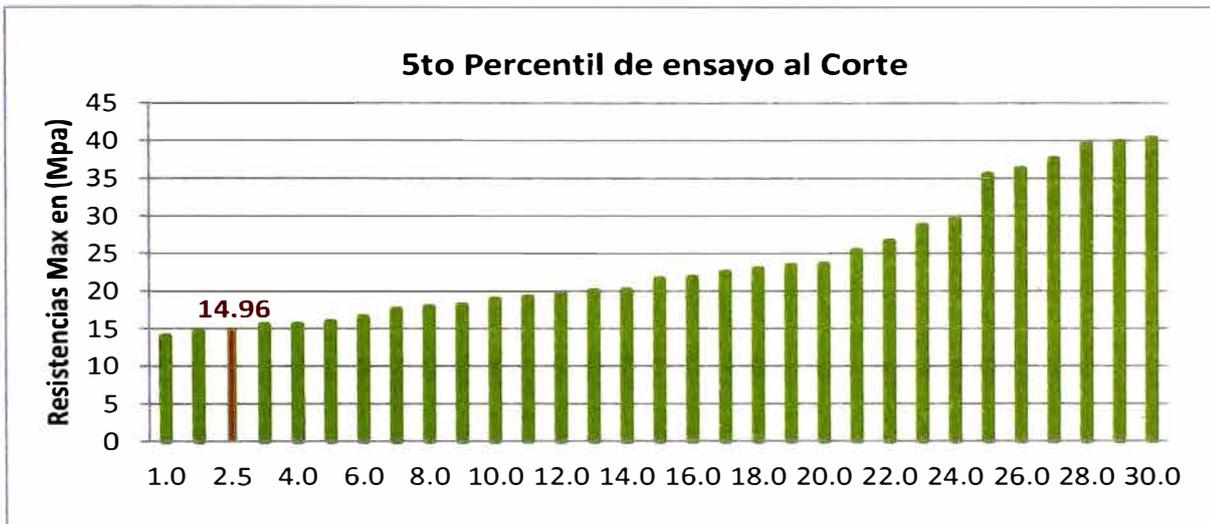
Gráfico 4.8 Histogramas de resistencia máximas a CORTE. (Parte inferior de la guadua)



En el gráfico 4.8 se observa que 19 especímenes presentan resistencias en el intervalo <13.98,18.37>, seguido de 8 especímenes que presentan resistencias máximas de <18.37,22.76> MPa.

En el siguiente gráfico 4.9 se muestra el valor que define el límite de exclusión del 5% de los valores de esfuerzos máximos obtenidos de los ensayos en corte. En donde el esfuerzo 5º percentil es 14.96 MPa.

Gráfico 4.9 Valor que define el límite de exclusión del esfuerzo máximo en corte

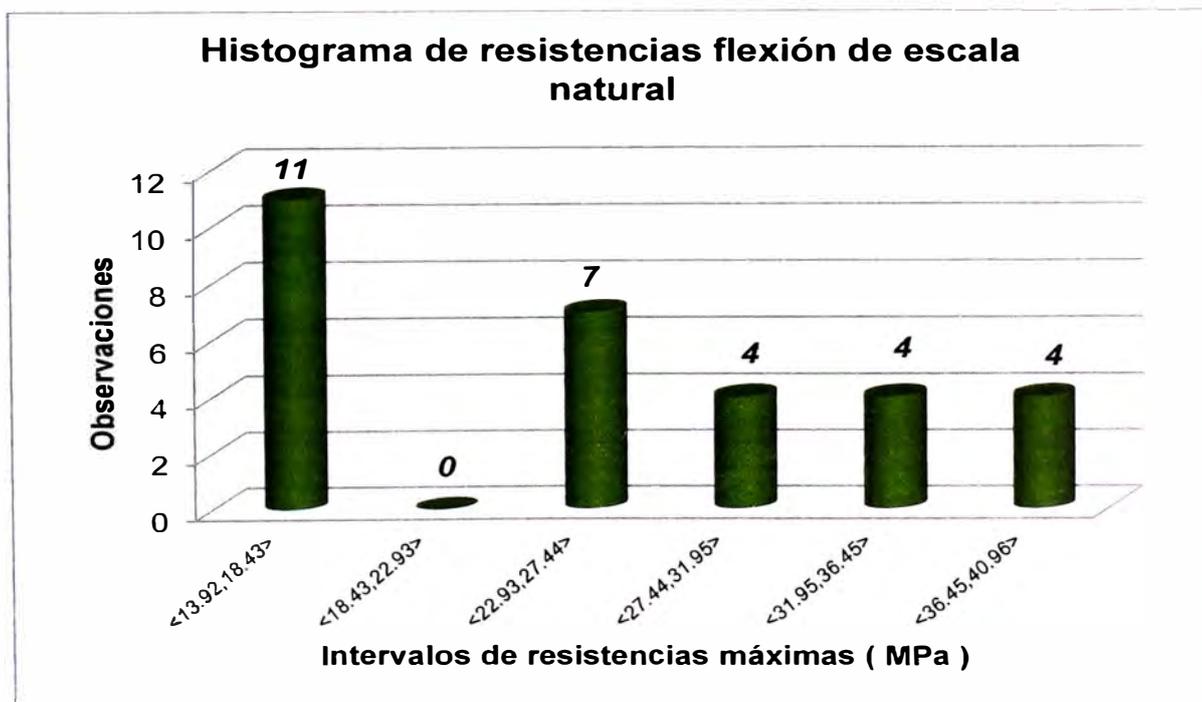


4.4 ENSAYO DE FLEXIÓN ESCALA NATURAL

Respecto a la flexión y su MOR la media es 16.83 MPa y la desviación estándar fue de 5.17 MPa.

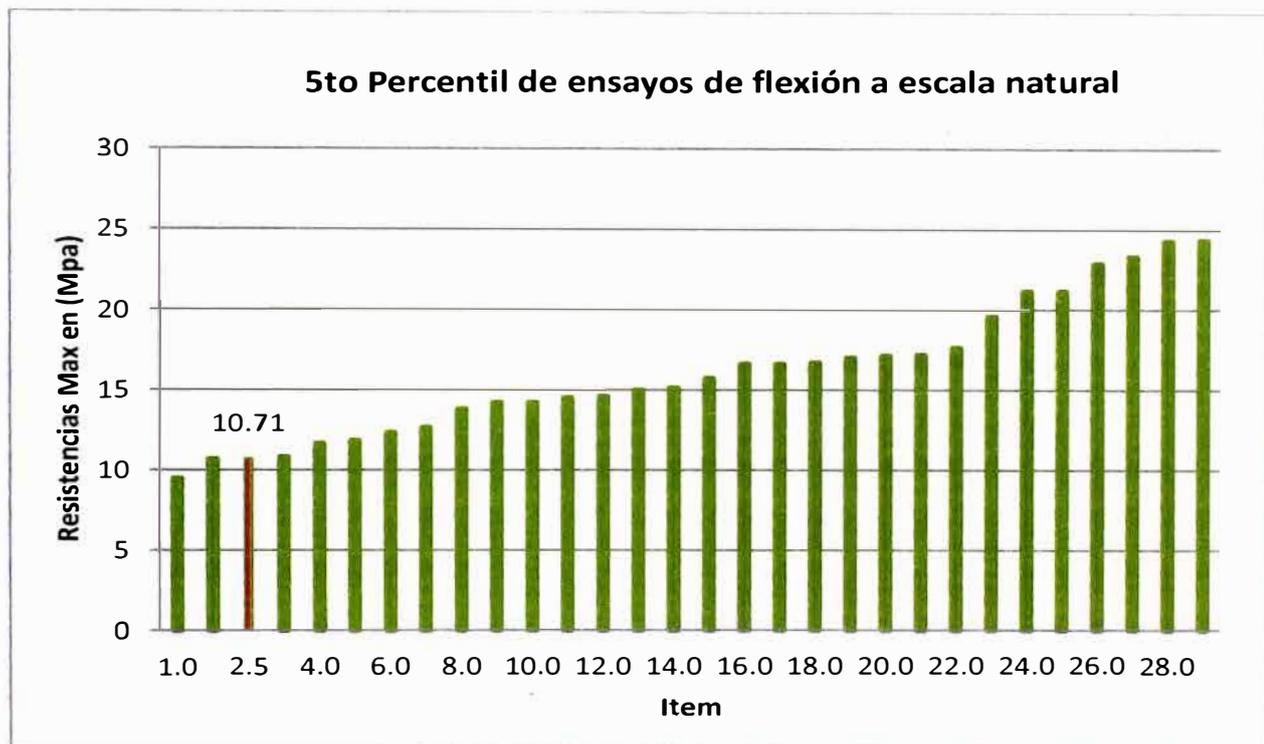
En el siguiente gráfico 4.11 se muestra el valor que define el límite de exclusión del 5% de los valores del módulo de rotura obtenidos de los ensayos a flexión de vigas a escala natural, en donde el esfuerzo 5º percentil es 10.71 MPa.

Gráfico 4.10 Histogramas de resistencia máximas a flexión de escala natural



En el gráfico 4.10 se observa que 11 especímenes presentan resistencias en el intervalo $<13.02, 18.43>$, seguido de 7 especímenes que presentan resistencias máximas de $<22.03, 27.44>$ MPa.

Gráfico 4.11 Valor que define el límite de exclusión del MOR en flexión escala natural



4.5. ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA

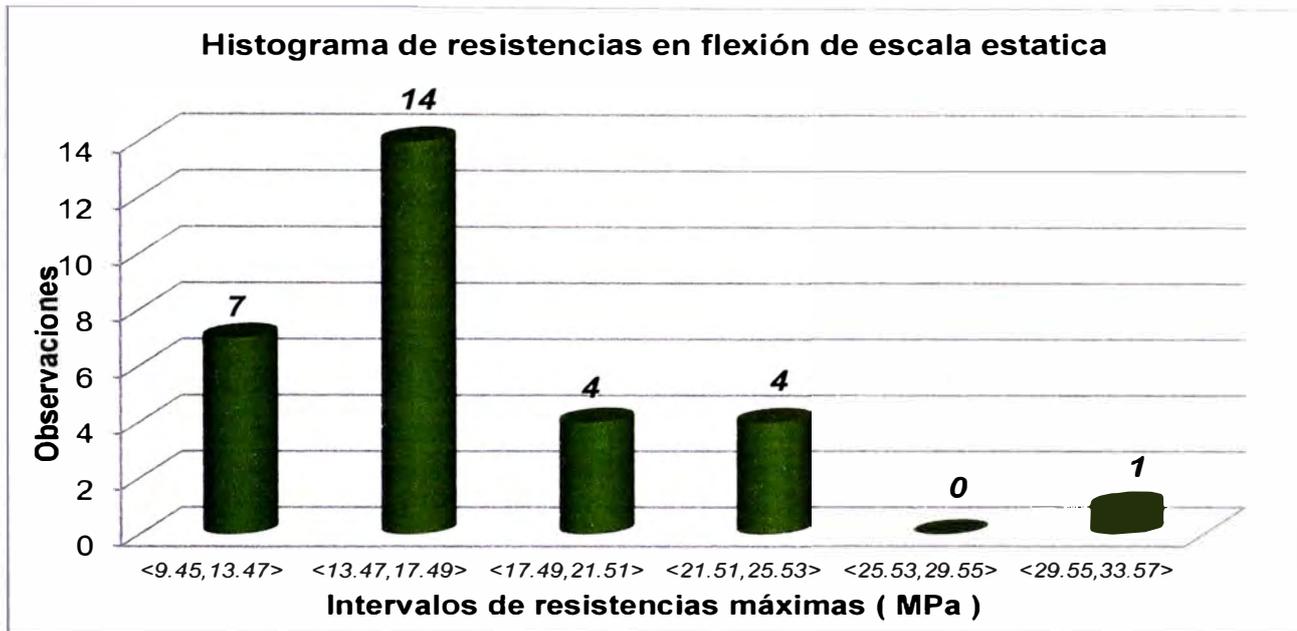
En el gráfico 4.12 se muestra la distribución de las resistencias de todos los ensayos disponibles de flexión.

