

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

**ESTUDIO DE CONEXIONES ENTRE ELEMENTOS
ESTRUCTURALES DE CAÑA GUADUA SOMETIDOS A CARGA
AXIAL**

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

**JUAN CARLOS NOLIVOS VALIENTE
jcnolivosepn@hotmail.com**

**JAIME GONZALO YACELGA DÍAZ
gonyadiz200677@hotmail.com**

**DIRECTOR: ING. JORGE VINTIMILLA JARAMILLO
vintimilla.j@gmail.com**

Quito, Mayo 2010

DECLARACIÓN

Nosotros, Juan Carlos Nolivos Valiente y Jaime Gonzalo Yacelga Díaz, declaramos que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Juan Carlos Nolivos Valiente

Jaime Gonzalo Yacelga Díaz

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por los señores Juan Carlos Nolivos Valiente y Jaime Gonzalo Yacelga Díaz, bajo mi supervisión.

Ing. Jorge Vintimilla J.

DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

A mi madre Beatriz quien siempre me brindo su amor y apoyo y fue la inspiración de mi vida.

Al Ingeniero Jorge Vintimilla director del proyecto por su valiosa guía y a los Ingenieros Félix Vaca y Patricio Placencia por la ayuda brindada en la realización del presente trabajo.

Al personal de secretaria de la FICA Sra. Ligia Carvajal, Sra. Sonia de Marquez y Sra. Cecilia Dután por brindarme su amistad y por siempre alentarme durante mi carrera.

Al laboratorio de Ensayo de Materiales de la E.P.N. en especial a los Ingenieros Cesar Monroy y Gustavo Martinez por su gran colaboración y guía en los ensayos realizados.

A Sonia y Arthur por estar junto a mí y apoyarme incondicionalmente.

A Esperanza y José por abrirme las puertas de su hogar y siempre creer en mí.

A Dolores, Patricio, Jeanneth, Diego y Ricardo por brindarme su apoyo, comprensión y cariño.

A Gloria por su aliento y comprensión.

A mi compañero Gonzalo y sus padres por su gran amistad.

Johnin, Edgar y sus maravillosas familias, gracias por “todo”.

A Karina, gracias por tu gran amor y apoyo.

A todas aquellas personas que con ánimo, confianza y aprecio contribuyeron durante toda mi vida.

A Dios, por siempre brindarme su gran amor.

Juan Carlos

DEDICATORIA

A la memoria de mi madre Delia María Beatriz Chulca Jiménez.

Juan Carlos Nolivos

AGRADECIMIENTOS

A mis padres por haberme dado siempre su apoyo y amor incondicional y por su ejemplo de constancia y fé aun en los más duros momentos.

A los ingenieros Jorge Vintimilla, Félix Vaca y Patricio Placencia por su acertada ayuda en la realización de este proyecto.

Al personal del laboratorio de ensayo de materiales en particular al Ingeniero Gustavo Martínez por su ayuda en la realización de los ensayos.

A quienes laboran en la secretaria de la facultad en particular a la Sra. Sonia de Marques por el apoyo brindado.

A mi compañero Juan Carlos por su ayuda en el proyecto.

A mis tías que han creído en mí y me han dado aliento desde niño: Gloria, Blanca, Teresa y desde el cielo Marianita.

A todas aquellas personas que de un modo u otro han estado conmigo y me han incentivado entre ellas Isabel Novoa y Paulo Yáñez mis grandes amigos; a un pequeño amigo Arthur y a mi amiga especial Sonia Burbano ya sabes “876 forever”.

Gracias Dios por todo lo que me has dado.

Gonzalo

DEDICATORIA

A mis padres Alicia y Gonzalo.....

Gonzalo Yacelga

CONTENIDO

DECLARACIÓN.....	II
CERTIFICACIÓN.....	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
DEDICATORIA.....	V
RESUMEN.....	XIX
ABSTRACT.....	XX
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	
1.1 GENERALIDADES.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	3
1.2.1 OBJETIVOS GENERALES.....	3
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.3 ALCANCE.....	4
1.4 METODOLOGÍA.....	4
CAPÍTULO II. LA CAÑA GUADUA	
2.1 EL BAMBÚ.....	5
2.2 LA CAÑA GUADUA.....	8
2.2.1 GENERALIDADES.....	8
2.2.2 TAXONOMÍA Y MORFOLOGÍA.....	9
2.2.3 DISTRIBUCIÓN, ECOLOGÍA Y ESTADOS DE MADUREZ.....	13
2.2.4 SILVICULTURA.....	15
2.2.5 POST COSECHA Y PRESERVACIÓN.....	17
2.2.6 IMPORTANCIA Y USOS.....	21
2.2.7 PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS.....	31
2.2.8 LA CAÑA GUADUA EN EL ECUADOR.....	35
CAPÍTULO III. UNIONES CON CAÑA GUADUA	
3.1 CLASIFICACIÓN Y TIPO DE CONEXIONES.....	44
3.1.1 UNIONES AMARRADAS.....	46

3.1.2 UNIONES CLAVADAS.....	47
3.1.3 UNIONES EMPERNADAS.....	47
3.1.4 UNIONES ZUNCHADAS.....	51
3.1.5 UNIONES ESTRUCTURALES.....	53
3.2 ENTALLADURAS USADAS EN CONEXIONES CON GUADUA.....	58
3.3 UNIÓN ENTRE ELEMENTOS HORIZONTALES Y VERTICALES.....	59
3.4 UNIÓN DE PIEZAS HORIZONTALES.....	62
3.5 OTRAS CONEXIONES PROPUESTAS.....	63

CAPÍTULO IV. PLAN DE ENSAYO DE CONEXIONES

4.1 OBJETIVOS Y ALCANCE.....	70
4.1.1 OBJETIVOS.....	70
4.1.2 ALCANCE.....	70
4.2 CONFIGURACIÓN DE LA ESTRUCTURA A ENSAYAR.....	71
4.3 DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO.....	72
4.4 MATERIALES Y EQUIPO UTILIZADO.....	74
4.5 ALTERNATIVAS A SER ESTUDIADAS.....	80
4.5.1 CONEXIONES EMPERNADAS SIN MORTERO.....	80
4.5.2 CONEXIONES EMPERNADAS CON MORTERO.....	85
4.5.3 CONEXIONES CON ACCESORIOS DE PVC.....	89

CAPÍTULO V. ENSAYO DE CONEXIONES

5.1 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO.....	92
5.2 ENSAYO DE CONEXIONES EMPERNADAS SIN MORTERO (CESM).....	95
5.2.1 RECOPIACIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS.....	95
5.2.2 MODOS DE FALLA.....	102
5.3 ENSAYO DE CONEXIONES EMPERNADAS CON MORTERO (CECM).....	105
5.3.1 RECOPIACIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS.....	105
5.3.2 MODOS DE FALLA.....	109

5.4 ENSAYO DE CONEXIONES CON ACCESORIOS DE PVC (CPVC).....	111
5.4.1 RECOPIACIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS.....	111
5.4.2 MODOS DE FALLA.....	113
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
6.1 CONCLUSIONES.....	115
6.2 RECOMENDACIONES.....	121
BIBLIOGRAFÍA.....	122
ANEXOS.....	127

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2.1: PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LA GUADUA	31
TABLA 2.2: PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LA GUADUA.....	32
TABLA 2.3: PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LA GUADUA	33
TABLA 2.4: PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LA GUADUA	33
TABLA 2.5: PLANTACIONES DE BAMBÚ EN ECUADOR AÑO 2003	37
TABLA 4.1: CARACTERÍSTICAS DE LA CAÑA GUADUA.....	74
TABLA 5.1: DATOS OBTENIDOS DEL ENSAYO CESM	100
TABLA 5.2: DATOS OBTENIDOS DEL ENSAYO CECM	108
TABLA 5.3: DATOS OBTENIDOS DEL ENSAYO CPVC.....	113

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1: TIPOS DE BAMBÚ	5
FIGURA 2.2: DISTRIBUCIÓN DEL BAMBÚ EN EL MUNDO	6
FIGURA 2.3: RIZOMAS DE BAMBÚ	6
FIGURA 2.4: GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH	8
FIGURA 2.5: CHUSQUÍN	9
FIGURA 2.6: BIOTIPOS DE GUADUA	10
FIGURA 2.7: MORFOLOGÍA DE LA CAÑA GUADUA	12
FIGURA 2.8: ESTADOS DE MADUREZ DE LA GUADUA	14
FIGURA 2.9: TIPOS DE CURADO	19
FIGURA 2.10: INMUNIZACIÓN POR QUÍMICOS	20
FIGURA 2.11: USOS DE LA GUADUA	21
FIGURA 2.12: PAISAJE DE CAÑA GUADUA	23
FIGURA 2.13: USOS DE LA CAÑA GUADUA	24
FIGURA 2.14: PUENTE DE GUADUA EN COLOMBIA DE JÖRG STAMM.....	25
FIGURA 2.15: PABELLÓN ZERI, MANIZALES, COLOMBIA. ARQ. SIMÓN VÉLEZ.....	26
FIGURA 2.16: VIVIENDA EN CAÑA GUADUA	26
FIGURA 2.17: CATEDRAL DE NUESTRA SEÑORA DE LA POBREZA PEREIRA	27

FIGURA 2.18: VISERA PARQUE DE LA VIDA EN ARMENIA, CÚPULA GEODÉSICA DE SHOEI YOH (JAPÓN) Y PARQUE METROPOLITANO DEL CAFÉ (PEREIRA, COLOMBIA).....	27
FIGURA 2.19: RESTAURANTE CONSTRUIDO POR JÖRG STAMM.....	27
FIGURA 2.20: USOS DE LA CAÑA GUADUA	29
FIGURA: 2.21: FALLA DE GUADUA A COMPRESIÓN	34
FIGURA 2.22: LA CAÑA GUADUA EN CONSTRUCCIÓN	39
FIGURA 2.23: LA CAÑA GUADUA EN CONSTRUCCIÓN	40
FIGURA 2.24: VIVIENDA DE CAÑA EN ZONAS MARGINALES DE ECUADOR	42
FIGURA 2.25: VIVIENDAS DE LA FUNDACIÓN HOGAR DE CRISTO.....	42
FIGURA 3.1 UNIÓN AMARRADA CON CUERDA	46
FIGURA 3.2 AMARRE CUADRADO Y EN ASPA	46
FIGURA 3.3: UNIÓN CLAVADA.....	47
FIGURA 3.4: TORNILLOS AXIALES.....	48
FIGURA 3.5: TORNILLOS TRASVERSALES	49
FIGURA 3.6: UNIÓN PERPENDICULAR MEDIANTE TORNILLO AXIAL	50
FIGURA 3.7: UNIÓN DE TORNILLO AXIAL RECORTADA.....	50
FIGURA 3.8: ENTRENUDOS LLENOS DE MORTERO	50

FIGURA 3.9: CONEXIÓN COLUMNA-CERCHA DEL TECHO POR MEDIO DE PERNO	51
FIGURA 3.10: CONEXIONES ZUNCHADAS.....	51
FIGURA 3.11: CORTE LATERAL DE UNIONES CON PLATINAS	52
FIGURA 3.12: EMPERNADO CON PLETINAS EN ACERO.....	52
FIGURA 3.13A. UNIÓN COLUMNA CIMIENTO.....	54
FIGURA 3.13B. UNIÓN COLUMNA CIMIENTO.....	54
FIGURA 3.14 UNIÓN ENTRE MUROS.....	55
FIGURA 3.15 UNIÓN ENTRE MUROS PERPENDICULARES.....	56
FIGURA 3.16 UNIÓN ENTRE MUROS Y CUBIERTA	57
FIGURA 3.17 ENTALLADURAS UTILIZADAS EN CAÑA GUADUA.....	58
FIGURA 3.18 CORTE BOCA DE PESCADO.....	59
FIGURA 3.19: UNIÓN CON AMARRE Y CLAVIJA	59
FIGURA 3.20: BOCA DE PESCADO CON CLAVIJAS	60
FIGURA 3.21: UNIÓN CON ANCLAJE DE MADERA	60
FIGURA 3.22: UNIÓN CON ANCLAJE METÁLICO	60
FIGURA 3.23: UNIÓN EN CRUZ CON PASADOR.....	61
FIGURA 3.24: UNIÓN LATERAL CON PASADOR O CLAVIJAS	61
FIGURA 3.25: UNIÓN DE ESQUINA	61
FIGURA 3.26: APLASTAMIENTO EN UNIÓN DE CAÑA GUADUA	62
FIGURA 3.27: UNIÓN CON DOBLE CUÑA DE MADERA.....	62
FIGURA 3.28: UNIÓN CON PASADORES Y AJUSTADORES DEL AMARRE	63

FIGURA 3.29: UNIÓN ARRIOSTRADA	63
FIGURA 3.30: CONEXIÓN CON EMPATE FRONTAL CON ANTEPECHO	64
FIGURA 3.31: UNIÓN CON CONCRETO – S. VÉLEZ	64
FIGURA 3.32: UNIONES C. TÖNGES.....	65
FIGURA 3.33: UNIÓN CON PLATINA – R.PIANO.....	66
FIGURA 3.34: UNIÓN CON TORNILLOS GUTIÉRREZ-GÓMEZ	66
FIGURA 3.35: UNIÓN CON TORNILLOS – S.YOH	67
FIGURA 3.36: UNIÓN CON TORNILLOS TRUJILLO-ORTIZ	67
FIGURA 3.37: ESQUEMA DE LA PROPUESTA – T.OBERMANN.....	68
FIGURA 4.1: DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA A ENSAYAR.....	72
FIGURA 4.2: ESQUEMA DE ESFUERZOS ACTUANTES EN LAS CONEXIONES	73
FIGURA 4.3: CAÑA GUADUA UTILIZADA EN LA CONSTRUCCIÓN.....	74
FIGURA 4.4: PERNOS.....	76
FIGURA 4.5: ACCESORIOS DE PVC.....	77
FIGURA 4.6: CAUCHO	77
FIGURA 4.7: HERRAMIENTAS	78
FIGURA 4.8: MARCO DE CARGA Y ANILLO.....	79
FIGURA 4.9: DEFORMÍMETRO, ADAPTADOR Y APOYOS.....	80
FIGURA 4.10: ESQUEMA DE CONEXIONES EMPERNADAS	80
FIGURA 4.11: CORTE DE LA CAÑA GUADUA.....	81
FIGURA 4.12: PERFORACIONES REALIZADAS A LA CAÑA.....	83