Se observa que los datos tienen una marcada tendencia hacia las resistencias más bajas, nuevamente se pone de manifiesto la gran dificultad que involucran los ensayos de flexión, que en la mayoría de los casos son dominados por fallas debidas a efectos locales como el aplastamiento.

La resistencia media es 37.07 MPa, con una desviación estándar de 5.16 MPa.

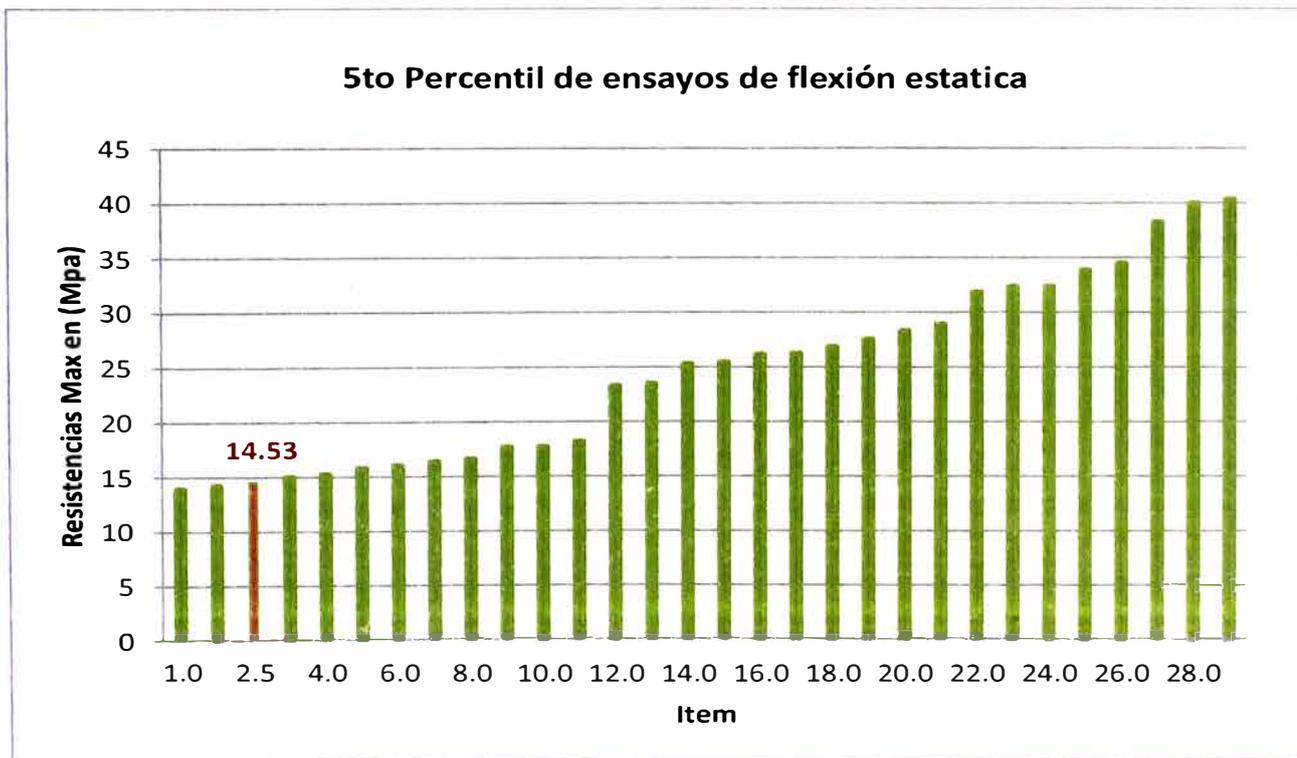
En el gráfico 4.13 se muestra el valor que define el límite de exclusión del 5% de los valores del módulo de rotura obtenidos de los ensayos a flexión estática, en donde el esfuerzo 5º percentil es 14.53 MPa.

Gráfico 4.12 Histogramas de resistencias en flexión de escala estática



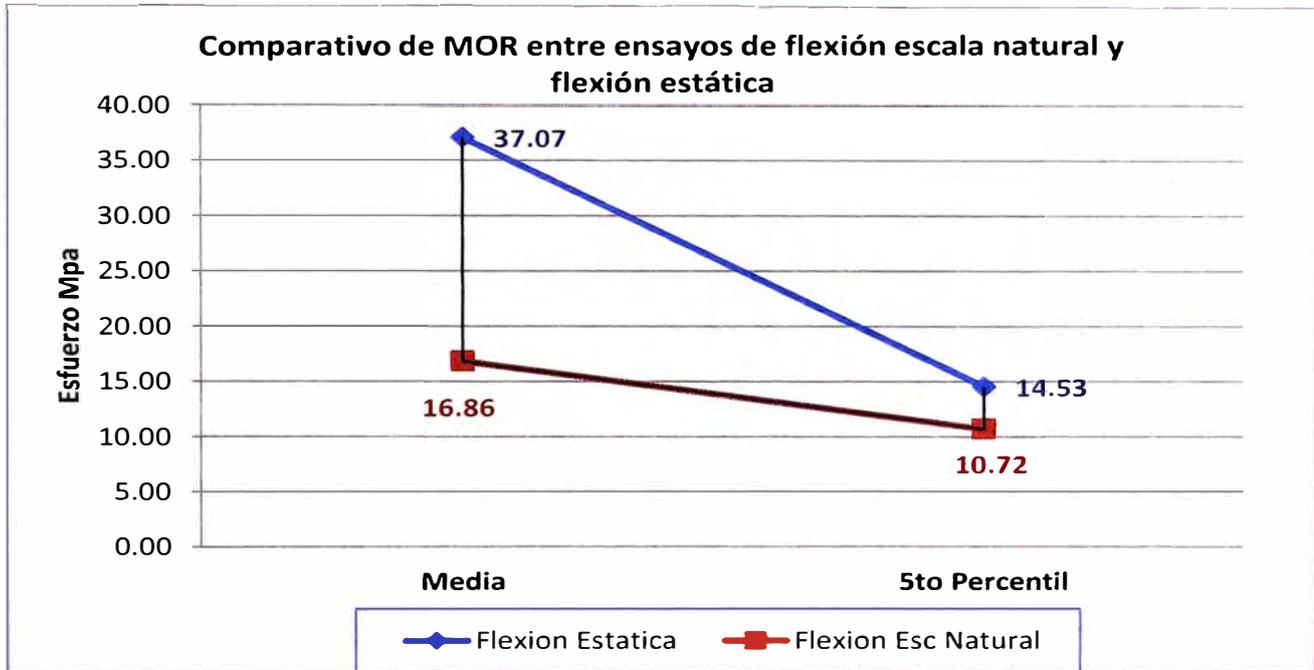
En el gráfico 4.12 se observa que 14 especímenes presentan resistencias en el intervalo <13.47, 17.49>, seguido de 9 especímenes que presentan resistencias máximas de <46.96,52.47> MPa.

Gráfico 4.13 Valor que define el límite de exclusión del MOR en flexión estática



En el gráfico 4.14 se compara como la flexión estática alcanza mayores valores que la flexión escala natural tanto en la media como en su 5° percentil.

Gráfico 4.14 Comparativo de los valores de MOR entre la flexión estática y la flexión en escala real



4.6 ENSAYOS A UNIONES

En esta investigación se buscó demostrar la funcionalidad tanto del material utilizado (bambú) como de los materiales adicionales que se utilizaron para formar las uniones, además se trató de que tengan un proceso constructivo simple y económico.

4.6.1 Uniones colineales

Se trató de buscar variaciones de métodos y accesorios mostrándose la gran diferencia que se encontró dependiendo del material empleado.

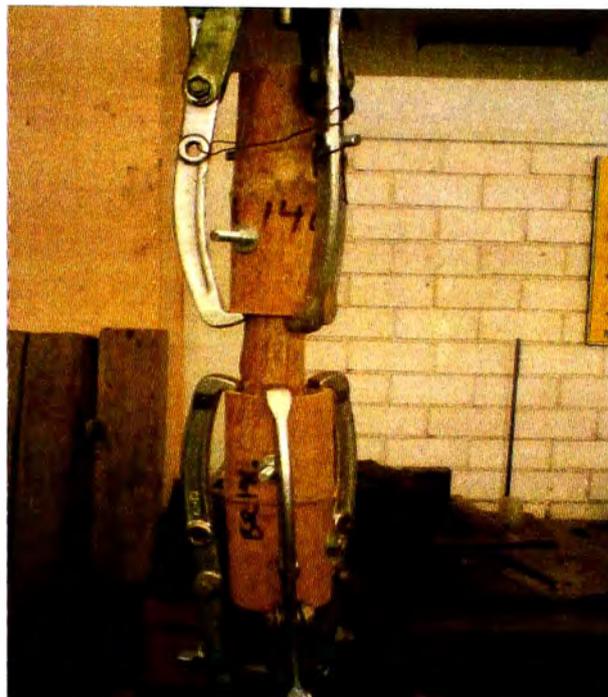


Figura N° 4.1 Unión colineal a ser ensayada en la máquina universal a tracción

En el caso de los ensayos de uniones colineales (figura N° 4.1) se utilizaron; madera eucalipto y madera capirona.

La madera se utilizó considerando la facilidad de colocación, resistencia y economía, por lo que no se encontró diferencia significativa en la resistencia promedio, entre las uniones colineales, usando en su interior madera capirona (2"x2") y usando madera eucalipto de ϕ 2" y un perno de ϕ 3/8" en sus extremo.

Primera propuesta: Uso de madera capirona – pernos transversales de Φ 3/8 de pulgada (uno a cada extremo)



Figura N° 4.2 Unión colineal primera propuesta a ser ensayada en la máquina universal a tracción

Tabla N° 4.4 Tabla de resultado en madera CAPIRONA - Primera propuesta

MADERA CAPIRONA	
MEDIA	778.00
DESVIACION STANDAR	160.84

Fuente Propia

Segunda propuesta: Uso de madera eucalipto – pernos transversales de $\Phi 3/8$ " de pulgada (uno a cada extremo)

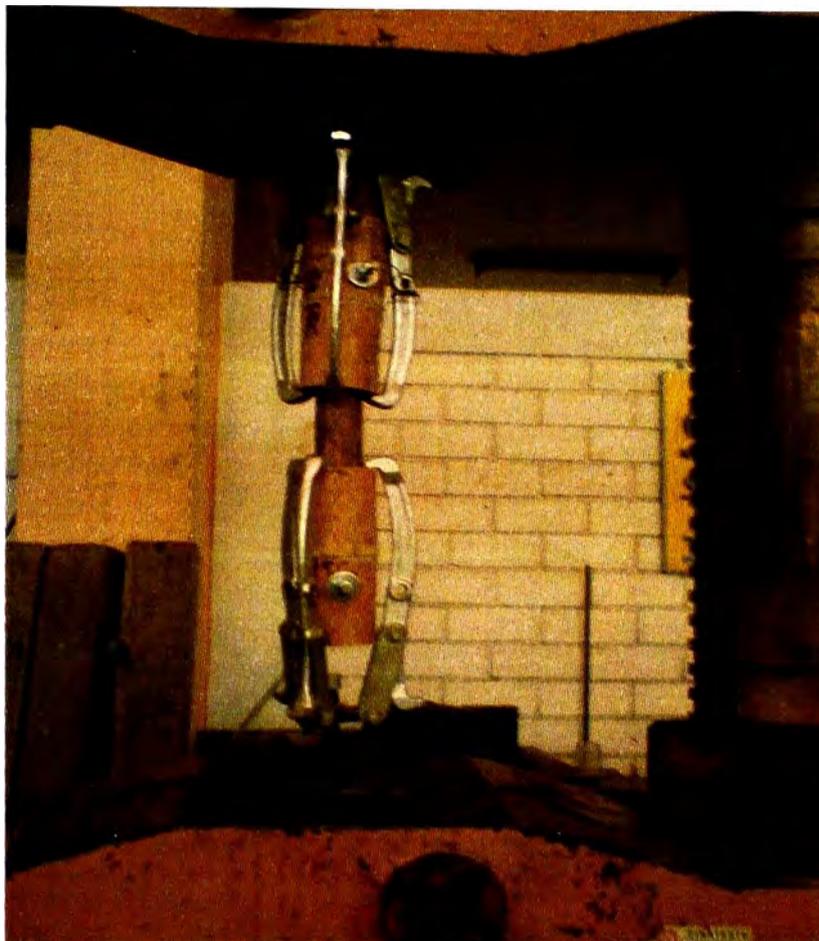


Figura N° 4.3 Unión colineal segunda propuesta a ser ensayada en la máquina universal a tracción

Tabla N° 4.5 Tabla de resultado en madera EUCALIPTO-Segunda propuesta

MADERA EUCALIPTO	
MEDIA	816.00
DESVIACION STANDAR	136.60

Fuente Propia

Tercera propuesta: Uso de madera capirona – pernos transversales de $\Phi 3/8$ de pulgada (dos a cada extremo)



Figura N° 4.4 Unión colineal tercera propuesta a ser ensayada en la máquina universal a tracción

Tabla N° 4.6 Tabla de resultado en madera CAPIRONA - Tercera propuesta

MADERA CAPIRONA	
MEDIA	1100.00
DESVIACION STANDAR	234.52

Fuente Propia

Cuarta propuesta: Uso de madera eucalipto – pernos transversales de 3/8 de pulgada (dos a cada extremo)

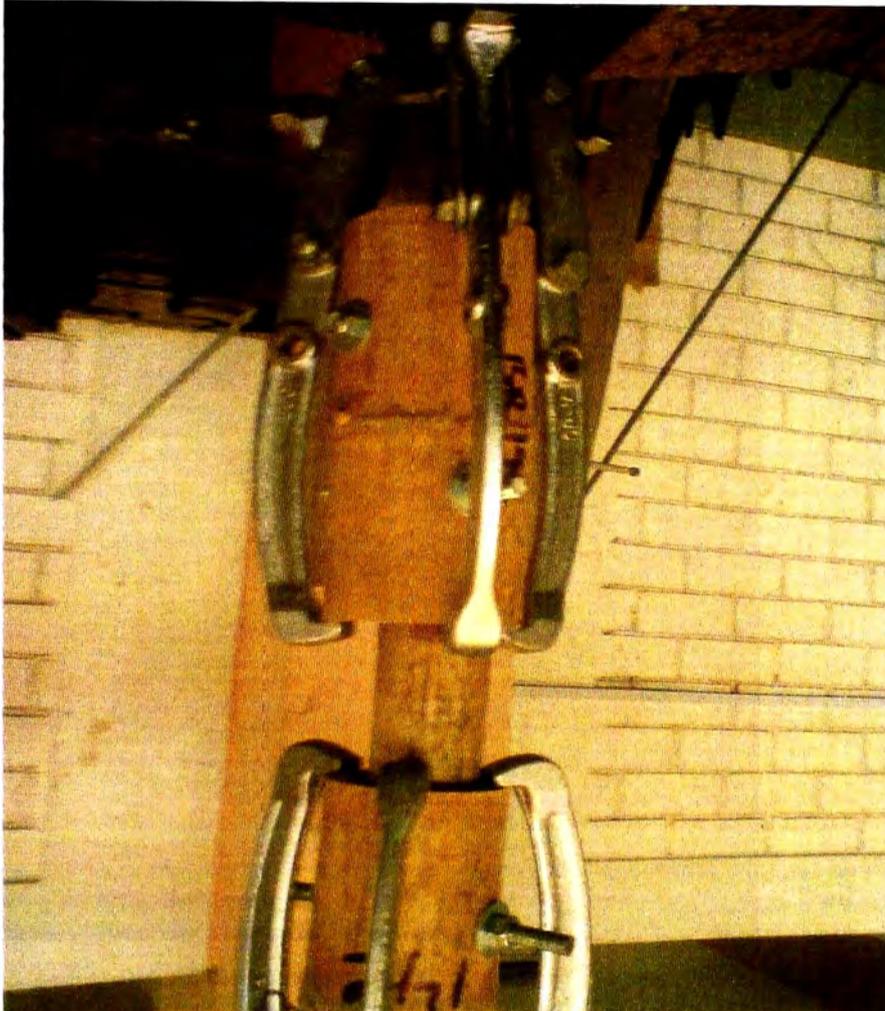


Figura N° 4.5 Unión colineal cuarta propuesta a ser ensayada en la máquina universal a tracción

Tabla N° 4.7 Tabla de resultado en madera EUCALIPTO - Cuarta propuesta

MADERA EUCALIPTO	
MEDIA	1106.00
DESVIACION STANDAR	280.23

Fuente Propia

Quinta propuesta: Uso de madera capirona – pernos transversales de $\Phi 1/2$ de pulgada (uno a cada extremo)



Figura N° 4.6 Unión colineal quinta propuesta a ser ensayada en la máquina universal a tracción

Tabla N° 4.8 Tabla de resultado en madera CAPIRONA - Quinta propuesta

MADERA CAPIRONA	
MEDIA	952.00
DESVIACION STANDAR	187.27

Fuente Propia

Sexta propuesta: Uso de madera eucalipto – pernos transversales de $\Phi 1/2$ de pulgada (uno a cada extremo)



Figura N° 4.7 Unión colineal sexta propuesta a ser ensayada en la máquina universal a tracción

Tabla N° 4.9 Tabla de resultado en madera CAPIRONA - Sexta propuesta

MADERA CAPIRONA	
MEDIA	972.00
DESVIACION STANDAR	142.02

Fuente Propia

Gráfico 4.15 Comparativo de las propuestas de uniones colineales en madera capirona

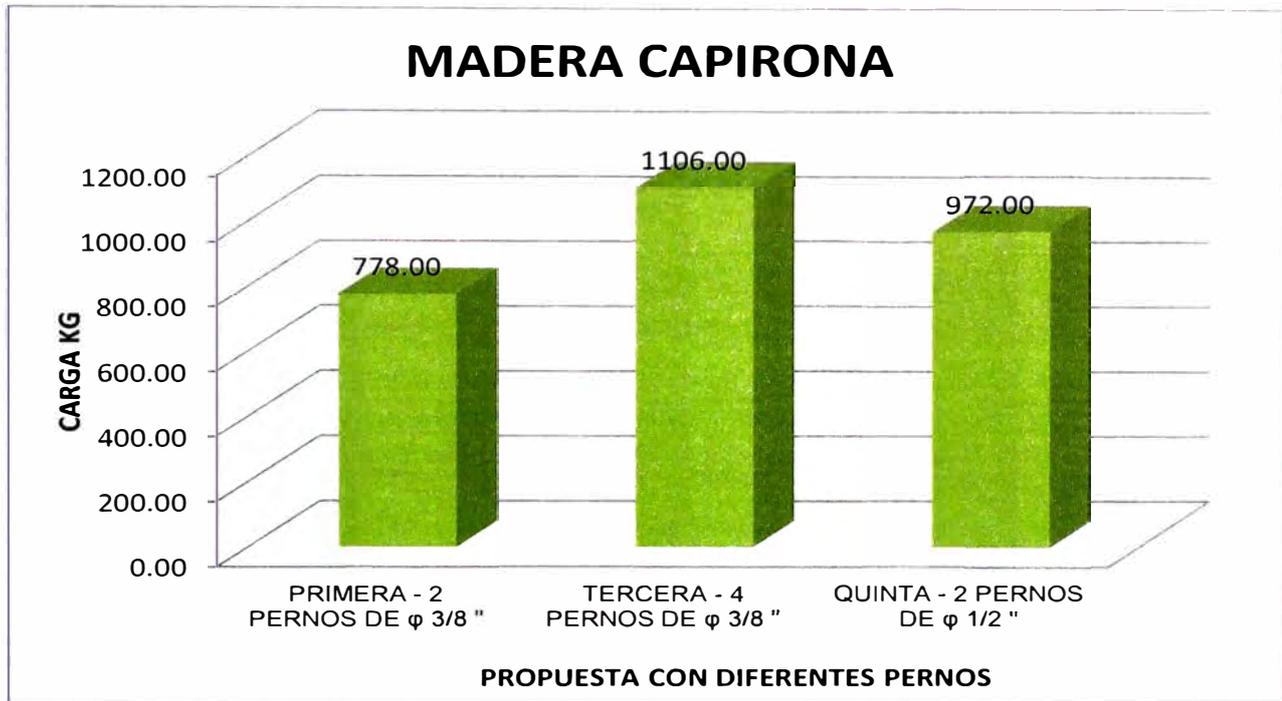


Gráfico 4.16 Comparativo de las propuestas de uniones colineales madera eucalipto