FIGURA 4.13: ARMADO DE CONEXIONES PERNADAS.....	84
FIGURA 4.14: ESQUEMA DE UNIÓN EMPERNADA CON MORTERO.....	87
FIGURA 4.15: ARMADO CONEXIONES EMPERNADAS CON MORTERO	88
FIGURA 4.16: ESQUEMA DE CONEXIONES CON PVC.....	90
FIGURA 4.17: ARMADO DE CONEXIONES CON PVC	90
FIGURA 5.1: MONTAJE DE EQUIPOS PARA ENSAYO	92
FIGURA 5.2: ACCIONES ACTUANTES EN LAS CONEXIONES	94
FIGURA 5.3: PUNTOS DE ANÁLISIS EN LAS CONEXIONES	96
FIGURA 5.4: DIAGRAMA CARGA DEFORMACIÓN (CESM).....	96
FIGURA 5.5: ESFUERZOS DE APLASTAMIENTO EN CESM.....	97
FIGURA 5.6: ESFUERZOS DE CORTE EN CESM	98
FIGURA 5.7: ÁREAS EFECTIVAS PARA TRACCIÓN EN CESM	99
FIGURA 5.8: VALOR d PARA CLIVAJE	100
FIGURA 5.9: DESLIZAMIENTO DEL CORDÓN SUPERIOR DE LA CECHA.....	102
FIGURA 5.10: FALLAS POR CORTE EN EL CORDÓN SUPERIOR DE LA CERCHA Y FLEXIÓN EN EL PERNO	103
FIGURA 5.11: UNIÓN SOMETIDA A SIMPLE CIZALLAMIENTO.....	104
FIGURA 5.12: FALLA EN EL ORIFICIO DE PASE DEL PERNO.....	104
FIGURA 5.13: FALLAS EN EL PUNTO SUPERIOR DE LA CERCHA.....	105
FIGURA 5.14: DIAGRAMA CARGA DEFORMACIÓN (CECM)	106
FIGURA 5.15: ÁREA EFECTIVA PARA TRACCIÓN EN CECM.....	107
FIGURA 5.16: FALLA PRESENTADA EN LA JUNTA CECM	110

FIGURA 5.17: DESPRENDIMIENTO DEL MORTERO.....	110
FIGURA 5.18: DIAGRAMA CARGA DEFORMACIÓN ENSAYO CPVC	111
FIGURA 5.19: ÁREA EFECTIVA EN CPVC.....	112
FIGURA 5.20: FALLA POR APLASTAMIENTO DE LA GUADUA.....	114
FIGURA 6.1: BAHAREQUE ENCEMENTADO.....	117
FIGURA 6.2: CURVAS CARGA-DEFORMACIÓN	118
FIGURA 6.3: DIAGRAMAS COMPARATIVOS DE RIGIDEZ, CARGA Y DEFORMACIÓN	119

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO N° 1: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA CAÑA GUADUA UTILIZADA.....	128
ANEXO N° 2: CÁLCULO DE CONTENIDO DE HUMEDAD, DENSIDAD SECA Y DENSIDAD BÁSICA DE LA GUADUA	130
ANEXO N° 3: DATOS EXPERIMENTALES OBTENIDOS DEL ENSAYO	134
ANEXO N° 4 PRESERVANTES UTILIZADOS EN LA CAÑA GUADUA	138
ANEXO N° 5: NORMAS PARA LA UTILIZACIÓN DE LA GUADUA	140
ANEXO N° 6: FOTOGRAFÍAS	152

RESUMEN

En el presente proyecto de titulación se realiza un estudio experimental acerca de conexiones entre elementos rollizos de caña guadua angustifolia Kunth, material natural de múltiples beneficios ecológicos que puede brindar alternativas nuevas para sistemas de construcción, principalmente en áreas de interés social.

Previo a la descripción de los ensayos y su ejecución se plantea una investigación acerca del bambú y particularmente del género guadua, de nombre científico *Guadua Angustifolia Kunth* (*Bambusa Guadua Humboldt-Bonplant*). Se detalla características tales como su clasificación taxonómica, periodos de crecimiento, morfología, métodos de preservación y propiedades físico-mecánicas las mismas que son de gran interés al momento de realizar un diseño estructural. Se presenta también datos acerca de la presencia de la caña guadua en el Ecuador y sus diferentes usos.

Como información previa y que sirvió de base para la experimentación se da un resumen acerca de los tipos de conexiones que se emplean en los sistemas constructivos con caña guadua. Estos datos fueron obtenidos de normas y estudios realizados acerca del tema.

La experimentación consistió en construir cerchas triangulares de caña guadua las mismas que fueron sometidas a ensayos destructivos aplicando carga vertical, buscando obtener información acerca del comportamiento de tres diferentes tipos de conexión: conexiones emperradas, conexiones emperradas utilizando mortero de cemento como refuerzo en los puntos de unión y conexiones empleando accesorios de tubería sanitaria de PVC.

Los datos obtenidos ayudaron a determinar el comportamiento de las conexiones a fin de plantear las conclusiones y recomendaciones pertinentes que conlleven en lo posible la realización de futuras investigaciones.

ABSTRACT

Currently the titulation project is conducting an experimental study about connections between stalk of cane *Guadua Angustifolia Kunt*, natural material with multiple ecological benefits that can bring new alternatives for construction systems, especially in areas of social interest.

Before describing the study and its methodology background information about the bamboo specifically the genera *Guadua Angustifolia Kunt* (*Bambusa Guadua Humboldt-Bonplant*) should be outlined. Characteristics to note include its taxonomic classification, periods of growth, morphology, preservation methods and physiomechanical properties; these are the details that are necessary to carry out a structural desing. Data about the presence of the cane *guadua* in Ecuador and its different uses should also be presented.

As previous studies, which provided the basis for this study have explained a summary is provided on the types of connections used in constructive systems with cane *guadua*. This data was obtained from previous research and legislation made on the topic.

Methods included are building triangular support beams made of cane *guadua* with axial load was applied until the beams were subjected to stress trials where fractured. Information about the behavior of three different connection types were obtained screwed connections using cement mortar to reinforce the points of intersection and connections using PVC connectors.

The data obtained helped determine the behavior of the connections in order to present conclusions and relevant recommendations that will inform future investigations.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

Desde tiempos antiguos la caña guadua fue utilizada por diferentes culturas en sinnúmero de aplicaciones entre ellas como material de construcción.

En la actualidad aun con los grandes avances tecnológicos realizados en el campo de la construcción, de los continuos estudios para mejorar los sistemas constructivos y las características de los materiales utilizados como el hormigón, acero, madera, etc., la guadua sigue teniendo un espacio aunque marginado pero no por ello menos importante.

Este material tiene importantes características en su comportamiento físico mecánico que valen la pena ser estudiadas, a más de tener una ventaja a su favor y es la de ser un recurso natural renovable de rápido crecimiento y fácil manejo, que además aporta importantes beneficios ecológicos durante su crecimiento.

Como en cualquier otro material usado para construcción, los miembros y elementos estructurales deben garantizar la resistencia y fluidez necesarias para resistir las cargas y transmitirlas con seguridad; es por ello que el diseño de las uniones es determinante en construcción. Ya lo señala de manera puntual el código NSR-98 en el capítulo G: “Toda la acción de las cargas se va transmitiendo de elemento a elemento hasta llegar al apoyo, esta transmisión se hace a través de los nudos (uniones, empalmes) entre elementos, razón por la cual es de vital importancia su fortaleza.”

Por tal razón al trabajar con caña guadua el aspecto de las uniones es muy importante ya que un mal diseño de las mismas puede ocasionar fallas prematuras en la estructura razón por la cual este tema debe ser estudiado a fin de encontrar las mejores opciones que permitan lograr progresos en este sistema.

A fin de transmitir adecuadamente los esfuerzos generados se han establecido algunos tipos de uniones entre elementos constitutivos del sistema constructivo con guadua. Estas uniones han sido experimentadas con clavos, pernos, varillas y platinas entre otras, logrando buenos resultados y además abriendo el camino para nuevos proyectos de investigación.

Cabe mencionar que las investigaciones acerca del tema de la caña guadua no han sido desarrolladas en nuestro país. El conocimiento existente acerca del material, sus propiedades y algunas normas de uso provienen de otros países en donde se ha despertado el interés por investigar más acerca de la caña guadua, no solo en el campo de la construcción sino también como recurso ecológico y económico con buenas perspectivas de desarrollo si es explotado adecuadamente.

En el Ecuador la caña guadua como material de construcción no tiene aun una base sólida siendo todavía relegado a construcciones provisionales para las zonas llamadas marginales y son aun escasas las obras realizadas con soporte técnico aunque ya representan un inicio.

Nuestro país cuenta aún con un gran déficit de vivienda no solo en los grandes centros urbanos sino también en zonas rurales, razón por la que buscar materiales de calidad y bajo costo que sirvan para subsanar estas falencias es indispensable.

A más de lo señalado se destaca también las características ecológicas que hacen de la caña guadua un material con el cual se puede controlar el enorme avance de la deforestación en grandes zonas del Ecuador además de poder constituirse como una fuente de ingresos económicos en el sector turístico.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVOS GENERALES

- Realizar un estudio acerca de la caña guadua angustifolia Kunth, género de bambú utilizado en sinnúmero de aplicaciones desde tiempos antiguos entre ellos como material de construcción.
- Investigar acerca de las propiedades físico-mecánicas de la caña guadua y en virtud de sus ventajas, el uso que se le ha dado como material de construcción.
- Investigar acerca de los estudios técnicos que se han realizado acerca de este vegetal en el campo de la construcción con énfasis en lo relativo al diseño de uniones.
- Realizar un estudio experimental, aplicando en un ejemplo práctico las técnicas investigadas acerca de conexiones en guadua, con el fin de obtener conclusiones de lo observado.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar experimentalmente el comportamiento de conexiones entre elementos rollizos de caña guadua en una armadura triangular plana utilizando como referencia códigos de construcción como la norma NSR-98 (Casas de uno y dos pisos en bahareque encementado), NTC-5407 (Uniones de estructuras con guadua angustifolia Kunth) y algunos estudios realizados en la Universidad Nacional de Colombia.
- Plantear una alternativa de conexión entre elementos rollizos de caña guadua utilizando para ello accesorios utilizados en trabajos con tubería sanitaria de PVC.
- Analizar el grado de aplicabilidad de las conexiones ensayadas desde un punto de vista estructural, económico y práctico.
- Plantear las conclusiones y recomendaciones pertinentes donde se establecerán las fortalezas y debilidades de las propuestas planteadas.
- Plantear en lo posible sugerencias para futuras investigaciones.

1.3 ALCANCE

El presente trabajo busca abrir el camino para futuras investigaciones acerca del uso de materiales alternativos de construcción, en este caso en particular la caña guadua angustifolia cuyo uso no es nuevo pero por falta de estudios formales se ha visto relegado a un segundo plano.

En el Ecuador la investigación acerca de este tema ha sido escasa y poco difundida en comparación a la realizada en países vecinos como Colombia en donde el estudio de la caña guadua en el campo de la construcción ha avanzado significativamente.

Se espera que surjan nuevas iniciativas de estudio acerca de este material natural cuyo uso apropiado puede brindar múltiples ventajas constructivas, económicas y ecológicas.

1.4 METODOLOGIA

Para la realización de este trabajo se realizaron pruebas destructivas en tres modelos de cerchas triangulares construidas con elementos rollizos de caña guadua angustifolia. Cada modelo fue elaborado con diferente tipo de conector a fin de comparar su comportamiento ante la acción de cargas.

Las cerchas fueron sometidas a carga vertical hasta su agotamiento registrando durante el proceso de prueba los valores de carga y deformación que se presentaban hasta alcanzar los valores máximos en los cuales se daba la falla.

Los datos registrados fueron procesados y analizados a fin de lograr obtener conclusiones que respondan a los objetivos planteados en la investigación.

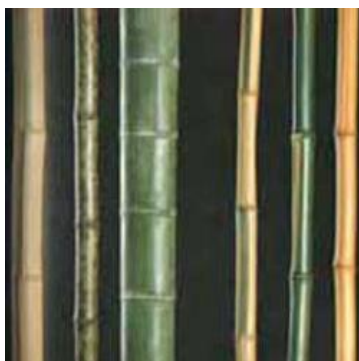
CAPÍTULO 2

LA CAÑA GUADUA

2.1 EL BAMBÚ

El bambú hace su aparición en la tierra en la era cretácea un poco antes de la iniciación de la era terciaria en la cual apareció el hombre. Es una planta que pertenece a la misma familia que el arroz, el trigo, la cebada y la caña de azúcar esto es a las gramíneas, aunque también hay especies herbáceas es decir que tienen naturaleza o cualidad de hierba razón por la que es catalogada como un pasto gigante. Su tallo es leñoso como un árbol y puede alcanzar la altura de uno de ellos dependiendo de la variedad. Existen alrededor de 1200 especies de bambúes, con tamaños, formas y colores diferentes.

Figura 2.1: Tipos de bambú.



Fuente: Fotografía Ing. Luís Octavio González

Está muy extendido en latitudes tropicales y templadas. Su hábitat preferido son las llanuras y mesetas, pero también puede adaptarse a altitudes superiores. Sobrevive en cualquier tipo de terreno, pero principalmente en suelos sueltos (areno-limosos y arcillo-limosos), ricos en materia orgánica, húmedos pero bien drenados. A nivel mundial es posible encontrarlo en forma natural en todos los continentes entre los 35° de latitud norte y 47° de latitud sur con excepción de Europa. El 63% se encuentra en Asia, un 32% en Hispanoamérica y el restante 5% en África y Oceanía.

La planta del bambú se compone de una caña cilíndrica, de diámetro variable dependiendo de la especie, clima, suelo, etc., interrumpida a intervalos regulares por nudos en forma de anillos. A la altura de dichos anillos nacen ramas pequeñas cargadas de hojas alargadas. Bajo tierra el bambú se prolonga en un rizoma provisto de raíces.

Figura 2.2: distribución del bambú en el mundo.



Fuente: Arq. Tim Martin Obermann. Universidad nacional de Colombia

Del rizoma nace anualmente un nuevo brote aéreo con el diámetro definitivo, es decir que el bambú crece en altura pero no en espesor. El rizoma a más de ser el anclaje de la planta sirve como órgano para almacenar los nutrientes que serán posteriormente procesados y distribuidos por la misma. Además cumple la función de ser el elemento para la propagación asexual, que se efectúa por ramificación de los rizomas. Terminada la formación del tallo empieza el período de maduración, que alcanza su máximo grado entre los 3 y 6 años generalmente.

Figura 2.3: Rizomas de bambú



Fuente: Ing. Edwin Flores. Tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia

Entre los vegetales el bambú ostenta un récord en relación a su desarrollo, ya que un brote tierno puede crecer rápidamente, alrededor de 12cm.^{ref12}, diarios en algunas especies. La floración de los bambúes también es característica. Puede ser gregaria o esporádica. Floración gregaria es aquella en la cual todos los miembros de una generación con origen común entran en etapa reproductiva aproximadamente al mismo tiempo. El ciclo de floración varía dependiendo de la especie, pudiendo variar entre 3 y 60 años. Floración esporádica es aquella en la cual los miembros de una generación entran en etapa de reproducción en diferentes tiempos. El ciclo de floración es irregular pudiendo ser anual o con mayores intervalos.

El bambú es un recurso natural renovable por excelencia, permitiendo un desarrollo sustentable en la región donde se implanta. Tiene gran importancia en la protección y mejoramiento del suelo, ya que su extenso sistema de raíces amarra el terreno protegiendo las riberas de quebradas y ríos de efectos erosivos. Por otra parte la acumulación y descomposición de sus hojas mejora los suelos ya que aporta materia orgánica, favorece la biodiversidad por ser hábitat de diversas especies tanto en flora como fauna y es un excelente captor de CO₂.

Las posibilidades de empleo de algunas especies de bambú son numerosas, pues reemplaza eficazmente a materiales más costosos, por lo que su uso se va extendiendo como fuente alternativa de energía y en reemplazo de algunos productos arbóreos. Puede ser utilizado en forma natural o como materia prima para una variedad muy grande de industrias (mobiliarios, aglomerados, laminados, contrachapado, parquet, alimentos, bebidas, papel, aceites, resinas, medicinas, etc.), en agricultura (fertilizantes), vivienda, música y turismo (artesanías), Se lo emplea como planta ornamental y en la realización de parques recreativos. Además puede ser transformado en carbón.

La historia también nos muestra algunos usos que se le ha dado al bambú. En 1876 Alexander Graham Bell produjo la primera grabación de sonido en su fonógrafo gracias a una púa de bambú. Thomas Edison, inventó la primera lámpara eléctrica utilizando un filamento carbonizado de bambú que General Electric manufacturó por los siguientes 14 años. Los primeros aparatos aéreos y

prototipos de navegación también fueron hechos de bambú. El 80% del papel que se consume en India y China proviene de pulpa de bambú.

2.2 LA CAÑA GUADUA

2.2.1 GENERALIDADES

En América existen alrededor de 440 especies de bambú. En Colombia, Ecuador Y Venezuela se desarrollan en abundancia en regiones muy fértiles hasta los 2000 metros de altura, aunque es en Brasil en donde se encuentra la más grande extensión en número y especies. Dentro de esta gran variedad de bambúes sobresale la llamada caña brava (Ecuador), marona o taca (Perú), guafa (Venezuela), tacuarembó (Bolivia), tacuara (Argentina); entre los nombres más populares conocidos en América Latina. Su nombre científico es “*Guadua Angustifolia Kunth*” (*Bambusa guadua*, Humboldt-Bonpland, ya que fue estudiada por el taxónomo y naturalista francés Aimé Bonpland y por el naturalista y explorador alemán Alejandro Von Humboldt). Su nombre significa hoja angosta. Es la que tiene mayor diámetro, espesor y resistencia entre las nativas de América (existen alrededor de 30 especies en América), además de ser el tercer tipo de bambú más grande del mundo y por tanto es de las especies que tiene mayor valor económico, por sus múltiples aplicaciones entre ellas, como material de construcción.

Figura 2.4: *Guadua Angustifolia Kunth*



Fuente: Cristóbal Cobo. Colección personal

Su forma de propagación usual es la reproducción asexual o vegetativa, o sea por partes de la planta. La reproducción por semillas es menos frecuente porque es difícil la colección de semillas fértiles y en buenas cantidades.

El método de chusquines es el que mejor resultados ha dado. El chusquín (en quechua brote basal) son pequeñas ramillas que salen de la planta principal una vez cortada. Estas pequeñas plántulas están unidas al rizoma mediante raíces. Los tallos de chusquín son delgados con alturas entre 10 y 30 cm. Se lo considera el método de propagación más ventajoso por la facilidad de obtención del material, alta eficiencia y economía.

Figura 2.5: chusquín



Fuente: Simón Vélez. Actualidad y futuro de la arquitectura de bambú en Colombia

2.2.2 TAXONOMÍA Y MORFOLOGÍA

Taxonomicamente el Código Internacional de Nomenclatura Botánica ha establecido para la guadúa los siguientes rangos:

- Reino: Vegetal.
- División: Spermatofitas.
- Subdivisión: Angiospermas.
- Orden: Glumiflorales.
- Clase: Monocotiledóneas.
- Familia: Gramineae.
- Subfamilia: Bambusoideae.
- Supertribu: Bambusodae.

- Tribu: Bambuseae.
- Subtribu: Guadinae.
- Género: Guadua.
- Especie: Angustifolia Kunth.
- Nombre Científico: Guadua Angustifolia Kunth (Bambusa Guadua H et B).
- Existen además algunas formas, variedades y biotipos dependiendo de ciertas características propias de la planta, como son: Amplexifolia, Bicolor, Rayada, Castilla, Cebolla, Macana, Cotuda, etc.

En 1822, el botánico Kunth, constituye este género utilizando el vocablo “guadua” con el que los indígenas de Colombia y Ecuador se referían a este bambú.

Figura 2.6a: Guadua cebolla



Figura 2.6b: Guadua macana



Fuente: Centro Nacional para el estudio del bambú. Córdoba. Quindío.

Morfológicamente la caña guadua angustifolia esta constituida por:

- El rizoma, que constituye la raíz de la planta, lugar donde se almacenan los nutrientes que necesita para sobrevivir y además el órgano encargado de la reproducción asexual por ramificación. Los rizomas pueden alcanzar profundidades de anclaje de 2 a 3 metros. El investigador McClure clasificó a los rizomas del bambú en dos grupos principales y uno intermedio de acuerdo a su morfología. Para el caso de la guadua, el rizoma corresponde al grupo paquimorfo, los mismos se caracterizan por ser cortos y gruesos,

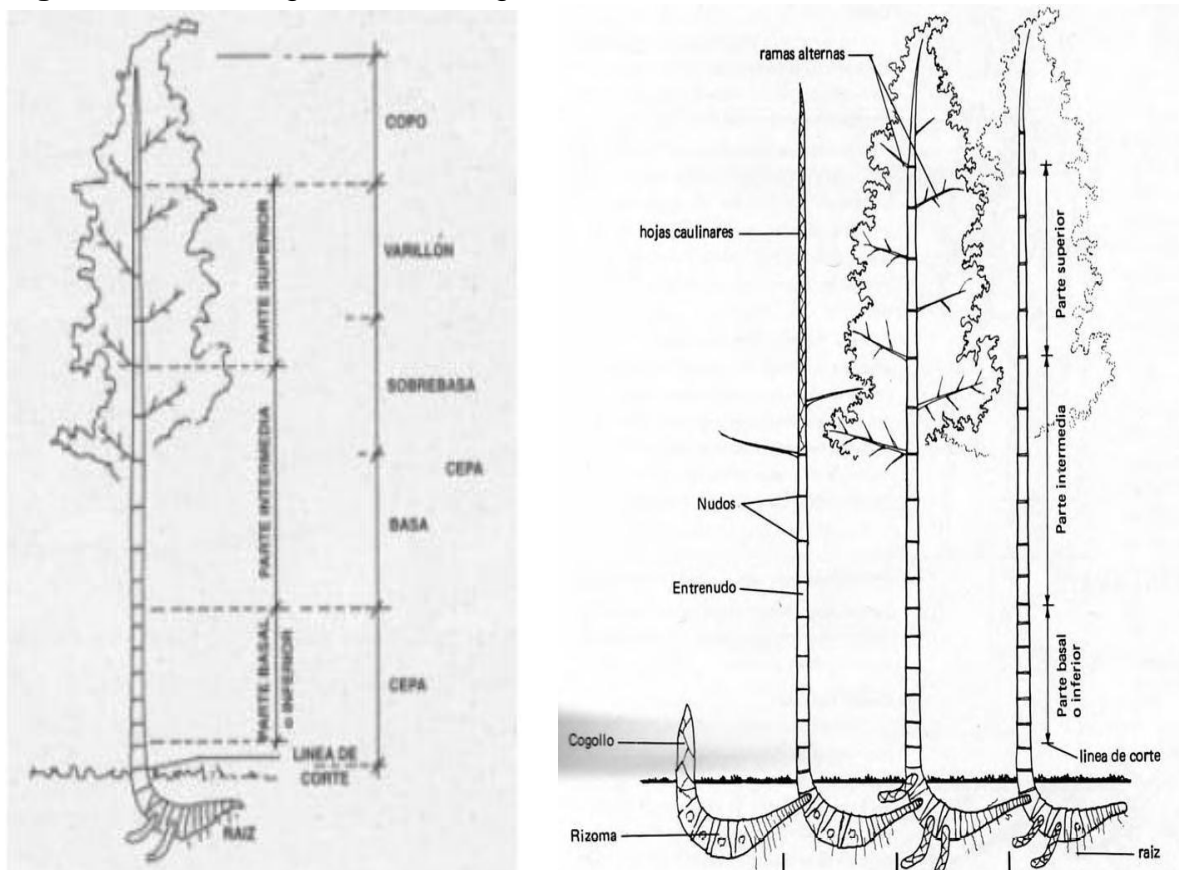
de forma mas o menos curva y cuyo diámetro es generalmente mayor que el culmo.

- El tallo o culmo de la guadua se puede distinguir por ser robusto y espinoso de color verde oscuro, por las bandas de pelos blancos en la región del nudo y por las hojas caulinares (que nacen del tallo) en forma triangular. Es hueco en sus entrenudos los cuales están separados transversalmente por nudos o tabiques que le brindan rigidez, flexibilidad y resistencia. Carece de tejido cambium (estrato celular de las plantas leñosas responsable del engrosamiento de tallos y raíces), de allí que no tenga incremento en diámetro con el paso del tiempo, por el contrario éste varía con la altura pudiendo dividir al culmo en tres tercios (basal, medio y apical) y en cinco partes: cepa, basa (parte más utilizada), sobrebasa, varillón y copa. Puede alcanzar en promedio alturas de 20 metros aproximadamente y diámetros de 5 a 19 cm. El espesor de las paredes puede variar entre 1 y 2.5 cm., dependiendo de la ubicación. Demora entre 4 a 6 meses para alcanzar su altura definitiva en virtud de las condiciones de desarrollo. La sección transversal del culmo presenta tres componentes en su anatomía: la epidermis o corteza exterior, la capa interior de la pared y el área fibro vascular localizada entre las anteriores. La epidermis es dura y cutinizada cubierta por una capa cerosa que evita la evaporación del agua contenida en su interior, su dureza es extraordinaria debido a las incrustaciones de sílice, lignita y cutina. La estructura interna de la fibra posee paredes interiores alternadas en capas gruesas y delgadas con diferente orientación; esta estructura se llama poli laminar y es la razón de la gran resistencia que presenta el culmo de guadua.
- Las ramas que crecen en la línea de los nudos presentan una estructura maciza, a diferencia del tallo llegando a convertirse en espinas en el caso de la guadua.
- Las hojas de follaje crecen en las ramas, son de color verde y tienen la forma similar a la de una lanza (lanceoladas), su longitud puede variar entre 8 y 20 cm., y su ancho entre 1.5 y 3.5 cm. La guadua además tiene la presencia de las denominadas hojas caulinares las cuales crecen en los nudos protegiendo al tallo y las yemas. Son de color marrón o café claro.

Su forma es triangular, son fuertes y están provistas de pelusillas utilizadas como medio de defensa.

- Las flores crecen agrupadas en los extremos de las ramas en estructuras semejantes a una espiga llamada inflorescencia. La flor es diminuta de color violáceo o rosáceo y de muy corta vida, aproximadamente 48 horas. La guadua florece esporádicamente puede ser anual o presentar ciclos mayores y de forma esporádica o gregaria (florecen todas las especies en la misma época del año) cumpliendo su ciclo de vida.
- Las semillas tienen forma similar a los granos de arroz de 8 mm., de largo y 3mm., de espesor aproximadamente

Figura 2.7: morfología de la caña guadua



Fuente: Ing. Edwin Forero. Tesis de Grado. Universidad Nacional de Colombia. Simón Vélez. Actualidad y futuro de la arquitectura de bambú en Colombia.

2.2.3 DISTRIBUCIÓN, ECOLOGÍA Y ESTADOS DE MADUREZ

En América Latina la Guadua se distribuye desde 23° de latitud Norte en San Luís de Potosí, México, hasta los 35° de latitud Sur en Argentina. Con excepción de Chile y las islas del Caribe crece de manera natural en todos los países americanos, encontrando que en Panamá, Colombia y Ecuador presentan una mayor tradición de uso.

Se desarrolla en altitudes comprendidas desde el nivel del mar hasta los 2800 metros, pero es mucho más abundante y diverso en elevaciones por debajo de los 1500 metros sobre el nivel del mar. Crece en diversos tipos de hábitat incluyendo la selva húmeda tropical, el bosque montano bajo, las sábanas y los valles interandinos. La temperatura ambiental ideal para su desarrollo oscila entre 20° y 26° centígrados aunque puede también hacerlo a temperaturas superiores e inferiores, sin embargo pueden presentarse alteraciones en su normal desarrollo. El grado de humedad relativa del 80% y el nivel de precipitación superior a los 1300 mm. anuales, son los adecuados.

En lo que concierne al terreno, prefiere los suelos areno-limosos, franco-arenosos, sueltos, profundos y bien drenados. El nivel de ph del suelo debe oscilar entre 5.5 a 6, es decir moderadamente ácido.

El grado de luminosidad es también un factor importante en el desarrollo de la guadua ya que en base a esto se produce el proceso de fotosíntesis. Debe existir una luminosidad de 1800 a 2000 horas/luz/año lo cual equivale a 5 o 6 horas/luz/día.

Obtiene su altura definitiva en los primeros seis meses de vida y su madurez entre los 3 y 5 años. Desde el momento de brote hasta que muere transcurren cuatro fases:

1. Brote, renuevo o borracho Desde que emerge del suelo (cogollo) hasta que alcanza su altura máxima transcurre aproximadamente 6 meses. Al cabo de este tiempo, empieza a arrojar sus hojas caulinares para dar salida a las ramas y así iniciar otro estado de desarrollo. Durante el primer mes tiene un nivel de

crecimiento de entre 4 a 6 cm., diarios. Después de alcanzar los 90 cm., se estabiliza en un promedio de 9 a 11 cm., diarios. En esta etapa de desarrollo es posible moldear la forma de su sección con fines decorativos.