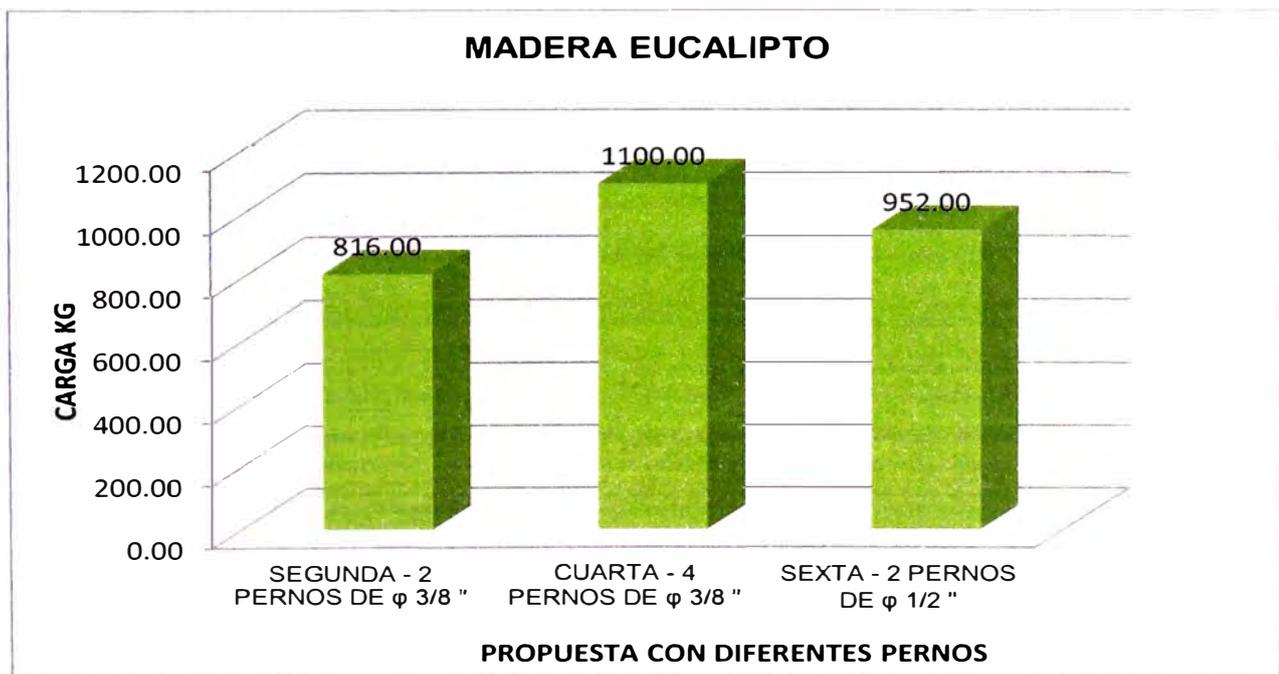
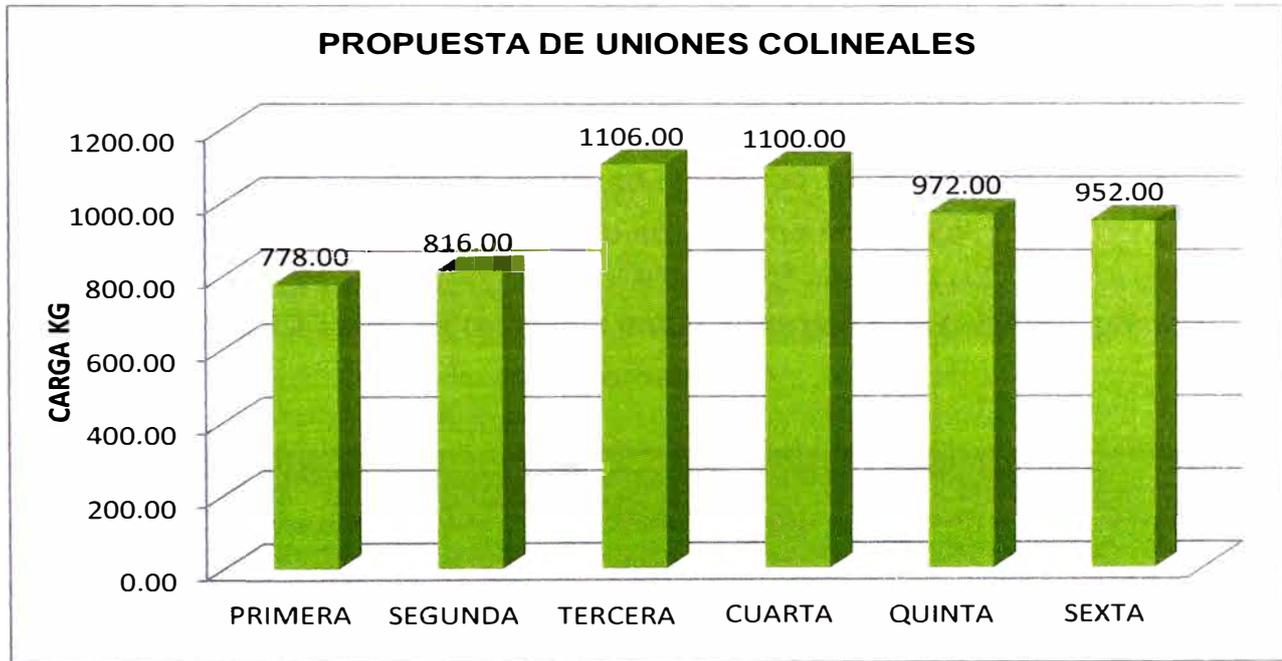


Gráfico 4.17 Comparativo de las propuestas de uniones colineales con tarugos de madera Capirona y Eucalipto



4.6.2 Uniones perpendiculares



Figura N° 4.8 Unión perpendicular ensayada en máquina universal a tracción

Primera Alternativa: Uso de mortero, barra de $\Phi 3/8''$ longitudinal con ganchos a los extremos y pasador de $\Phi 3/8''$.

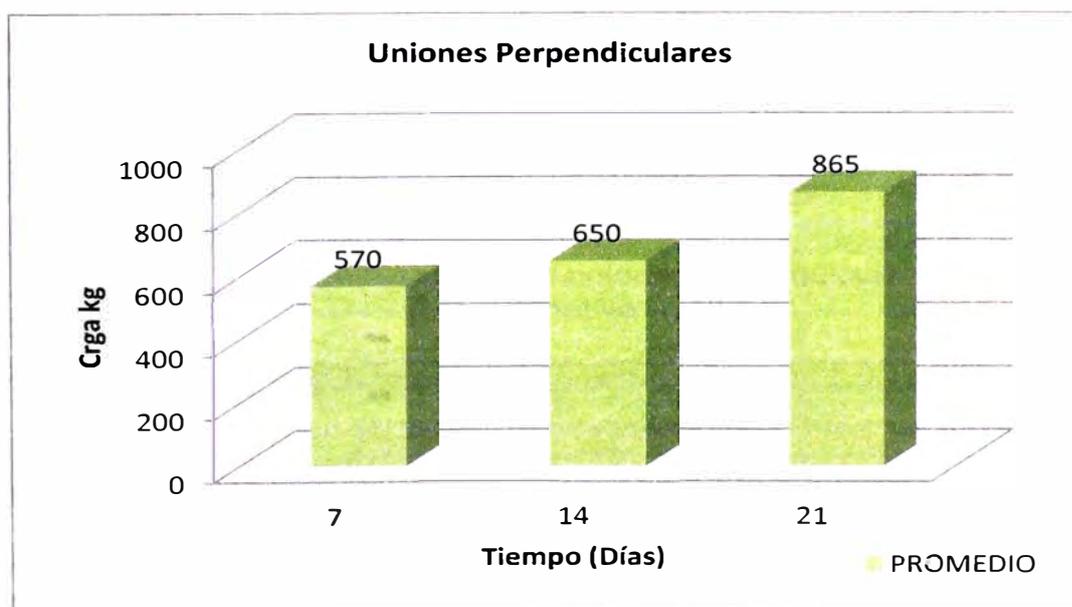
En el caso de uniones perpendiculares, se propuso que en la unión trabaje netamente en el bambú, se utilizó una varilla de $\Phi 3/8''$ doblada en los dos extremos en forma de gancho y con dos pasadores hechos de pernos de $\Phi 3/8''$. Este tipo de unión resistía la carga administrada hasta la falla del bambú por tracción en el tramo vertical y por corte en el tramo horizontal.

Tabla N° 4.10 Tabla de resultado en uniones perpendiculares. - primera alternativa.

PERPENDICULARES	CARGA		
MUESTRA	7	14	21
MEDIA	570	650	865
DESVIACION	91.65	83.02	20.82

Fuente Propia

Gráfico 4.18 Resistencia Media de uniones perpendiculares según tiempo de secado del mortero



Segunda Alternativa: Uso de mortero, barra de Φ 3/8" longitudinal con un gancho a su extremo y un perno de Φ 3/8" al otro extremo y pasador de Φ 3/8".

En este caso de uniones perpendiculares, se propuso que en la unión trabaje el bambú y los otros materiales en conjunto, se utilizó una varilla de Φ 3/8" doblada en uno de los extremos en forma de gancho y en el otro extremo se le unió con un perno de Φ 3/8" mediante soldadura. Esta será sujeta con un pasador hecho de pernos de Φ 3/8" en el gancho. Este tipo de unión resistía la carga administrada hasta la falla del bambú por tracción en el tramo vertical y por compresión en el tramo horizontal.

Tabla N° 4.11 Tabla de resultado en uniones perpendiculares. - Segunda alternativa

PERPENDICULARES	CARGA
MUESTRA	7 DIAS
MEDIA	816.00
DESVIACION	151.43

Fuente Propia

Tercera Alternativa: Uso de mortero, barra de Φ 3/8" longitudinal con ganchos a los extremos y pasador de Φ 1/2".

En este caso se construyó la unión al igual que en la primera alternativa, con la variación del pasador, que cambio de Φ 3/8" a Φ 1/2", y de la ubicación de la unión la cual se colocó atravesando un nodo.

Tabla N° 4.12 Tabla de resultado en uniones perpendiculares. – Tercera alternativa

PERPENDICULARES	CARGA
MUESTRA	7 DIAS
MEDIA	541.00
DESVIACION	151.69

Fuente Propia

Cuarta Alternativa: Uso de mortero, barra de Φ 3/8" un longitudinal con gancho a su extremo y un perno de 3/8" al otro extremo y pasador de Φ 1/2".

En este caso se construyó la unión al igual que en la segunda alternativa, utilizando un pasador de Φ 1/2" (en lugar de pasador Φ 3/8"), y de la ubicación de la unión la cual se colocó atravesando un nodo.

Tabla N° 4.13 Tabla de resultado en uniones perpendiculares. – Cuarta alternativa

PERPENDICULARES	CARGA
MUESTRA	7 DIAS
MEDIA	552.00
DESVIACION	57.31

Fuente Propia

4.6.3 Uniones diagonales

Primera Alternativa:

Uso de mortero, barra de 3/8" longitudinal con ganchos a los extremos y pasador de 3/8".

Al igual que en el caso de uniones perpendiculares, se propuso que en la unión actúe netamente la guadua como resistencia, utilizando una varilla de 3/8" doblada en los dos extremos en forma de gancho y con dos pasadores hechos de pernos de 3/8".

Este tipo de unión resistía la carga administrada hasta la falla del bambú por tracción en el tramo vertical y por corte en el tramo horizontal, como se muestra la figura N° 4.9.



Figura N° 4.9 Unión diagonal a ser ensayada en la máquina universal a tracción

Tabla N° 4.14 Tabla de resultado en uniones diagonales – primera alternativa

DIAGONALES	CARGA (kg)		
	7	14	21
TIEMPO (Días)			
MEDIA	865.00	775.00	650.00
DESVIACION	184.30	106.07	60.00

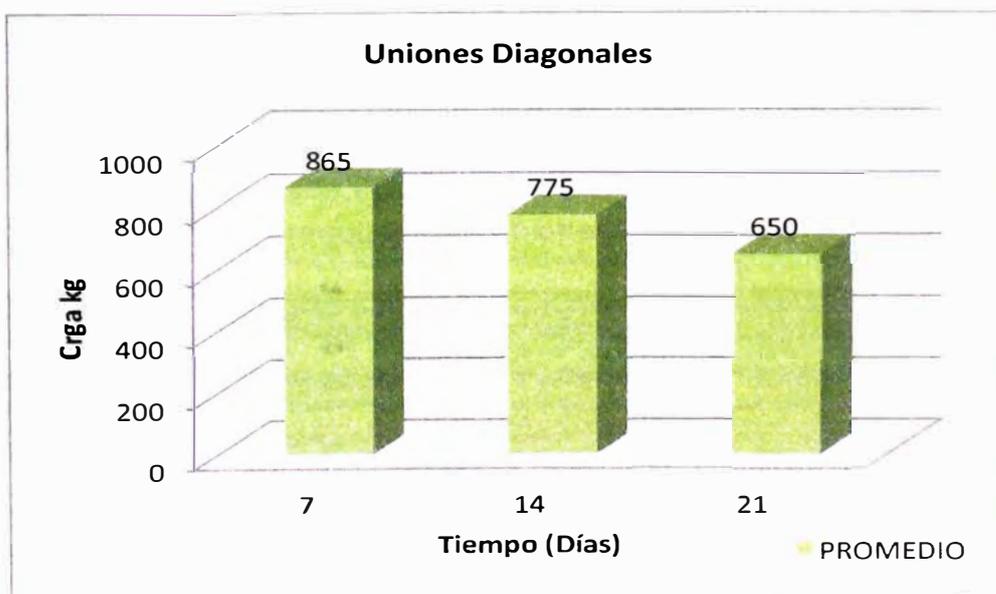
Fuente Propia

Según los resultados mostrados en la tabla N° 4.14, la resistencia va disminuyendo conforme pasan los días, así a los 21 días la resistencia promedio alcanza el valor mínimo de 650 kg, debido a que el mortero de concreto disminuye sus propiedades elásticas con el tiempo, por lo que trae como consecuencia que el material falle a la menor carga sometida.



Figura N° 4.10 Unión diagonal a ser ensayada a los 21 días en la máquina universal a tracción

Gráfico 4.19 Resistencia Media de uniones diagonales según Tiempo de secado del mortero



Segunda Alternativa:

Uso de mortero, barra de 3/8" longitudinal con ganchos a los extremos y pasador de 1/2".

En este caso se construyó la unión al igual que en la primera alternativa, con la variación del pasador, que cambió de 3/8" a 1/2", con la ubicación de la unión que en este caso ya no fue en el medio del entre nodo, sino se ubicó en el nodo.

Tabla N° 4.15 Tabla de resultado en uniones diagonales – segunda alternativa

DIAGONALES	CARGA
MUESTRA	7 DIAS
MEDIA	433.00
DESVIACION	167.40

Fuente Propia

Tercera Alternativa:

Uso de mortero, barra de 3/8" longitudinal con un gancho a su extremo y un perno de 3/8" al otro extremo y pasador de 1/2".

En este caso se construyó la unión con un perno pasante, como se hizo en las uniones perpendiculares, con la variación del pasador que cambio de 3/8" a 1/2", y con la ubicación de la unión que en este caso ya no fue en el medio del entre nodo, sino se ubicó en el nodo.

Tabla N° 4.16 Tabla de resultado en uniones diagonales – tercera alternativa

DIAGONALES	CARGA
MUESTRA	7 DIAS
MEDIA	497.00
DESVIACION	245.0

Fuente Propia

4.7. TABLAS DE RESUMEN FINAL DE DATOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO

BOSQUE ROJO : **ARAMANGO**

Provincia : **Bagua**

Departamento : **Amazonas**

Tabla N° 4.17 Resumen de resultados de ensayos propiedades mecánicas “Promedio”

	ENSAYOS							
	TRACCION	CORTE	COMPRESION C1	COMPRESION C2	FLEXION ESCALA REAL		FLEXION ESCALA PEQUEÑA ESTÁTICA	
	σ(kg/cm²)	σ(kg/cm²)	σ(kg/cm²)	σ(kg/cm²)	ELP (kg/cm²)	E (kg/mm²)	MOR (kg/cm²)	E (kg/mm²)
BOSQUE ROJO	1216.68	234.75	377.91	443.14	171.60	1208.36	259.20	122.15

Fuente Propia

Tabla N° 4.18 Comparativo con otras investigaciones promedio

	ENSAYOS					
	TRACCION	CORTE	COMPRESION	FLEXION ESCALA REAL	FLEXION ESCALA PEQUEÑA ESTATICA	
	σ (kg/cm ²)	σ (kg/cm ²)	σ (kg/cm ²)	E (kg/mm ²)	MOR Mpa	E (kg/mm ²)
BOSQUE ARAMANGO	1216.68	234.75	377.91	1208.36	259.20	122.15
BOSQUE BLANCO	1110.99	83.43	377.91	1141.70	206.82	97.77
SERGIO CLAVER	1097.76	65.24	467.00	-	.	-
LOPEZ Y TRUJILLO	545.46	70.03	486.00	1152.00	.	662

Fuente Propia

NOTA:

Bosque Blanco es el bosque: Flor del Valle Prov. Rioja, Dpto San Martin

Sergio Claver (tesis uniones estructurales- UNI 2010)

Lopez y Trujillo (diseño de uniones y elementos estructurales de guadua).

Gráfico 4.20 Comparativo con otras investigaciones en ensayos de tracción promedio.

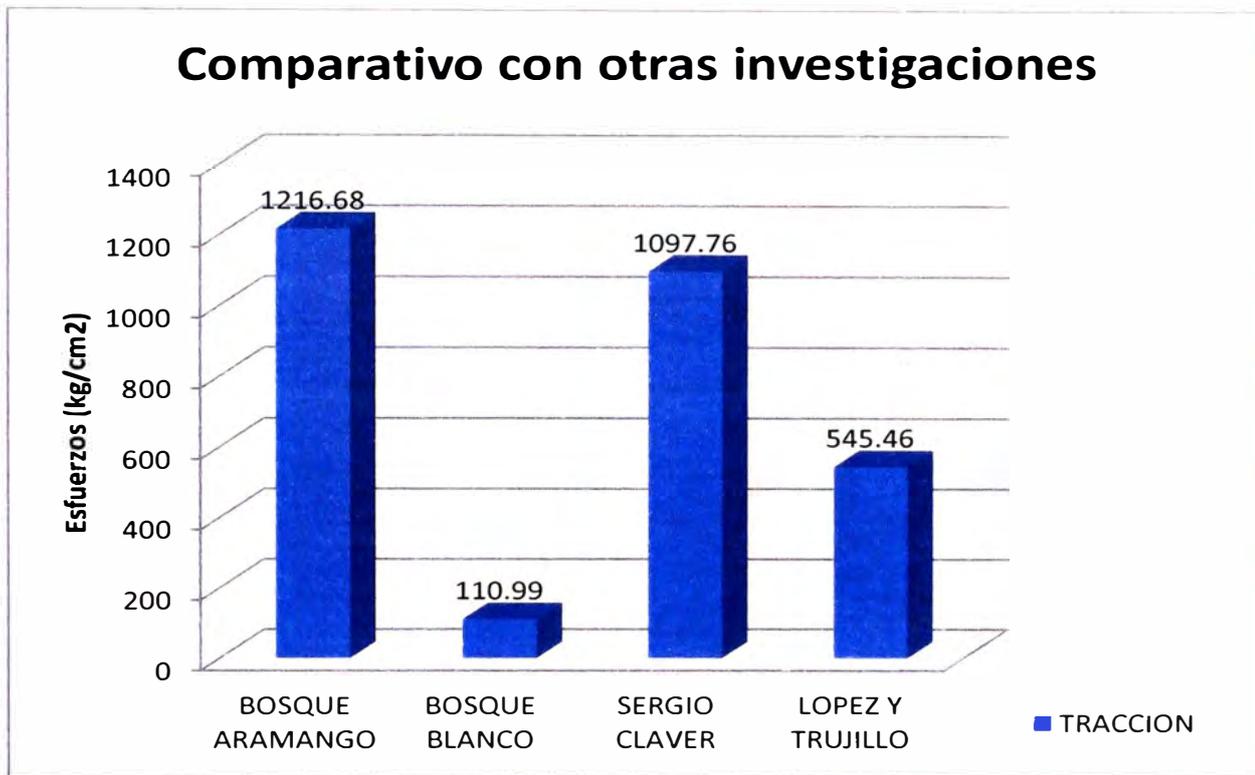


Gráfico 4.21 Comparativo con otras investigaciones en ensayos de corte promedio

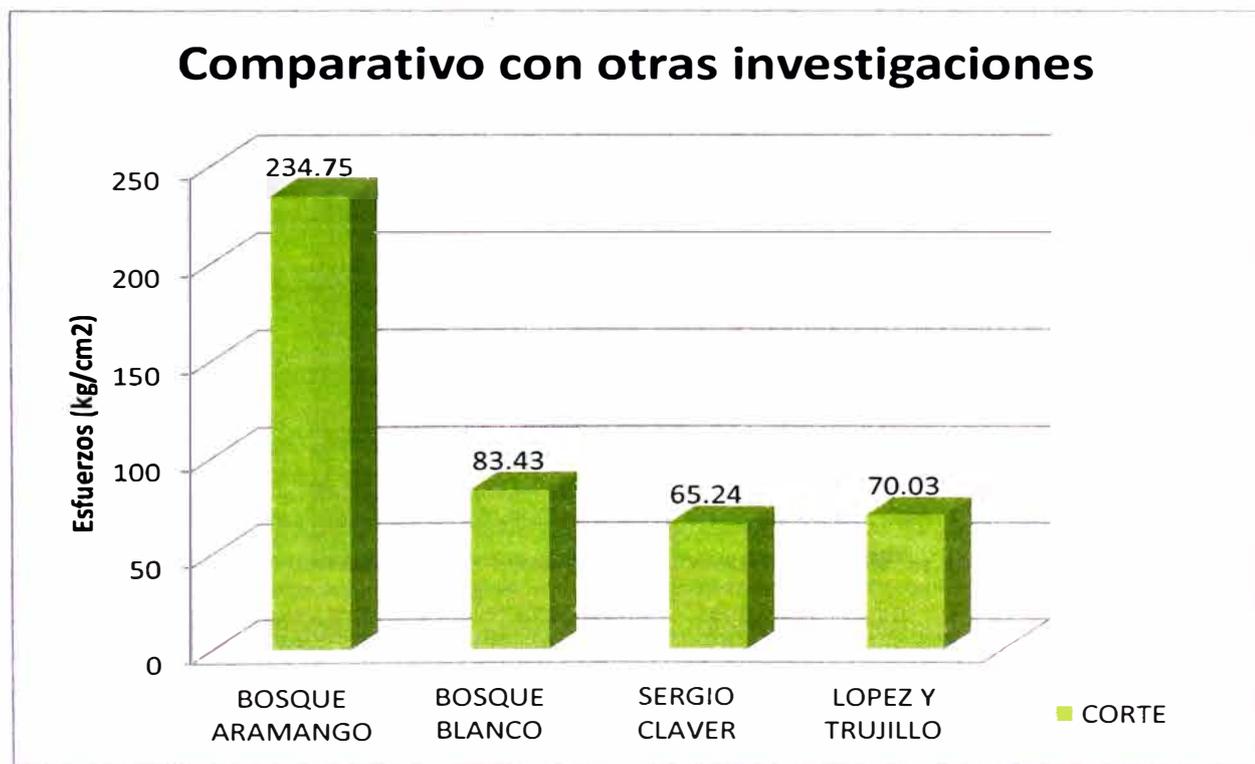


Gráfico 4.22 Comparativo con otras investigaciones en ensayos de compresión promedio