2. Caña tierna verde o biche (entre 6 meses y 3 años de edad). En este estado las guadúas se caracterizan por su color verde intenso y lustroso, inicialmente posee ramas, conserva algunas hojas caulinares en su parte inferior y se aprecian con claridad las bandas blancas en los nudos. Esta fase dura entre uno y dos años. Presenta poca dureza. Se la usa en la fabricación de canastos, paneles tejidos y esterilla. Cuando el tallo empieza a presentar manchas blanquecinas en la corteza, es señal de que se inicia el estado de maduración.

3. Caña madura, hecha o gecha (entre 3 y 6 años de edad). Una guadúa madura presenta manchas blanquecinas en forma de plaquetas, las mismas que cubren gran parte del culmo. En los nudos se presenta líquenes oscuros y la guadúa progresivamente cambia a un color verde oscuro. Esta fase dura entre 2 y 4 años y es la época adecuada para su aprovechamiento, porque tiene su máxima resistencia. Se la puede utilizar en construcción y en la fabricación de productos laminados como baldosa y tablillas para entrepiso.

4. Sobremadura, vieja o seca (de los 6 años en adelante). En esta fase el tallo está cubierto de líquenes y hongos, tornándose de color blanquecino. Esta fase dura un año o más y la guadúa pierde sus propiedades físico – mecánicas. Tiende a rajarse con facilidad ante acciones externas.

Figura 2.8: Estados de madurez de la guadua



Fuente: Maritza Uribe. Estudio de elementos de guadua solicitados a compresión.

2.2.4 SILVICULTURA

“Silvicultura es la técnica empleada para sembrar y manejar los bosques con múltiples propósitos; también se describe como la habilidad de manejar bosques, argumentando que es arte porque su técnica esta fundamentada en los principios de las ciencias biológicas y la ecología. En un contexto más amplio, silvicultura es el cultivo de las selvas, montes o bosques”.¹

La silvicultura aplicada al caso de la siembra de caña guadua implica el establecimiento del objetivo y futuro empleo del material a sembrar, ya sea para uso comercial, ornamental o de protección ecológica en el sitio de plantación. Se debe también planificar las técnicas de siembra y manejo, las cuales serán utilizadas para lograr una buena productividad en función del objetivo antes establecido. Para el caso de la caña guadua angustifolia se utiliza para la siembra distancias entre surcos de 6 a 10 metros para fines comerciales. Si la plantación tiene un objetivo conservacionista las distancias deberán acortarse.

Algunos aspectos a considerar son los siguientes:

- **Material para la siembra.-** Las plántulas o chusquines deben ser preparados en un vivero a fin de que cuente con las características apropiadas para obtener buenos resultados en la plantación.
- **Corte.-** La época ideal para cortar la caña es la temporada seca ya que durante ésta tanto la humedad como el crecimiento de nuevos brotes es reducido lo cual facilita el transporte y reduce el problema de ataque de algún tipo de plaga. Por tradición se recomienda cortar la guadua en cuarto menguante (dos o tres días después de luna llena) y entre las tres y cinco de la mañana ya que ha esta hora los fluidos de la planta se encuentran en niveles bastante bajos y se evita que estos líquidos degraden a la guadua una vez cortada. Para cortar la caña, es necesario contar con personal de cierta experiencia en esos trabajos debido a que es peligroso.

¹Giraldo Herrera Edgar y Sabogal Ospina Aureliano, *LA GUADUA una alternativa sostenible*, corporación autónoma regional del Quindío, CRQ. Quindío. Pág.103

Quien va a cortar la caña, debe disponer de machetes cortos (o sierras) que son apropiados para el manipuleo dentro del cañal, los cuales deben estar perfectamente afilados, para que al efectuar el corte no se produzcan vibraciones que ocasionen la partición longitudinal de la caña. La edad adecuada para realizar los cortes es entre los 3 y 5 años ya que en esta etapa presenta sus mejores características mecánicas para ser utilizada como material de construcción. El corte que se realiza para derribar la caña tiene que hacerse lo más cercano a la superficie del suelo (entre 15 y 30 cm.), o sea sobre el primer nudo que aparezca, para que ésta siga reproduciéndose; en caso contrario, si se hace el corte sobre el tercero, cuarto o quinto nudo, la planta muere definitivamente en la mayoría de los casos.

- **Limpieza del guadual.**- Antes del corte debe hacerse una limpieza de las malas hierbas y bejucos; luego deben eliminarse las ramas bajas a unos quince o veinte centímetros de su inserción, para que le sirvan al trabajador como escalera para subir a cortar las ramas altas que estén entrecruzadas y que impidan la caída de las cañas cortadas. Cuando las cañas no están muy entrecruzadas y se encuentran libres de malezas, un trabajador puede explotar normalmente de veinte y cuatro a treinta y seis unidades al día, dejándolas listas para ser embarcadas y transportadas. Cuando la mancha de caña esta enmalezada y entrecruzada, debido a malos aprovechamientos, un trabajador puede llegar a cortar diariamente de dieciocho a veinte cañas.
- **Fertilización.**- La guadua angustifolia al ser una gramínea responde adecuadamente a la aplicación de urea y otros productos orgánicos. La cantidad a ser aplicada dependerá de un estudio de las características químicas del terreno de siembra.
- **Aprovechamiento.**- Al efectuar inventarios de las manchas de caña guadua, se ha obtenido un promedio de diez mil unidades por hectárea, o sea alrededor de 1 caña por metro cuadrado; de estas aproximadamente un treinta por ciento se encuentra listo o cerca de ser cosechado. Algunas personas explotan la mitad de ese treinta por ciento y después de cuatro o

seis meses el resto. Un cuarenta por ciento del total de cañas se encuentra en proceso de maduración y puede ser aprovechado aproximadamente después de doce a dieciocho meses más. El treinta por ciento restante está formado por cañas más tiernas que se encuentran en pleno crecimiento, que no han ramificado todavía, y que están provistas de la estipula protectora o vaina. A las cañas en ese estado, el agricultor les denomina “borrachos”. La cosecha debe hacerse por lo menos una vez al año, extrayendo un número igual o menor al treinta por ciento del total de cañas existentes en la mancha. A ciertos agricultores propietarios y explotadores de caña les parece más aconsejable efectuar dos cortes al año, pero la intensidad de la explotación no debe sobrepasar del quince por ciento por corte. Cuando no se realizan aprovechamientos periódicos o continuados, las manchas de caña se enmalezan demasiado, se entrecruzan y pierden consistencia. Estos efectos a más que ocasionan la muerte de algunas cañas, también dificultan la explotación, haciéndose inclusive peligrosa para quien tiene que efectuar el corte. Esto ocurre generalmente en agricultores propietarios de cañales que no se dedican a explotarles personalmente y que los venden a particulares, quienes con la finalidad de obtener una mayor ganancia, cortan un porcentaje elevado de cañas, lo que trae como consecuencia una degeneración continua de la especie, una invasión de malezas debido a los claros que quedan después de ser explotados en esa forma. Por lo general la proliferación de nuevos vástagos se dirige hacia los sectores de mayor iluminación, por esta razón es necesario que la luz que penetra a la caña sea uniforme, esto se consigue realizando explotaciones periódicas por lo menos una vez al año y de acuerdo a los porcentajes indicados anteriormente. Para la guadua angustifolia se ha comprobado que alcanza su grado óptimo de desarrollo para poder ser comercializada en un periodo de 5 a 7 años.

2.2.5 POST-COSECHA Y PRESERVACIÓN

La preservación de los culmos comienza desde el momento mismo en que se inicia su cosecha, cortando únicamente las guadas en estado de desarrollo maduro.

Para preservar la guadua es necesario secarla (al igual que la madera) a contenidos de humedad por debajo del 20% y realizar un tratamiento preventivo contra el ataque de insectos xilófagos (como el *didnoderus minutus*) que son atraídos por el almidón de las paredes de la caña. El uso de insecticidas e inmunizantes tóxicos pueden ser nocivos para la salud humana. Esto hace necesario la adopción de sistemas no tóxicos, con sello verde, para lograr tener una materia prima con posibilidades de ser una alternativa que pueda competir al lado de la madera.

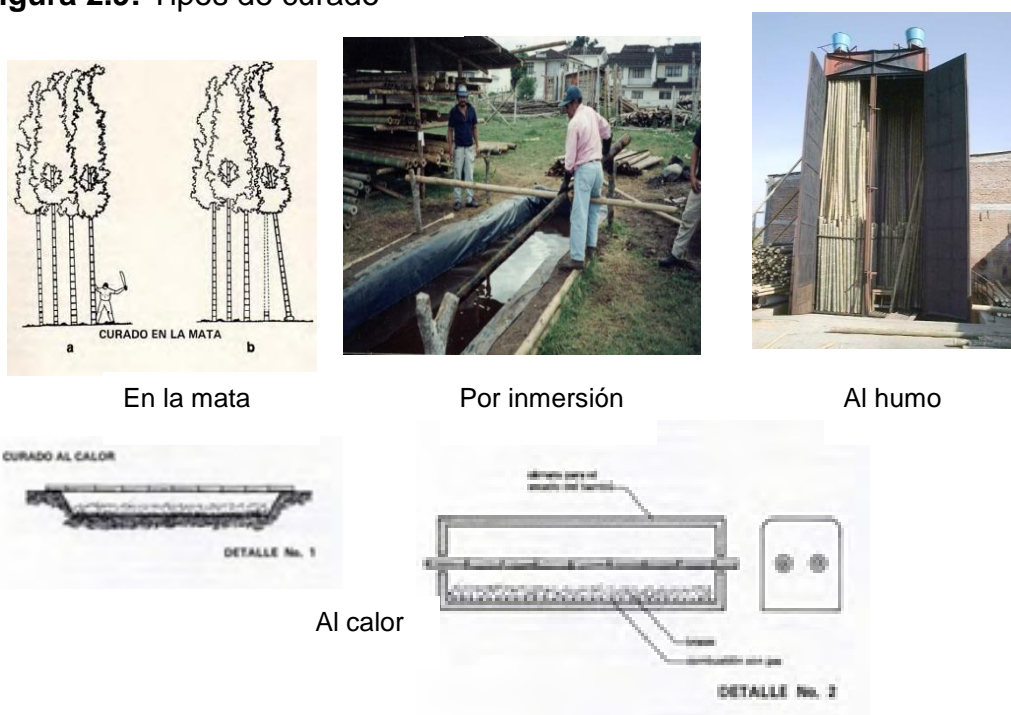
Las sustancias o métodos utilizados para su inmunización deben garantizar la protección del material ante el ataque de insectos, la no alteración de las propiedades físico mecánicas de la guadua, y que en lo posible no sean costosos.

El curado tiene por objeto reducir o descomponer el contenido de almidón y humedad de los tallos a fin de preservar la caña guadua sin la aplicación de sustancias químicas. Existen algunas formas de realizar curado:

- **Curado en la mata:** es el método más utilizado por su fácil aplicación y costo. Consiste en una vez cortado el culmo apoyarlo sobre otras cañas lo mas vertical posible y aislarlo del suelo por medio de una piedra o algún otro mecanismo a fin de evitar que absorba humedad. Debe mantenerse en esta posición como mínimo un mes; luego de este tiempo se cortan las ramas y se lo deja secar en un lugar cubierto y bien ventilado.
- **Curado por inmersión:** consiste en sumergir los tallos en agua ya sea corriente (río) o en un tanque. El periodo de inmersión no debe superar las cuatro semanas. Luego se lo deja secar. Este método puede presentar problemas ya que las cañas pueden perder resistencia.
- **Curado al calor:** en este método se colocan las cañas de forma horizontal sobre brazas procurando que la distancia sea la apropiada para evitar que estas se quemen. Las brazas se suelen colocar en excavaciones de 30 a 40 cm., de profundidad.

- **Curado al humo:** consiste en colocar las cañas en hornos o algún tipo de estructura cerrada herméticamente que debe tener una chimenea pequeña. El método consiste en exponer a las cañas a la acción del humo producido por la incineración de madera; este contiene ácido piroleñoso el cual se produce por la condensación del humo saturado de alquitrán. Este ácido se impregna en las paredes de la guadua sirviendo de protección ante el ataque de insectos. El tiempo de ahumado es de alrededor de tres semanas

Figura 2.9: Tipos de curado



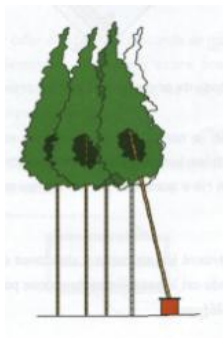
Fuente: Simón Vélez. Actualidad y futuro de la arquitectura de bambú en Colombia

Dentro de los productos químicos de baja toxicidad que pueden ser utilizados para preservar la guadua tenemos el penta borato que consiste en una mezcla de ácido bórico y bórax en proporción de 1:1 disuelto en 100 litros de agua. Se usa también preservantes óleo solubles (aceite de antraceno, nafteno de cobre, etc.), e hidrosolubles (sales disueltas en agua: como el bórax ya mencionado, dicromato de cobre, cloruro de cobre, etc.).

Su aplicación se la realiza con diversos métodos:

- **Método de transpiración en las hojas:** igual al curado en la mata con la diferencia que en lugar de colocar la caña sobre un apoyo se la introduce en un recipiente que contenga un preservante. Esta sustancia será absorbida hacia arriba por la transpiración de las hojas.
- **Método por inmersión:** se colocan las cañas sumergidas en tanques que contengan el preservante por periodos de tiempo superiores a 12 horas. Se recomienda hacer perforaciones en los entrenudos de la guadua para lograr una buena absorción. Se suelen colocar pesos sobre las cañas como piedras por ejemplo a fin de que estas queden totalmente sumergidas.
- **Método de Boucherie (por gravedad):** consiste en colocar la caña en posición vertical y llenar el entrenudo superior con el preservante. Este por gravedad bajará a lo largo de la caña desplazando a la savia. El tiempo de aplicación puede tomar varios días dependiendo del tamaño de los culmos.
- **Método de Boucherie modificado (por presión):** la diferencia con el método anterior radica en que se aplica una presión adicional a la de la gravedad para introducir el preservante al tallo utilizando un compresor de aire. El tiempo de aplicación dura pocas horas.