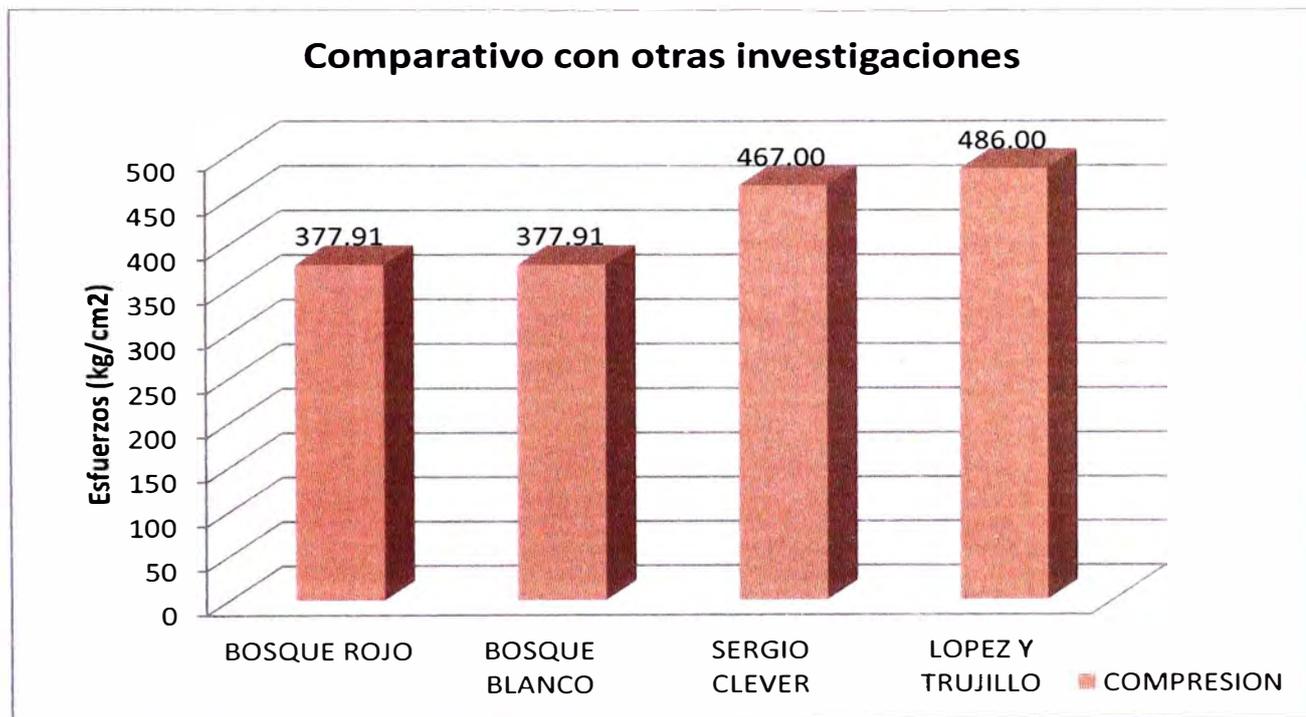


Gráfico 4.23 Comparativo de MOE con otras investigaciones en ensayos de flexión escala natural promedio



Gráfico 4.24 Comparativo de MOR con otras investigaciones en ensayos de flexión estática

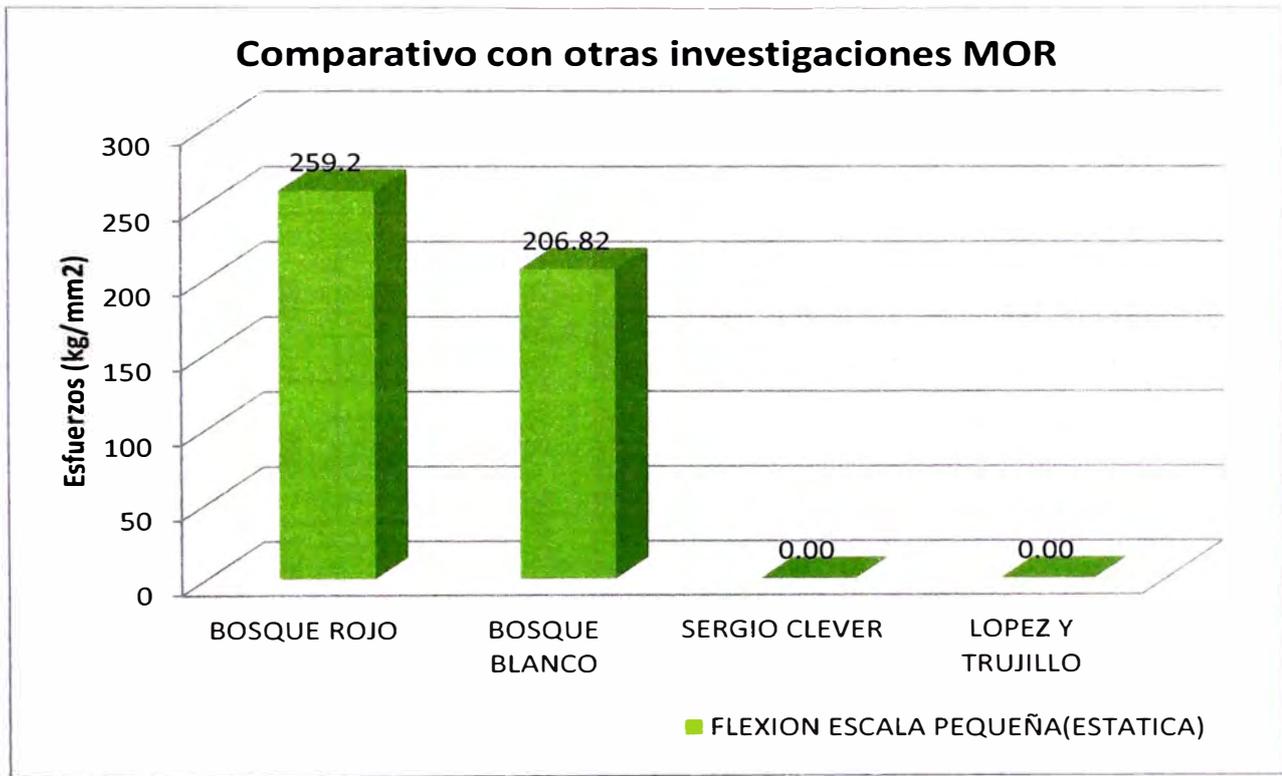


Gráfico 4.25 Comparativo de MOE con otras investigaciones en ensayos de flexión estática

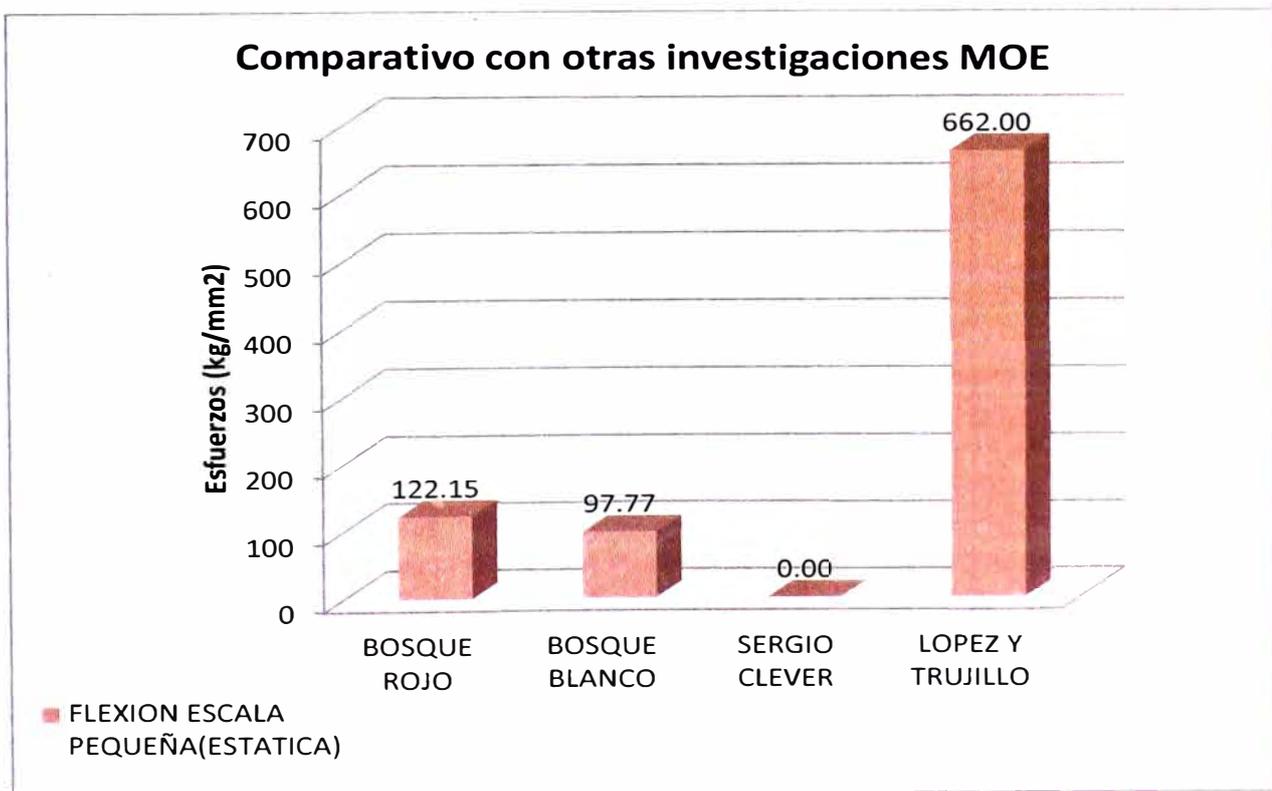


Tabla N° 4.19 Resumen de resultados de ensayos en uniones estructurales "Promedio"- Bosque Blanco. – primera alternativa