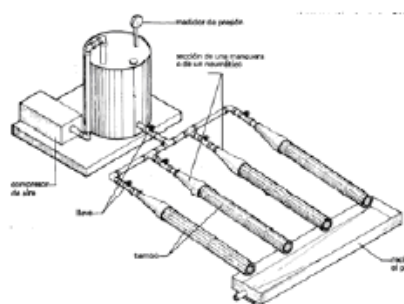
Figura 2.10: Inmunización por químicos



Transpiración



Inmersión



Boucherie

Fuente: Simón Vélez. Actualidad y futuro de la arquitectura de bambú en Colombia

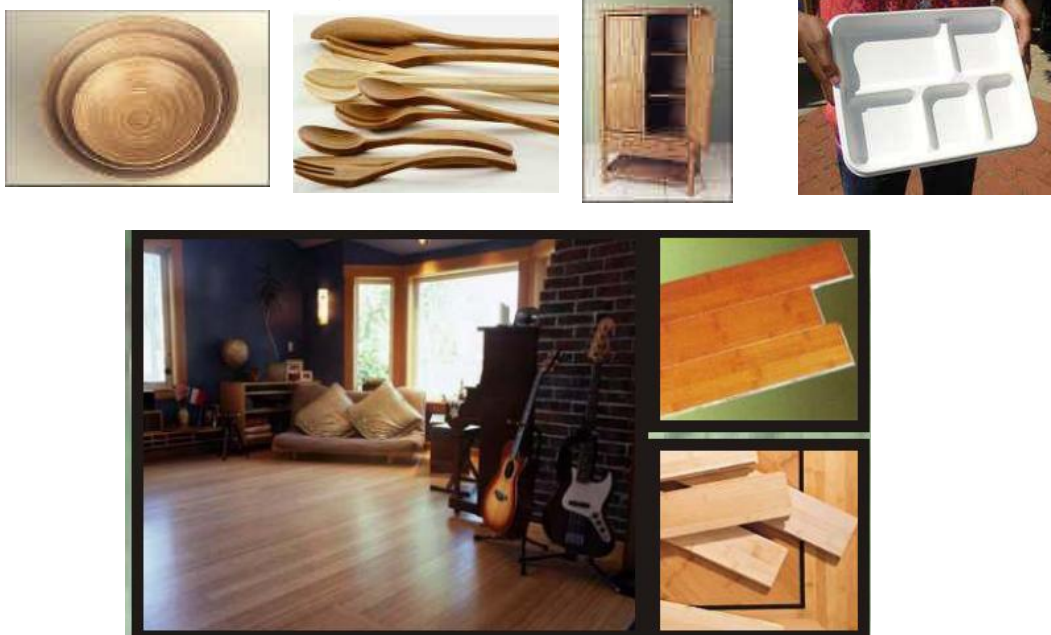
2.2.6 IMPORTANCIA Y USOS

En la economía y agroindustria

La Guadua angustifolia tiene fibras naturales muy fuertes que permiten desarrollar productos industrializados tales como paneles, aglomerados, pisos, laminados, esteras, pulpa, papel, muebles, cubiertos, etc., es decir productos de calidad que podrían competir con otros materiales en el mercado nacional e internacional.

Cabe señalar que con el uso de la guadua en los procesos industriales antes mencionados, se reduciría el impacto sobre los bosques nativos, porque la guadua pasaría a ser un sustituto de especies maderables. A diferencia del lento cultivo para conseguir madera, los tallos de guadua crecen rápidamente, presentando además altos rendimientos de volúmenes por hectárea. Un ejemplo de esto lo podemos observar con el pino que tarda 15 años para su aprovechamiento, mientras que la guadua solo tres. El corto tiempo que se necesita para su explotación acompañado de sus múltiples usos y de una técnica adecuada al momento de sembrar y cosechar puede generar buenos réditos económicos.

Figura 2.11: Usos de la guadua



Fuente: Martin D'Urbano. Caña: una alternativa inteligente

A nivel agrícola tiene un sinnúmero de usos: como material para construir puentes sobre ríos y canales, aprovechando su tamaño y resistencia. Para construir galpones y jaulas para aves en planteles avícolas, elaboración de comederos y bebederos para ganado, recipientes para transportar agua, etc.

Los programas internacionales de cooperación técnica han reconocido las cualidades excepcionales de la guadua y están realizando un amplio intercambio de variedades de esa planta y de los conocimientos relativos a su empleo.

En el campo ecológico y conservacionista

Los guaduales ayudan a la conservación de las quebradas y cuencas hidrográficas por su acción reguladora de la cantidad de agua. “Los guaduales ubicados en las riberas toman grandes cantidades de agua en las épocas lluviosas y la almacenan (utilizan el principio de los vasos comunicantes), tanto en su sistema radicular como en la parte aérea y en el suelo (una hectárea de guadua puede almacenar hasta 30000 litros de agua al día, alrededor de 10 a 15 litros de agua por cañuto), y luego, por efectos de concentración, el agua retenida es nuevamente regresada al caudal del río durante las épocas de sequía. Mantener guaduales a orillas de los ríos equivale a poseer tanques de almacenamiento de agua, por ello con razón se afirma que donde hay guadúa hay regulación del agua.”²

Sus raíces por su sistema entretelado y gran cantidad de rizomas forman verdaderos muros biológicos de contención que controlan la socavación lateral amarrando fuertemente el suelo evitando la erosión. Absorben cuatro veces mayor cantidad de dióxido de carbono que las especies maderables comunes (una hectárea de guadua retiene alrededor de 50 toneladas de CO₂ anualmente).

²Proyecto SICA Banco Mundial

Los guaduales son grandes generadores de biomasa lo cual enriquece y mejora la textura y estructura del suelo. Constituye además un sistema que hospeda a una gran variedad de especies de flora y fauna.

Paisajista

La presencia de guaduales en riberas de ríos, laderas, etc., brinda a la vista un paisaje digno de contemplación, no solo por la planta en si misma sino también por la biodiversidad que encierra.

Figura 2.12: paisaje de caña guadua



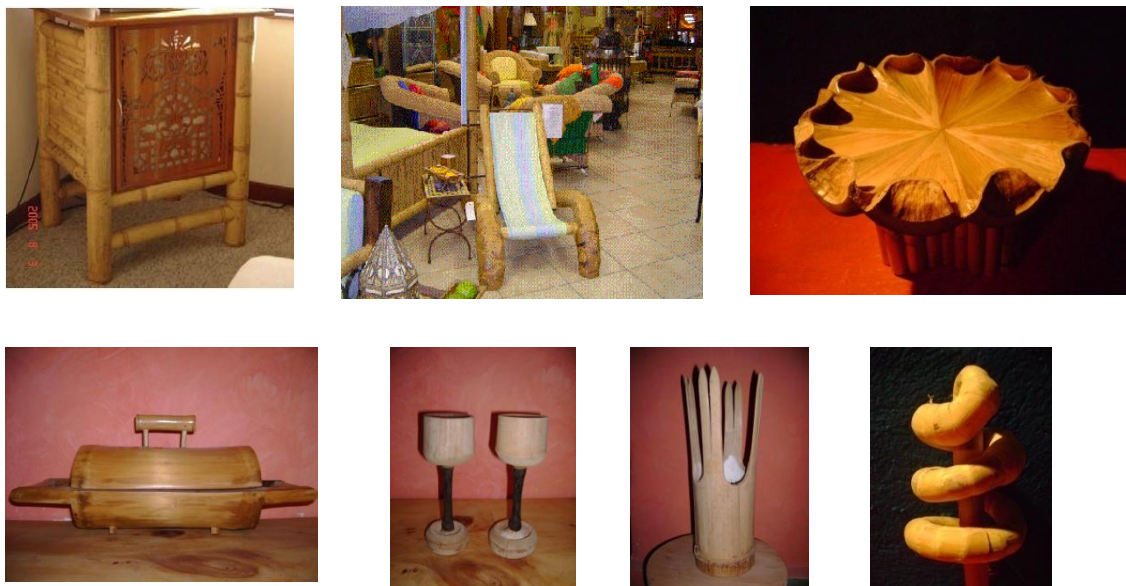
Fuente: Fotografía W. H. Hodge

En lo cultural y artesanal

La caña guadua es un material que ha sido conocido y utilizado desde tiempos muy remotos hasta nuestros días y esta arraigada en muchos aspectos a la memoria cultural de los pueblos americanos.

Por sus características físicas los tallos de guadua e incluso los rizomas se han convertido en materia prima para la elaboración de un sinnúmero de productos artesanales.

Figura 2.13: usos de la caña guadua



Fuente: <http://web.catie.ac.cr/guadua/usos.htm>

Cristóbal Cobo. Archivos gráficos. Colección personal

En la construcción

La guadua es un material de importantes características en su comportamiento físico mecánico en estructuras. La relación resistencia/peso la hace tan importante como las mejores maderas, con una ventaja a su favor y es la de ser un recurso natural renovable de rápido crecimiento y fácil manejo, que además aporta importantes beneficios ecológicos durante su crecimiento.

En muchos países la guadua es considerada un material relegado para los “pobres”, ya que su uso se ha limitado a la construcción de viviendas endebles, en zonas marginales, pero desde los años sesenta, arquitectos y diseñadores la reconsideran por sus calidades estructurales y estéticas. Arquitectos contemporáneos de alto reconocimiento internacional presentan una visión completamente nueva de este material.

Sus ventajas ecológicas y económicas lo hacen atractivo para diseñadores y constructores. Entre sus características destacadas se tienen:

- La capacidad para absorber energía por su gran ductilidad, su resistencia a las acciones mecánicas y su liviandad convierten a la guadua en un material a ser considerado para construir en zonas sísmicas.
- Es un material sólido pero gracias a su interior vacío es liviano y particularmente elástico.
- La guadua presenta muy buenas propiedades mecánicas de tensión y compresión. Su capacidad de carga en tensión se mantiene con el pasar de los años, mientras que su capacidad de compresión crece con el tiempo.
- Algunos estudios muestran que procesar bambú requiere 1/8 de la energía para procesar concreto, 1/3 de la energía utilizada en la construcción con madera y 1/50 de la energía necesaria para procesar el acero.

En muchos países se utiliza la caña guadua como material de construcción para vivienda de interés social en reemplazo de materiales más costosos como el concreto o el acero pero también se han realizado obras de mayor envergadura como son los puentes del carpintero alemán Jörg Stamm, los pabellones del arquitecto colombiano Simón Vélez, estructuras espaciales como la cúpula geodésica de Shoji Yoh en Japón entre otros.

Figura 2.14: puente de guadua en Colombia de Jörg Stamm



Fuente: Arq. Tim Martin Obermann. Bambú recurso sostenible para estructuras espaciales. Universidad Nacional de Colombia.

Figura 2.15: Pabellón Zeri, Manizales, Colombia. Arq. Simón Vélez



Fuente: Arq. Tim Martin Obermann. Bambú recurso sostenible para estructuras espaciales. Universidad Nacional de Colombia.

Figura 2.16: vivienda en caña guadua



Fuente: <http://web.catie.ac.cr/gadua/usos.htm>

Figura 2.17: Catedral de Nuestra Señora de la Pobreza. Pereira



Fuente: Ing. Edwin Flores. Tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia

Figura 2.18: Visera Parque de la Vida en Armenia, Cúpula geodésica de Shoen Yoh (Japón) y Parque Metropolitano del café (Pereira, Colombia)



Fuente: <http://www-users.rwth-aachen.de/Christoph.Toenges/pix/buehne.jpg>. Arq. Tim Martin Obermann. Bambú recurso sostenible para estructuras espaciales. Universidad Nacional de Colombia.

Figura 2.19: restaurante construido por Jörg Stamm

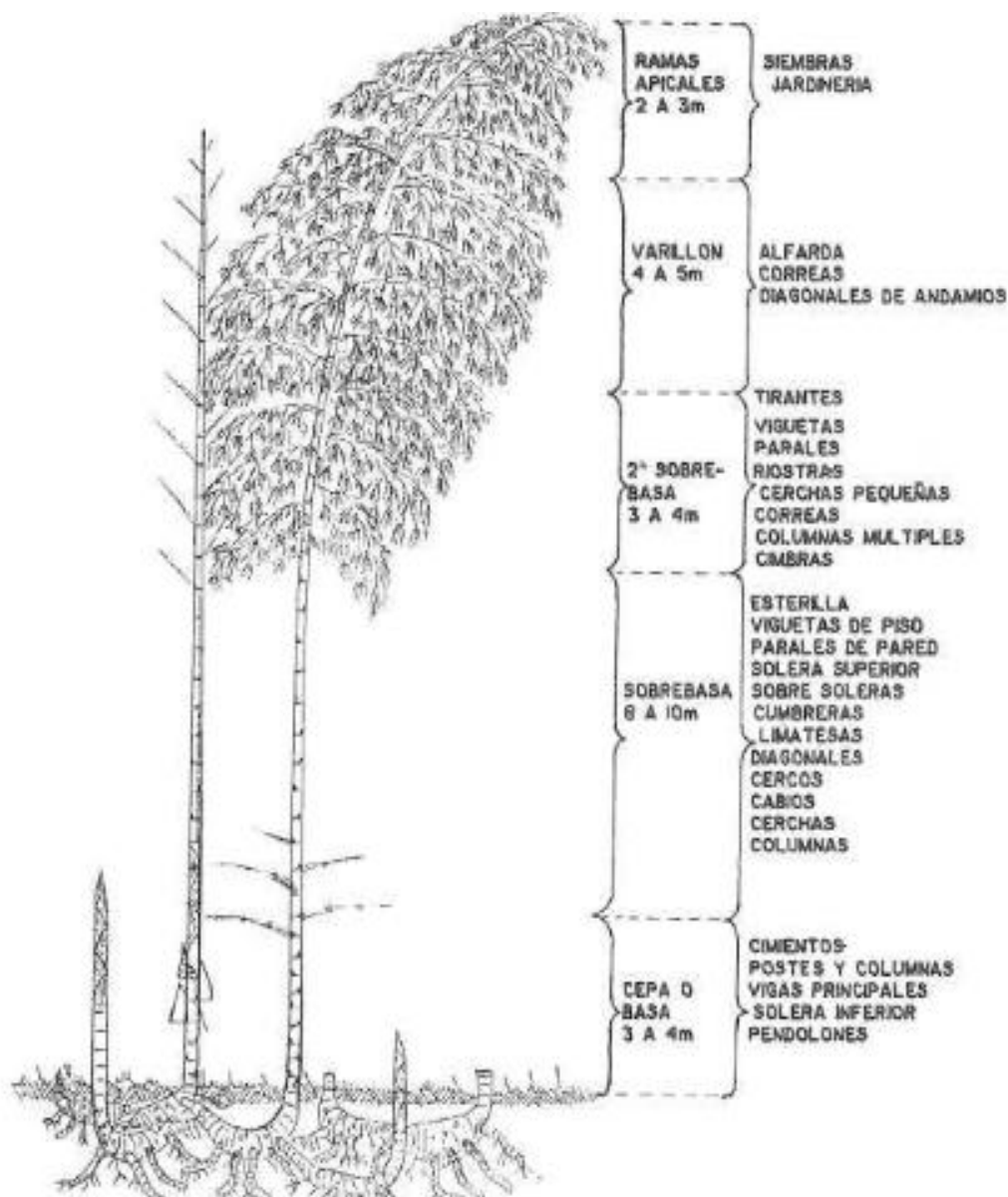


Fuente: www.conbam.de

La planta de caña guadua puede ser utilizada en su totalidad para un sinnúmero de aplicaciones:

- El rizoma, es decir la raíz o soporte de la planta es un tallo modificado subterráneo. Popularmente se lo conoce como caimán. Es utilizado en juegos infantiles o en muebles decorativos.
- La primera parte del tallo (cepa o parte basal) a partir del segundo o tercer nudo desde el suelo con una altura comprendida entre 3 y 5 metros puede ser utilizado para columnas, vigas principales y como elemento para soportar tensiones y comprensiones axiales importantes. Su resistencia se da por el hecho de que en esta parte del tallo tiene una mayor área, sus paredes son más gruesas y la distancia entre nudos es menor, reduciendo con esto la flexibilidad y aumentando resistencia.
- El segundo tramo que comprende la sobrebasa con longitudes entre 8 y 10 metros es usado para elementos de cerchas, vigas de entrepiso, soleras, sobresoleras, diagonales de techos y paredes, pisos de puentes y rampas, para extraer esterilla y para la elaboración de casetones que servirán de aligeramiento para lozas de hormigón.
- El tercer tramo que comprende también a la sobrebasa pero con un diámetro algo menor se utiliza para riostras, viguetas, elementos menores de cerchas, tirantes, escaleras manuales y andamios. Su longitud puede ser de 4 metros.
- Cuarto tramo denominado varillón con longitud de 4 a 5 metros se utiliza como correas en techos de palma, asbesto cemento o zinc. Se utiliza también como apoyo para tejas de barro y diagonales de andamios.
- El último tramo que presenta un diámetro muy reducido se lo usa principalmente en la jardinería. Su longitud oscila entre 1.2 y 2 metros.

Figura 2.20: Usos de la caña guadua



Fuente: Pequeño Manual de la Guadua. Prof. Félix Díaz.

El costo de construir con guadua esta por debajo del utilizado para construir con materiales convencionales y con mayor razón si se lograra incentivar el uso de este material reduciendo de esta forma los costos de producción, de allí que la guadua se podría convertir en una alternativa real para ayudar a solucionar de una manera eco-constructiva los serios problemas de déficit de vivienda que afectan a un gran número de países en vías de desarrollo en particular en áreas rurales y suburbanas en donde existe falta de recursos y presupuesto y en los cuales es urgente brindar soluciones rápidas y económicas para paliar el

problema. Esto no quiere decir tampoco que se deseche la posibilidad de realizar obras suntuarias o de relevancia social, como algunas de las ya señaladas.

La falta de estudios y por ende de una normativa acerca del uso de la guadua en construcción ha sido uno de los limitantes para que este material no sea explotado en forma adecuada.

En noviembre del 2001 INBAR (Red Internacional del Bambú y Ratán) presentó junto con ISO-Organization, una propuesta con el título "BAMBOO DESIGN IN BUILDING CONSTRUCTION". En 20 capítulos están definidas las áreas de aplicación, concepto, áreas de construcción, conexiones, protección antiincendio, ciclo de vida y sistemas de control que se puede aplicar. Así también cuenta con una normativa para la determinación de las propiedades tanto físicas como mecánicas de la guadua y un manual de laboratorio a ser utilizado para el efecto. El resultado de esta propuesta es la aceptación del bambú como un estándar ISO. Anotamos a continuación los títulos de las normativas:

- Bamboo Structural Design
 - Número de referencia del comité: ISO/TC 165/N313
 - Número de referencia del documento: ISO/DIS-22156
- Determination of Physical and mechanical properties of bamboo
 - Número de referencia del comité: ISO/TC 165/N314
 - Número de referencia del documento: ISO/DIS-22157
- Laboratory manual on testing methods for determination of physical and mechanical properties of bamboo
 - Número de referencia del comité: ISO/TC 165/N315

Con la presentación de estas normas y de otras que han sido el resultado de algunos estudios realizados por conocedores de la guadua y otros tantos a nivel de universidad se busca que en el futuro se logre difundir el uso de la caña guadua como un material de buenas características tanto económicas como ecológicas para ser utilizado en construcción.

2.2.7 PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA GUADUA

Al ser la caña guadua un material utilizado en construcción es importante conocer las características físico-mecánicas que presenta. Se han realizado estudios al respecto empleando para ello la normativa ISO/TC 165/N314: Determination of Physical and mechanical properties of bamboo.

Cabe puntualizar que las propiedades mecánicas dependen de las características físicas del material (edad, procedencia, especie, espesor de las paredes, parte del culmo, etc.) que en particular sea utilizado y no puede generalizarse con otras muestras ya que las condiciones pueden variar notablemente. Los cuadros que se muestran a continuación corresponden a estudios realizados por los ingenieros Felipe Silva y Felipe López de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia

Tabla 2.1: propiedades físico mecánicas de la guadua

Espece	Tracción				Compresión				Módulo de elasticidad	
Guadua angustifolia	Esfuerzo de rotura kg/cm ²				Esfuerzo de rotura kg/cm ²				kg/cm ²	
	Sin nudo		Con nudo		Sin nudo		Con nudo			
	Min	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
	970	1.659	943	1.429	606	689	525	660	107.000	173.000

Esfuerzos mecánicos (*) para Guadua Angustifolia

Esfuerzo	Unidad	Guadua Angustifolia	Comparación	
			Acero (St 37)	Abeto
Tensión	kN / cm ²	15	16	8,9
Compresión	kN / cm ²	3,9	14	4,3
Flexión	kN / cm ²	7,6	14	6,8
Cortante	kN / cm ²	2	9,2	0,7
Impacto	kN / cm ²	0,9	--	--
Módulo de elasticidad	kN / cm ²	1.800	21.000	1.100

Fuente: Felipe Silva y Felipe López. Universidad Nacional de Colombia

Tabla 2.2: propiedades físico mecánicas de la guadua

Resultado promedio de esfuerzos mecánicos	
GUADUA ANGUSTIFOLIA	
Compresión	Flexión
RPL 178 kg/cm ²	340 kg/cm ²
MOR 343 kg/cm ²	624 kg/cm ²
MOE 125.384 kg/cm ²	129.806 kg/cm ²
Cizalladura	66 kg/cm ²
Peso Específico	0.6 g/cm ³

Tomado de Gonzáles y Díaz **RPL:** Resistencia en el límite proporcional
MOR: Esfuerzo de carga máxima
MOE : Módulo de elasticidad

ESFUERZO ADMISIBLE DE TRACCIÓN	26.4 MPa
ESFUERZO ADMISIBLE DE COMPRESIÓN (paralelo a la fibra)	14 MPa
ESFUERZO ADMISIBLE DE FLEXIÓN	15 MPa
ESFUERZO ADMISIBLE A CORTE (paralelo a la fibra)	1.1 MPa

Peso específico básico	0,56 a 0,68
Densidad seca al horno	0,82 gr / cm ³
Peso unitario verde	1060 kg / m ³

Fuente: Felipe Silva y Felipe López. Universidad Nacional de Colombia

Los datos siguientes fueron recogidos de la tesis de grado de los ingenieros Diego Jaramillo y Ana Sanclemente de la Universidad Nacional de Colombia. Fm

corresponde a los esfuerzos últimos y admisibles a flexión, f_c compresión paralela a la fibra y f_p compresión perpendicular a la fibra para dos variedades de caña guadua

Tabla 2.3: propiedades físico mecánicas de la guadua

Tipo de Guadua	ESFUERZOS ULTIMOS (kg/cm ²)		
	Fm	fp	fc
Cebolla	170	35	290
Macana	175	23	343

Tipo de Guadua	ESFUERZOS ADMISIBLES (kg/cm ²)		
	Fm	fp	fc
Cebolla	60	17	115
Macana	60	11	135

Fuente: Diego Jaramillo y Ana Sanclemente. Universidad Nacional de Colombia.

Finalmente se presenta un cuadro comparativo entre propiedades mecánicas de la guadua y otras maderas. Este documento corresponde a un artículo presentado por el arquitecto colombiano Simón Vélez.

Tabla 2.4: propiedades físico mecánicas de la guadua

Unidades en kg/cm ²	Módulo de elasticidad a tracción	Módulo de elasticidad a compresión	Módulo de elasticidad a flexión
MATERIAL			
Guadua	190.000	184.000	179.000
Otras maderas	Entre 90.000 y 180.000	Entre 96.000 y 169.000	Entre 108.000 y 128.000
Unidades en kg/cm ²	Resistencia a Tracción	Resistencia a Compresión Perpendicular a la fibra Paralelo a la fibra	Resistencia a Flexión
MATERIAL			
Guadua	430	560 650	740
Aliso	108	68 357	460
Arboloco	Entre 500 y 1500	132 405	390
Otras maderas	1.000	Entre 50 y 144 400	Entre 500 y 720

Fuente: Simón Vélez. Actualidad y futuro de la arquitectura de bambú en Colombia

Como se podrá notar algunos de los valores que se detallan en los cuadros presentan semejanzas mientras otros no. Esto como ya se indicó se debe al tipo de material usado en las pruebas.

En base a los datos mostrados y a otros consultados se puede señalar lo siguiente:

- La caña guadua posee una alta resistencia a la tracción paralela a la fibra en especial en la pared externa del culmo ya que ésta posee una mayor cantidad de fibras y además presenta incrustaciones de lignina, sílice y cutina.
- Al estar solicitado a flexión no presenta problemas de inestabilidad por pandeo flexotorsional ya que es un elemento cerrado con una gran inercia.³
- Su sección tubular la hace altamente resistente a torsión.
- La guadua presenta fibras longitudinales fuertes pero en cambio carece de fibras radiales cosa que es contraria en la madera. Esto provoca que su resistencia a tracción perpendicular a la fibra (cortante) sea muy pequeña.³
- Presenta una baja resistencia a compresión paralela en columnas ya que al aplicar la fuerza vertical se presenta una fuerza radial horizontal que separa las fibras.

Figura: 2.21: Falla de guadua a compresión



Fuente: Comportamiento estructural de la guadua angustifolia. Ing. Caori Takeuchi

- Se puede concluir que la guadua es muy apta para estructuras livianas y espaciales en donde aparecen fuerzas axiales.
- La resistencia a la compresión perpendicular a la fibra (aplastamiento) es baja en especial en ausencia de nudo.

³Comportamiento estructural de la guadua angustifolia. Ing. Caori Takeuchi. Univ. Nacional de Colombia

- La guadua no es un material homogéneo, su naturaleza no presenta un comportamiento isotrópico es decir sus características varían en un mismo tallo.

2.2.8 LA CAÑA GUADUA EN EL ECUADOR

En el Ecuador la presencia de la caña guadua y en general del bambú no es nueva. Estudios de arqueobotánica indican que los bambusoides fueron utilizados desde tiempos prehistóricos.

En la provincia de Manabí se ha encontrado que la caña guadua era utilizada en sinnúmero de actividades como construcción de viviendas, alfarería, orfebrería o como combustible (tiene un alto poder calorífico, 4500 Kilocalorías por kilogramo seco).

Cristóbal Cobo promotor del uso de la guadua y director del proyecto Quitsato (la mitad del mundo) señala: “la caña guadua para las etnias indígenas ha sido un recurso de inigualable valor, al punto que algunas lo consideran sagrado. Los shuar llaman a la guadua *kenku* y la relacionan con la cosmogonía de la diosa Nunkui, la diosa madre, procreadora. Ella nace tras un recorrido a través de las diferentes secciones de la guadúa y luego se convierte en la madre de Etsa y Nantu: el Sol y la Luna. Pueblos indígenas de la Costa, como los tsáchila y chachi, se rapan cierta parte de la cabellera utilizando tiras verdes de corteza de guadúa. Entre ellos no se admitía que el cordón umbilical del recién nacido sea cortado con bisturí: tenía que ser con una tira de guadúa, pues aseguran que previene infecciones, posiblemente por sus propiedades antioxidantes.”⁴

La época colonial no esta exenta del uso de la guadua. Basta solo con recorrer el centro histórico de Quito para comprobar que este material y en particular el denominado carrizo tuvieron gran utilidad en la construcción de los conventos y casas coloniales.

⁴Cristóbal Cobo. La caña guadua como opción

Nuestra cultura tradicional emplea el bambú de muchas maneras. Los músicos andinos en sus quenenas y rondadores, en las fiestas populares con los voladores, vacas locas y castillos, y en la elaboración de cometas.

En el Ecuador se ha podido diferenciar claramente dos clases de cultivos de caña guadúa. La una que esta provista de espinas y que en el medio la conocen como “caña brava” y la otra sin espinas y que se la conoce como “caña mansa” (*guadua angustifolia* SP). La primera es de un color verde intenso, con las paredes de los tallos más gruesos y resistentes, posiblemente con un alto porcentaje de sílice, lo que hace que sea de mejor calidad y muy apreciada en el mercado. La otra es de un color verde amarillento y de menor consistencia aunque esté madura, debido seguramente a que las paredes que forman el tallo son más delgadas.

No hay cifras exactas acerca de la distribución de la guadua en Ecuador, se han realizado algunos estudios de los cuales se detalla a continuación las cifras obtenidas. En 1985 se realizó un inventario con el auspicio del Proyecto PRONAC-USAID para las provincias del litoral exceptuando Esmeraldas y norte de Manabí. Este estudio arrojó una cifra de 14619 hectáreas. Posteriormente en 1999 se hace una actualización sin mayor detalle que arroja una información de 10880 hectáreas naturales o silvestres. Adicionalmente en el 2002 Udenor contrató una Consultoría para evaluar la factibilidad de desarrollar el Bambú en la frontera norte y producto de ese estudio Ecuabambu realiza un inventario exploratorio que determinó la existencia de 610 hectáreas adicionales de cobertura de guadua en forma natural.