BOSQUE BLANCO	UNIONES								
	COLINEALES		PERPENDICULARES			DIAGONALES			PERP. 2DA PROPUESTA
	M. EUCALIPTO	M. CAPIRONA	14 DIAS	14 DIAS	21 DIAS	7 DIAS	14 DIAS	21 DIAS	7 DIAS
	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg
PROMEDIO	533	572	-	758	933	660	830	715	698
DESVIACION	203	145	-	170	231	122	20	253	110

Fuente Propia

Tabla N° 4.20 Resumen de resultados de ensayos en uniones estructurales "Promedio"- Bosque Rojo. - primera alternativa

BOSQUE ROJO	UNIONES								
	COLINEALES		PERPENDICULARES			DIAGONALES			PERP. 2DA PROPUESTA
	M. EUCALIPTO	M. CAPIRONA	7 DIAS	14 DIAS	21 DIAS	7 DIAS	14 DIAS	21 DIAS	7 DIAS
	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg
PROMEDIO	816	778	570	650	865	865	775	650	816
DESVIACION	152	161	92	83	21	184	126.07	60	151

Fuente Propia

Tabla N° 4.21 Comparativo de Uniones colineales con otras investigaciones

UNIONES COLINEALES		
INVESTIGACION	CARGA (kg)	ACCESORIOS
BOSQUE BLANCO	554	1 perno de 3/8 de pulgada en cada extremo
BOSQUE ARAMANGO (1era)	778	1 perno de 3/8 de pulgada en cada extremo
BOSQUE ARAMANGO (3era)	972	1 perno de 1/2 de pulgada en cada extremo
SERGIO GUTIERREZ	875	1 perno de 1/2 de pulgada en cada extremo
BOSQUE ARAMANGO (5ta)	1106	2 pernos de 3/8 de pulgada en cada extremo sin arandelas
SERGIO GUTIÉRREZ(2)	950	2 pernos de 1/2 de pulgada en cada extremo sin arandelas

Fuente Propia

Gráfico 4.26 Comparativo de uniones colineales con otras investigaciones

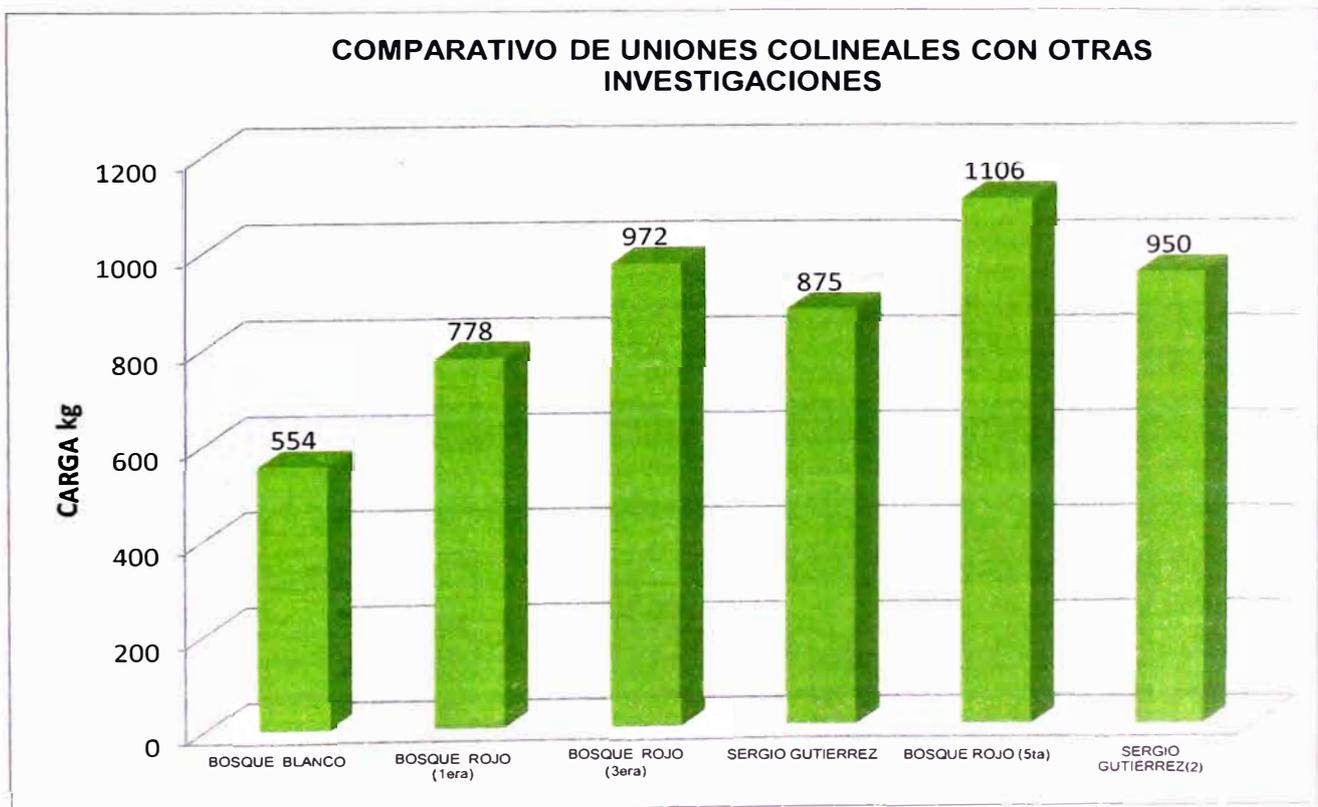


Tabla N° 4.22 Uniones perpendiculares (tipo 1) con otras investigaciones (T=21días)

UNIONES PERPENDICULARES TIPO 1		
INVESTIGACION	CARGA (kg)	ACCESORIO
BOSQUE BLANCO	758	2 Pasador de 3/8 de pulgada, ganchos longitudinal, mortero
BOSQUE ARAMANGO	865	2 Pasador de 3/8 de pulgada, ganchos longitudinal, mortero
BOSQUE ARAMANGO (3era)	690	2 Pasador de 1/2 de pulgada, ganchos longitudinal, mortero
DIEGO JARAMILLO (2003)	2531	2 Pasador de 3/8 de pulgada, ganchos longitudinal, mortero

Fuente Propia

Gráfico 4.27 Comparativo de uniones perpendiculares con otras investigaciones (tipo 1)

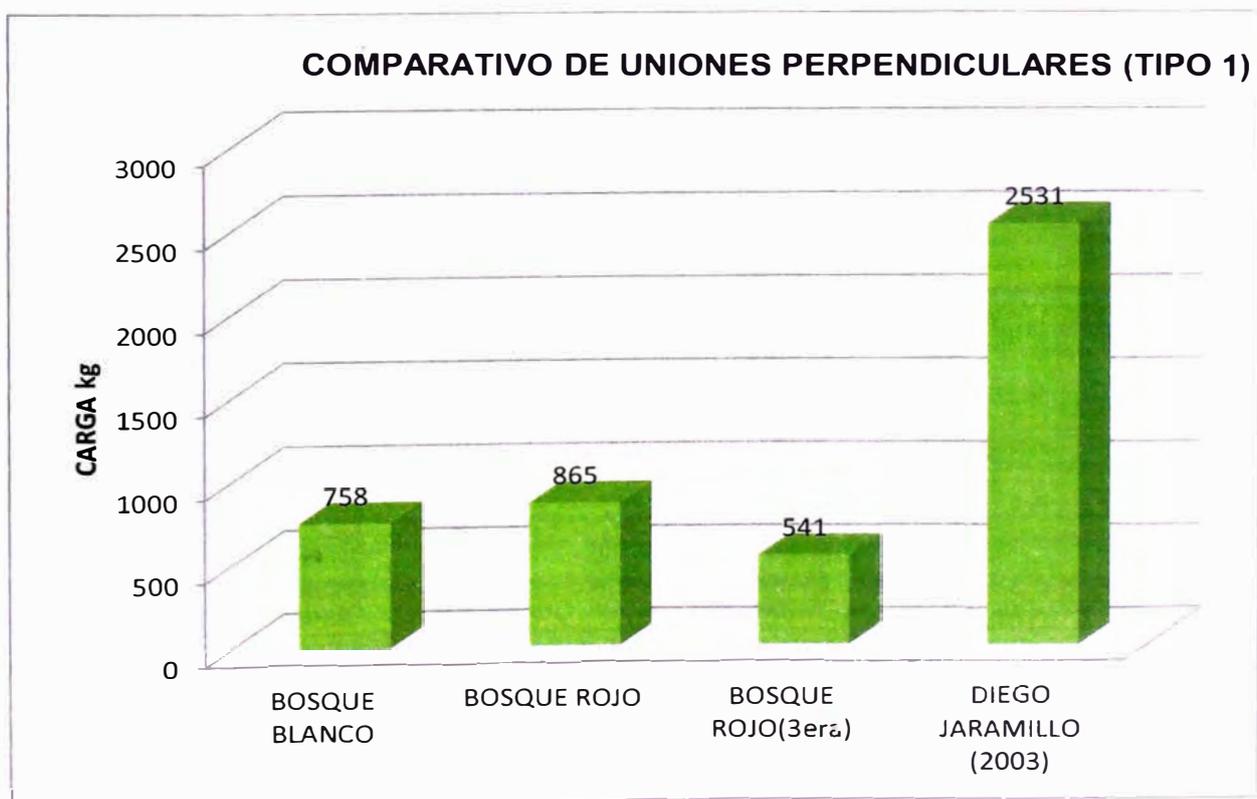


Tabla N° 4.23 Comparativo de Uniones perpendiculares (tipo 2) con otras investigaciones

UNIONES PERPENDICULARES TIPO 2		
INVESTIGACION	CARGA (kg)	ACCESORIOS
BOSQUE BLANCO	698	Pasador de 3/8 de pulgada perno longitudinal y mortero
BOSQUE ROJO	570	Pasador de 3/8 de pulgada perno longitudinal y mortero
BOSQUE ROJO(4ta)	552	Pasador de 1/2 de pulgada perno longitudinal y mortero
SERGIO CLAVER	2094	Pasador de 1/2 de pulgada perno longitudinal y mortero
SIMÓN VÉLEZ (modificado 2003)	1878	Perno Longitudinal y Mortero
Sandra Clavijo (2003)	2954	Lámina de acero alrededor y tornillos

Fuente Propia

Gráfico 4.28 Comparativo uniones perpendiculares con otras investigaciones (tipo 2)