En el 2003, se realiza el estudio "Diagnóstico de la cadena productiva de la caña Guadúa en el Ecuador". Las estimaciones de los autores de este trabajo hablan de una cifra aproximada de entre 5000 Ha. y 10000 Ha. de manchones silvestres o naturales; de los cuales, sólo unas 3500 Ha. son económicamente viables por accesibilidad. También en el 2003, se realiza el estudio "Bamboo Value-added Export Development: Opportunities for Ecuador", la información de campo actualizada a esa fecha, presenta como resultado la existencia de 4270 Ha., de plantaciones establecidas de bambú de distintas especies y distribuidas en 10

provincias del País y de 60 viveros de bambú con una capacidad instalada conjunta de unas 2,5 millones de plantas al año.

Tabla 2.5: Plantaciones de bambú en Ecuador año 2003

Plantaciones de Bambú por Provincias		
Provincia	Hectáreas	%
Pichincha	751.50	17.6
Guayas	1,464.50	34.3
Manabí	375.00	8.8
Los Ríos	1,174.00	27.5
El Oro	100.00	2.3
Esmeraldas	240.00	5.6
Bolívar	80.00	1.9
Cotopaxi	60.00	1.4
Pastaza	12.00	0.3
Zamora	13.00	0.3
Total	4,270.00	100.0

Fuente: Corporación de promoción de exportaciones e inversiones. CORPEI

Según un estudio del Fideicomiso Ecuatoriano de Cooperación para el Desarrollo (FECD) en el 2005 existían 13 mil hectáreas de caña y, en 2007, esta cifra se redujo a 7000 hectáreas como consecuencia del mal manejo del cultivo.

Datos proporcionados a la fecha por el Arq. Jorge Morán Ubidia (Profesor de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Guayaquil) señalan entre 3000 y 4000 hectáreas de guadua cultivada en la provincia del Guayas y entre 10000 y 15000 hectáreas de guadua natural o silvestre en el resto de provincias especialmente en Esmeraldas y Manabí.

En el mercado nacional a la caña guadua se la encuentra en dos presentaciones: guadua natural y guadua secada y preservada.

La guadua natural es la de mayor difusión sea bajo las presentaciones de rollizas, picada (tablillas obtenidas de la parte mas gruesa, aproximadamente hasta una altura de 12 o 15 cm., desde la base) y latillada (se usa para cercas o pasamanos). De ellas la rolliza es la de mayor venta en relación a la caña picada y la latillada sería la que menos se vende.

Para la preservación de la caña guadua se utiliza el bórax y el ácido bórico. El secado se lo hace empleando los métodos de secado en la mata y secado en hornos. Es de notar que a nivel de mercado generalmente no se da la oferta de caña tratada. Esta demanda se concentra principalmente en fabricantes que incorporan valor agregado a la caña, sea en artesanías, mueblería y en construcciones dirigidas principalmente al sector turístico (hoteles, hosterías, etc.), existiendo productores que destinan exclusivamente este material para los consumidores mencionados.

Para la construcción de vivienda popular y demás usos se utiliza caña natural sin ningún proceso de preservación, existiendo mayor demanda en el litoral ecuatoriano.

A nivel interno el uso de la caña guadua se puede constatar en los siguientes campos:

En la agricultura: Debido a que Ecuador es un país principalmente agrícola, dentro de este sector se utiliza la caña para apuntalar el banano (cujes), maracuyá, cacao y otros cultivos de la región Costa y subtrópico de las provincias de la Sierra, mientras que en las zonas altas se utiliza para apuntalar los árboles de manzanas, peras, duraznos y otros frutales. Este proceso de apuntalamiento con el bambú se ha extendido a otros países. Tal es el caso de Chile e Italia que lo están utilizando para apuntalar los viñedos. Las partes más delgadas de las cañas, algunas ramas y latillas sirven de tutores de otros cultivos, tales como: fréjol, habas, rosas, tomates entre otros productos. También se utiliza la guadua picada para la construcción de cortinas rompevientos de los cultivos de rosas, brócoli, alcachofas y algunos otros productos de exportación. Además, en ciertos sectores la guadua rolliza y latillas forman parte de las estructuras de los invernaderos. Un uso no muy generalizado, se da en algunas camaroneras, en donde sirve para sostener la tierra de las divisiones de los canales de agua y piscinas.

Artesanía y sector turístico: Este sector de la producción ha mostrado un notable incremento en el uso de la caña guadua. Su producción-mercado se

concentra principalmente en la Costa a lo largo de la ruta del sol. Un ejemplo de esto es la provincia de Manabí en donde se está incursionando en el uso de la caña tanto en la fabricación de muebles (tipo turístico y decorativo) como en la construcción de vivienda, con niveles de calidad superiores a las opciones populares. Pero esta tendencia es todavía muy reducida, a tal punto que aún no impulsa la presencia de caña tratada en el mercado, como se evidencia en el hecho de que todos los productores tratan el producto que utilizan.

Figura 2.22: la caña guadua en construcción

Tipo de obra: vivienda.

Ubicación: ciudadela Universitaria. Manta. Ecuador.

Estructura: hormigón-caña guadua.

Cubierta: stilpanel.

Paredes: ladrillo-caña guadua picada con mortero



Fuente: Grupo Arquitectura Viva S.A. Cristóbal Cobo. Archivos gráficos. Colección personal

Figura 2.23: la caña guadua en construcción

Obra: hotel.

Ubicación: playa del murciélago. Manta. Ecuador.

Estructura: hormigón-caña guadua.

Cubierta: paja toquilla.

Paredes: ladrillo



Fuente: Grupo Arquitectura Viva S.A. Cristóbal Cobo. Archivos gráficos. Colección personal

En la construcción: En el Ecuador al igual que en otros países se puede observar la gran cantidad de movimientos migratorios internos por parte de la población campesina que abandona sus tierras de cultivo y se dirige hacia las ciudades en busca de oportunidades de trabajo ante la falta de apoyo por parte de entidades gubernamentales en el área agrícola y también por el denominado “progreso” existente en las grandes ciudades. Así, se producen fenómenos de desmedido crecimiento del número de habitantes de las ciudades, iniciándose desordenados asentamientos humanos, desprovistos de todo servicio básico. Es fácil encontrar en ciudades como Quito y Guayaquil grandes cinturones de rústicas viviendas en las cuales y principalmente en la costa la caña guadua es el material utilizado para edificar estos precarios asentamientos. Los materiales básicos de estas viviendas son la caña guadua en todas sus formas para pisos, cubierta, paredes, etc., la madera como material para cimientos, estructura del piso y para puertas y ventanas, además se emplean otros materiales como el zinc, cemento, etc.

Esta forma de construcción tiene un objetivo claro para quienes la ocupan y es el de ser un espacio “transitorio” o “emergente” mientras se logra obtener los recursos o la ayuda de instituciones ya sea gubernamentales (MIDUVI, cabildos locales, etc.) o cooperativas de vivienda que permitan sustituirlas por edificaciones “durables” y “confortables” obviamente hablando del hierro y cemento que son símbolo de progreso y tecnología.

En algunos casos estos objetivos se concretan y otros no, quedando solo en simples ilusiones por alcanzar el sueño de una vivienda digna.

Esta manera de catalogar a la caña guadua y obviamente el uso que se le da como material de construcción la ha convertido en sinónimo de miseria y atraso no solo ante la opinión pública sino también a los ojos de algunos profesionales de la construcción en donde existe desconocimiento de las características del material y un reducido interés por fomentar el proceso de investigación tanto a nivel de instituciones de educación superior, como también en entes públicos y privados.

En la costa ecuatoriana la mayoría de las construcciones hechas con caña guadua se las realiza de manera muy artesanal por parte de las propias familias que las ocuparán.

Figura 2.24: vivienda de caña en zonas marginales de Ecuador.



Fuente: Diario Hoy

También se puede encontrar el trabajo realizado por la Fundación Hogar de Cristo la cual elabora viviendas prefabricadas de caña guadua. El sistema constructivo implementado cumple con requisitos de modulación, producción en serie y nivel de productividad. Las cañas son extraídas de las plantaciones y llevadas a un centro de acopio en donde son transformadas en tablas o esterillas dependiendo de la necesidad. Posteriormente una vez elaborados los paneles y demás componentes de la casa estos son colocados en kits los cuales estarán listos para ser transportados a su lugar de destino. Las casas tienen una dimensión de 4.8 por 4.9 metros equivalente a 23.52 m². Los materiales utilizados son la caña y la madera; materiales autóctonos de bajo costo e ideales para clima tropical.

Figura 2.25: viviendas de la Fundación Hogar de Cristo



Fuente: www.hogardecristo.com.org

En la economía: El cultivo de la caña guadua tiene un gran potencial económico, ya que, según un estudio realizado por la Corporación de Promoción de Exportaciones e Inversiones (CORPEI), se estima que la producción, transformación y comercialización de esta, aporta a la economía mundial en cerca de 7200 millones de dólares. Sin embargo, en el país, grandes extensiones del bambú son producidas y cosechadas sin un manejo adecuado, según lo afirman representantes del Fideicomiso Ecuatoriano de Cooperación para el Desarrollo (FECD), de ahí que no se puede aprovechar todo su potencial.⁵

Los principales compradores de caña guadua a nivel local son empresas dedicadas a la construcción de casas de caña (Fundación Hogar de Cristo), a las artesanías y abastecimientos de madera y caña. El principal comprador internacional de caña guadúa ecuatoriana es Perú (la mayoría de la producción ha ingresado de manera informal), aunque también se ha exportado a Alemania, Estados Unidos, Chile y Argentina pero en menor cantidad. En el mercado europeo y norteamericano los requerimientos de madurez, tamaño y diámetro del material son más exigentes.

La experiencia ecuatoriana en las exportaciones de productos derivados del bambú aún no es la mejor. Un aspecto que ha contribuido a que no se mejore los niveles de exportación es la calidad de la materia prima ya que se la envía sin estandarización del grado de madurez y sin ningún proceso de secado y preservación. En el Banco Central del Ecuador existen registros de exportaciones a otros países del mundo, pero estos han sido esporádicos.

De igual manera la generación de industrias a nivel local no ha logrado despegar. Empresas productoras de parquet no se registran y en laminados en guadua algunas empresas han cerrado debido a que no se ha logrado competir con los mercados internacionales.

⁵La caña guadúa, alternativa para el mercado interno y la exportación. Diario HOY. Publicado el 11 de agosto del 2008

CAPÍTULO 3

UNIONES CON CAÑA GUADUA

3.1 CLASIFICACIÓN Y TIPO DE CONEXIONES

El detalle de la unión entre elementos estructurales es un determinante clave para el diseño y construcción, independientemente del tipo de material que se utilice, ya que a través de las conexiones las cargas se transmiten de un miembro a otro. Al considerar a la caña guadua como material para la construcción, implica que se debe realizar un estudio adecuado de los tipos de uniones que se emplearán, manejando parámetros similares a los empleados en materiales convencionales.

La norma ISO TC165 N-313: Bamboo Structural Design, indica: “las uniones deberán ser diseñadas con el propósito de lograr continuidad entre elementos estructurales lo cual incluye una adecuada transmisión de fuerzas y deflexiones, las mismas que deben mantenerse dentro de rangos aceptables”. Cabe mencionar que no se han realizado estudios profundos acerca de éste tema, a diferencia de los hechos con otros materiales de construcción como hormigón, acero o madera. Los datos con los que se cuenta corresponden en su mayoría a trabajos de tesis de grado a nivel universitario desarrollados en países donde la tecnología de construcción con caña guadua tiene mayor acogida.

Los criterios de diseño con guadua se han basado en lo expuesto en el apartado 6.2.1 y 6.2.2 de la norma ISO N-313 que dice: “para el diseño y construcción de estructuras con bambú se tomará en cuenta la experiencia de generaciones pasadas que han utilizado este material y cuyo conocimiento a pasado entre generaciones. Las primeras evaluaciones a realizar corresponden al comportamiento que hayan tenido las estructuras ante fenómenos que se podrían catalogar como catastróficos y dichos comportamientos serán investigados por profesionales reconocidos”.

Normas elaboradas para la construcción de estructuras con caña guadua plantean algunos requisitos entre los que mencionamos los siguientes tomados de la norma técnica colombiana NTC 5407:

- Los elementos de guadúa que se van a conectar deben tener un estado de maduración mínimo de cuatro años y no deben presentar defectos tales como rajaduras perforaciones u otros daños.
- Se debe tener en cuenta que la unión que se va a utilizar debe ser capaz de resistir las cargas externas a la que va a estar sometida.
- Se debe tener en cuenta al momento de hacer la unión, la dirección de las fibras y evitar su exposición a la humedad, el sol y otros agentes externos.
- Se debe tener en cuenta el tipo de esfuerzo aplicado: tracción, compresión, cortante o flexión.
- Se debe comprobar que la falla que se produzca sea dúctil y controlada.
- Las uniones para cargas de servicio o normales, no deben tener ningún tipo de falla y deben brindar las condiciones de rigidez, estabilidad o resistencia mecánica requeridas.
- Las uniones en condiciones de carga última deben ceder pero no deben fallar súbitamente. Se debe utilizar pernos de varilla roscada, varilla lisa roscada en el extremo, tornillo, zuncho o pletina.
- Para el relleno de los entrenudos se debe usar mortero u otro material alternativo, que cumpla con la resistencia especificada de diseño y que no sea nocivo para la salud humana y el medio ambiente.
- Las uniones a compresión deben tener como mínimo un elemento conector que garantice la estabilidad del sistema.
- El valor de resistencia considerado en el diseño debe ser validado por ensayos realizados a una muestra representativa del lote de guadua que se va a utilizar en la estructura.

Existen varias formas de unir elementos de caña guadua; en su mayoría son producto de la imaginación del constructor el cual ha buscado la forma más económica y sencilla de lograr una buena unión.

3.1.1 UNIONES AMARRADAS

Constituye la forma más simple y artesanal de unir elementos de caña guadua. Este tipo de unión esta limitada a estructuras temporales, de uso limitado que no implique la acción de grandes cargas. En uniones amarradas es conveniente utilizar guadua previamente secada y no verde ya que al secarse se contrae dejando flojos los amarres. Tampoco deben utilizarse cuerdas elásticas, muy delgadas o en mal estado. Los amarres deben ser de alambre, nylon, cuerdas vegetales (ratán) o de cuero.