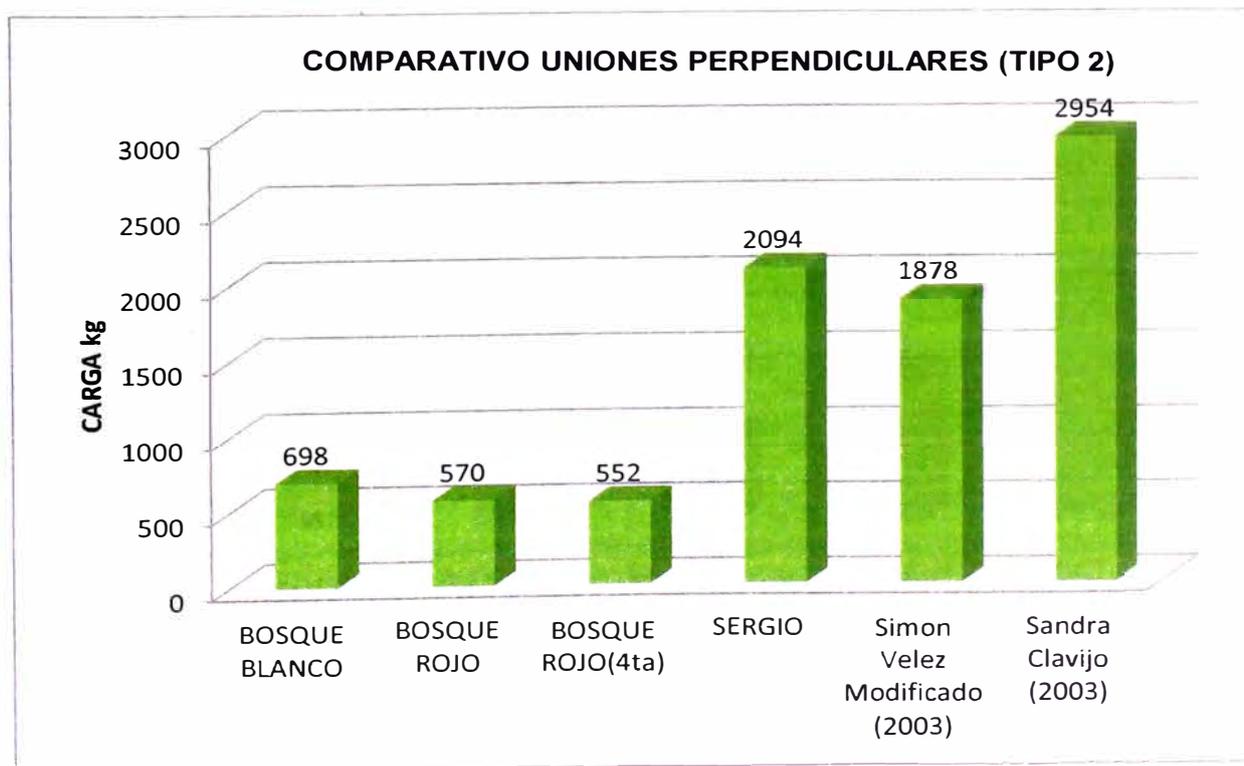
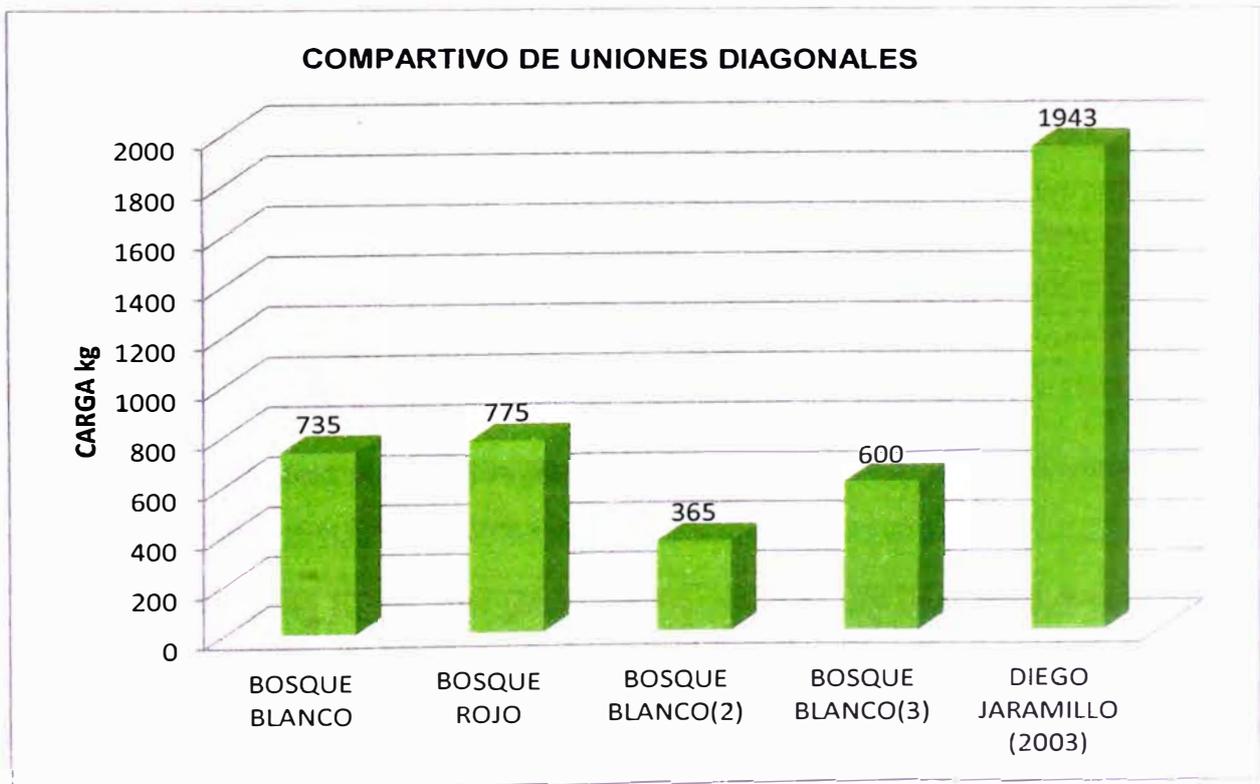


Tabla N° 4.24 Comparativo de Uniones diagonales con otras investigaciones

COMPARATIVO DE UNIONES DIAGONALES		
INVESTIGACION	CARGA (kg)	ACCESORIOS
BOSQUE BLANCO	735	2 Pasador de $\Phi 3/8$ de pulgada gancho longitudinal y mortero
BOSQUE ROJO	775	2 Pasador de $\Phi 3/8$ de pulgada gancho longitudinal y mortero
BOSQUE BLANCO(2)	365	2 Pasador de $\Phi 1/2$ de pulgada gancho longitudinal y mortero
BOSQUE BLANCO(3)	600	Pasador de $\Phi 1/2$ de pulgada perno longitudinal y mortero
DIEGO JARAMILLO (2003)	1943	1 perno de $\Phi 3/8$ de pulgada en cada extremo

Fuente Propia

Gráfico 4.29 Comparativo de uniones diagonales con otras investigaciones, (T=14Dias)



CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- No se encontró diferencia significativa en la resistencia promedio, entre las uniones colineales, usando en su interior madera capirona (2"x2") y usando madera eucalipto de ϕ 2" y un perno de ϕ 3/8" en los extremos. Sus valores promedio encontrados son de 1,106 kg y 1,100 kg respectivamente.
- La unión perpendicular con barra de ϕ 3/8" longitudinal, con ganchos a los extremos, pasador de ϕ 3/8" y mortero presento la mayor resistencia promedio a los 865 kg.
- La unión diagonal con barra de ϕ 3/8" longitudinal, con ganchos a los extremos, pasador de ϕ 3/8" y mortero presento la mayor resistencia promedio a los 775 kg.
- Los parámetros físicos del bambú obtenidos experimentalmente fueron: densidad promedio, 0.149 gr/cm³; contenido de humedad promedio 12.42%; contracción en diámetro exterior (3.94%), diámetro interior (3.16%) y variación de altura (0.35%).
- Los parámetros mecánicos de la guadua obtenidos experimentalmente fueron: resistencia a la compresión superior e inferior, 37.07 MPa y 43.47 MPa respectivamente, lo que permite concluir que en una guadua la parte inferior resiste mejor a la compresión, que la parte superior debido a su mayor área transversal.
- La resistencia al corte fue alta con respecto a investigaciones anteriores, llegando a un promedio de 23.93MPa.
- El Módulo de Elasticidad (MOE) en los ensayos de flexión en escala real se encontró graficando Esfuerzo vs Deformación siendo 1,208.36 Kg/mm², similar con los de otras investigaciones.
- El Módulo de Rotura (MOR) en los ensayos de flexión en escala real es 171.60 Kg/mm².

- El Módulo de Elasticidad (MOE) en los ensayos de flexión estática (escala pequeña) se encontró graficando Esfuerzo vs Deformación siendo 122.15 Kg/mm^2 , similar con los de otras investigaciones.
- El Módulo de Rotura (MOR) en los ensayos de flexión estática es 259.20 Kg/mm^2 .

5.2 RECOMENDACIONES

- Seguir investigando sobre el uso de la GUADUA ANGUSTIFOLIA en la construcción de viviendas prácticas, seguras y económicas a partir de los resultados encontrados por otros investigadores y la presente investigación, para ello se debe revisar cuidadosamente el bambú al ser obtenido, especialmente que no esté contaminado, infectado con insectos o que haya sido sometido a esfuerzos durante el transporte que haya podido generar resquebrajamientos interiores.
- Diseñar nuevas estructuras haciendo uso de las combinaciones lineales, diagonales y perpendiculares, circunscribiéndose a las necesidades reales de vivienda (espacio, tiempo, disponibilidad de materiales).
- INDECOPI (Instituto de Defensa de la Competencia y de la Propiedad Intelectual) debe establecer una norma técnica peruana (NTP) sobre los métodos de ensayo de las propiedades del bambú aquí estudiadas.
- El Ministerio de Agricultura debe seguir promoviendo la forestación en suelos degradados, con la especie GUADUA ANGUSTIFOLIA y otras especies de Bambú que pudieran desarrollarse en nuestras diferentes regiones por cuanto existen especies que se adaptan mejor a las diversas condiciones de climas y de suelos y promover su cultivo a las zonas aledañas a las lagunas de oxidación de aguas servidas.
- Investigar sobre las características físicas y mecánicas de otras especies de bambú, a fin de determinar las condiciones de usos para otras especies nativas que se encuentran según el mapa genero de bambú en el Perú (www.perubambu.org.pe) y de las que se pudieran propagar favorablemente en nuestro país.

BIBLIOGRAFÍA

1. Anacilia Arbeláez Arce, INVESTIGACIONES SOBRE GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH, Universidad Nacional de Colombia, Tesis Facultad de Ciencias Agropecuarias. Bogotá, (2001).
2. Comité Técnico ISO/TC 165, NORMA INTERNACIONAL – ISO 22156 DISEÑO ESTRUCTURAL, Primera Edición 2004-05-15, Bogotá, (2004).
3. Comité Técnico ISO/TC 165, NORMA INTERNACIONAL – ISO 22157-1 BAMBÚ DETERMINACION DE PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS, Primera Edición 2004-06-01, Bogotá, (2004).
4. Comité Técnico ISO/TC 165, NORMA TECNICA COLOMBIANA NTC 5301 PRESERVACION Y SECADO DEL CULMO DE GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH, INCOTEC, Bogotá, (2007).
5. López Muñoz Luis Felipe, Trujillo Cheatle David, DISEÑO DE UNIONES Y ELEMENTOS EN ESTRUCTURAS DE GUADUA, Seminario - Taller Avances en la investigación sobre Guadua, Bogotá, (2002).