Figura 3.1 Unión amarrada con cuerda



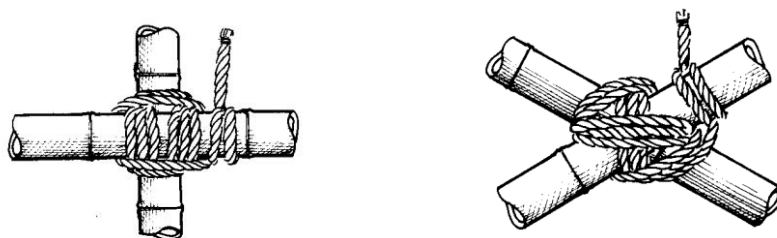
Fuente: Martín Obermann. Bambú recuso sostenible para estructuras espaciales

Algunas formas de amarre típicas para construcciones son:

Amarre cuadrado: empleado en andamios o construcciones temporales para unir piezas verticales con horizontales.

Amarre en aspa: se emplea para unir riostras diagonales

Figura 3.2 Amarre cuadrado y en aspa



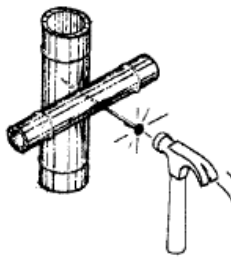
Fuente: Manual de construcción con bambú. Oscar Hidalgo López

3.1.2 UNIONES CLAVADAS

Las uniones clavadas se reservan para esfuerzos muy bajos entre elementos de guadua, como por ejemplo de pie derecho a solera en muro. No se recomiendan, expresamente, para la unión de dos o más elementos rollizos de guadua. La penetración y el impacto de los clavos producen fisuración de la guadua debido a la preponderancia de fibras longitudinales.

La resistencia a fuerzas perpendiculares a las fibras es muy baja lo que significa que el bambú tiene tendencia de rajarse fácilmente paralelo a las fibras, debido a la alta anisotropía (propiedades de ciertos materiales que presentan características diferentes según la dirección que se considere) presente en el material.

Figura 3.3: unión clavada



Fuente: Manual de construcción con bambú. Oscar Hidalgo López

Las uniones clavadas deben usarse solamente para ajuste temporal del sistema durante el armado y no deben tenerse en cuenta como conexiones resistentes entre elementos estructurales.

3.1.3 UNIONES EMPERNADAS

Constituyen aquellas uniones en las cuales los elementos conectores entre piezas de caña guadua son uno o varios pernos metálicos roscados. Al perforar la guadua para introducirle pernos, debe usarse un taladro de alta velocidad y evitar impactos. No es necesaria la inyección de mortero cemento pero si recomendable para todas las cañas a través de las cuales se atraviesen pernos o barras para

que contribuya a evitar que estos se desplacen, su aporte resistente mejora la respuesta estructural.¹

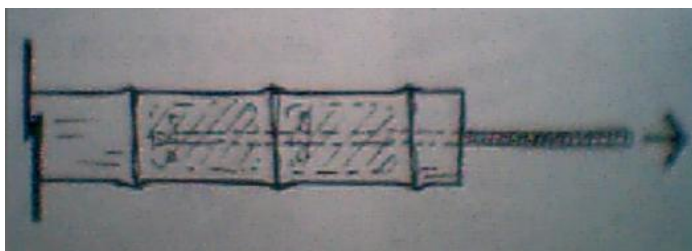
La norma técnica colombiana NTC 5407 en referencia a uniones pernadas dice: “para construir esta unión, los elementos conectores entre piezas de guadua deben ser uno o varios pernos metálicos roscados cuyo diámetro mínimo debe corresponder al de una varilla Φ 10 (10 mm., de diámetro) con tuerca y arandela en los extremos. Los entrenudos por donde pasan los pernos deben estar rellenos de mortero u otro material alternativo o sin relleno dependiendo del diseño que se realice. Los pernos deben ser galvanizados.”

Como pernos también se han usado pasadores de madera, tornillos y tuercas, puesto que se puede cortar fácilmente para adaptar a la longitud.

Los tornillos se usan en dos formas que trabajan muy diferente:

1. Tornillos Axiales: Retenidos por tuercas embebidas en mortero, en cada entrenudo que atraviesen. El mortero transfiere la tracción a los tabiques en forma de empuje.

Figura 3.4: tornillos axiales

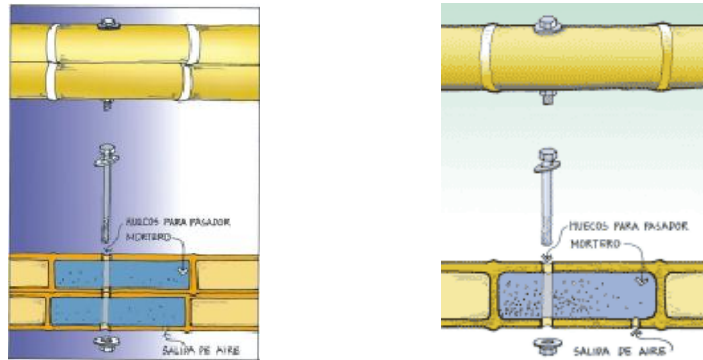


Fuente: Arq. Jaime Med. Colombia

¹Norma NSR 98. Capítulo E7.24

2. Tornillos Transversales: A manera de pasadores. Se apoyan directamente en las paredes de la guadua y por medio del mortero de relleno contra el entrenudo.

Figura 3.5: tornillos trasversales



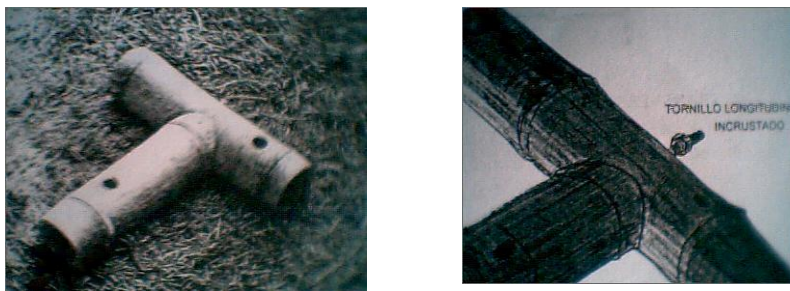
Fuente: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS.

El mortero debe ser lo suficientemente fluido para penetrar completamente dentro de la caña. Puede prepararse el mortero utilizando una relación 1 a 0,5 entre el cemento y el agua y sin exceder la relación 4 a 1 entre el agregado fino y el cemento.

Para vaciar el mortero se perfora la guadua con taladro y se coloca con un embudo o con una pequeña bomba casera.

El Arq. Jorge Morán Ubidia, profesor de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Guayaquil recomienda que el mortero de arena cemento que se introduce en los entrenudos del bambú sea de dosificación 1:3; en el caso de viviendas de una sola planta; pero, en el caso de edificaciones de mayor dimensión y complejidad se usan dosificaciones de 1:2. Se debe procurar que el mortero tenga la suficiente fluidez (a través del uso de aditivos), para que pueda introducirse en la abertura circular de 2 cm. o 3 cm. de diámetro que se hace por la parte superior del entrenudo.

Figura 3.6: Unión perpendicular mediante tornillo axial.



Fuente: Arq. Jaime Med. Colombia

Figura 3.7: Unión de tornillo axial: Recortada para mostrar la ubicación de las tuercas de retención y como el mortero constituye un embolo que es retenido por el tabique.



Fuente: Arq. Jaime Med. Colombia

Figura 3.8: Entrenudos llenos de mortero, las tuercas brindan mayor adherencia.



Fuente: Arq. Jaime Med. Colombia

Para el caso de uniones con barra embebida axial como las indicadas en las figuras 3.6, 3.7 y 3.8; la norma técnica colombiana NTC 5407 señala: “en esta unión el elemento conector debe ser una varilla de diámetro mínimo $\Phi 10$ (10mm). Si es corrugada debe ir figurada en el extremo, o si es roscada debe llevar tuerca

y arandela, su longitud mínima debe ser igual a la longitud de los dos primeros entrenudos”.

Figura 3.9: Conexión columna-cercha del techo por medio de perno



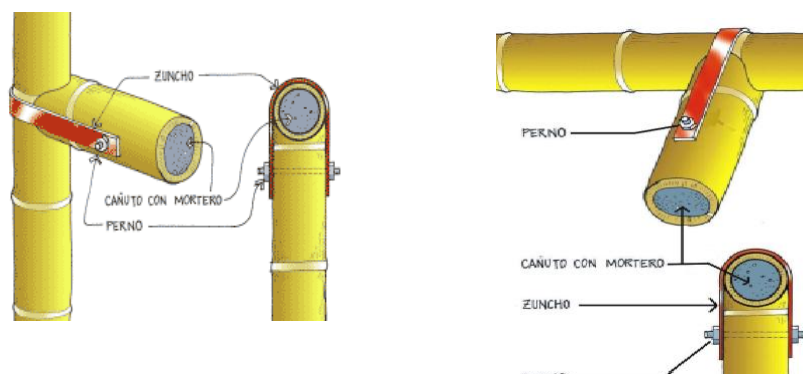
Fuente: <http://inciarco.com/foros/showthread.php?t=714>

3.1.4 UNIONES ZUNCHADAS

Para transferir fuerzas de tracción a través de los elementos de guadua se puede usar pletinas de acero, fibras sintéticas o naturales con alta resistencia a la tensión atornilladas a la misma por medio de un perno o similar. Las uniones zunchadas pueden utilizarse para fabricar conexiones articuladas.

Para conexiones que deban resistir tracción, la pletina debe diseñarse para garantizar que no es el vínculo débil de la unión sino por el contrario sumarse a la resistencia propia de la guadua a la tracción.

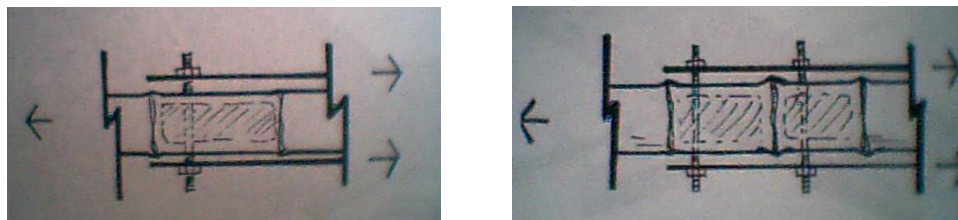
Figura 3.10: Conexiones zunchadas



Fuente: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS.

Las platinas funcionan como refuerzo doble a lo largo de las guaduas sometidas a tracción y permiten unir con otras guaduas ya sea longitudinalmente o en otras direcciones.

Figura 3.11: corte lateral de uniones con platinas



Fuente: Arq. Jaime Med. Colombia

Este tipo de uniones fue desarrollado considerablemente por el arquitecto colombiano Simón Vélez y examinado en ocasión de la construcción del Pabellón ZERI en la expo Hannover 2000 en Alemania².

Figura 3.12: Empernado con pletinas en acero



Fuente: <http://inciarco.com/foros/showthread.php?t=714>

²Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS.

3.1.5 UNIONES ESTRUCTURALES

a) Unión Cimiento-Muro³

Los muros deben estar conectados efectivamente con la cimentación, sea directamente con las vigas de cimentación o con los sobrecimientos. Los muros de bahareque encementado pueden fabricarse utilizando solamente elementos de guadua o combinando madera aserrada con elementos de guadua. De hecho, se recomienda que las soleras de los muros sean de madera aserrada.

Para muros fabricados sólo con elementos de guadua, los muros deben conectarse a los cimientos utilizando los elementos verticales, tal como se haría para conectar columnas de guadua. La guadua no debe estar en contacto directo con el suelo, la mampostería o el concreto. De tal manera, la guadua se apoya sobre un separador de metal u otro material impermeable.

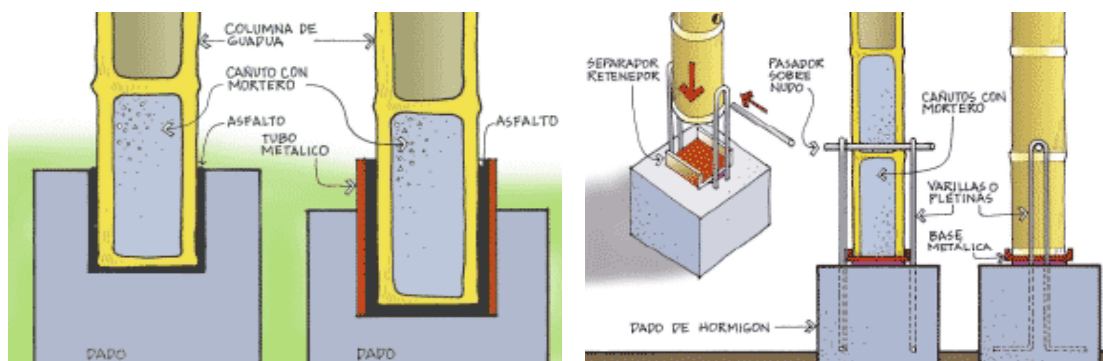
b) Unión columna cimiento³

Las fuerzas de compresión se transmiten a través del separador, por lo que debe apoyarse en forma continua contra la cimentación. Las fuerzas de tracción se transmiten a través de conexiones pernadas. Un perno atraviesa el primer o el segundo cañuto de la guadua.

El cañuto atravesado y cualquier cañuto por debajo de éste, deben rellenarse con mortero. El cañuto debe tener un nudo en su extremo inferior. El perno se ancla al cimiento a través de pletinas o barras con ojales, o barras dobladas. Esta conexión resiste tracción. No es apropiada para resistir momento. Por lo tanto, no es necesario atravesar pernos en ambas direcciones.

³Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS.

Figura 3.13a. Unión columna cimient



Fuente: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS.

Figura 3.13b. Unión columna cimient



Fuente: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS

El separador debe actuar como elemento resistente a corte, es decir, como tope para el movimiento horizontal entre el muro y el cimiento. Para ello, el separador debe abrazar el elemento de guadua. Debe existir un separador-retenedor por lo menos cada 4 m, o en las esquinas de muros, o en los bordes de aberturas para puertas. El separador-retenedor debe ser una pletina de acero con, por lo menos, 3,2 mm., de espesor y la misma anchura de la guadua que retiene.

Un separador más eficiente para cortante es un tubo dentro del cual se empotra la guadua. EL tubo, a su vez, está empotrado en el concreto del cimiento.

Cuando no se requiere que la conexión resista tracción ni cortante, la guadua puede empotrarse en el concreto, y separarse de éste mediante una membrana bituminosa, como brea o asfalto.

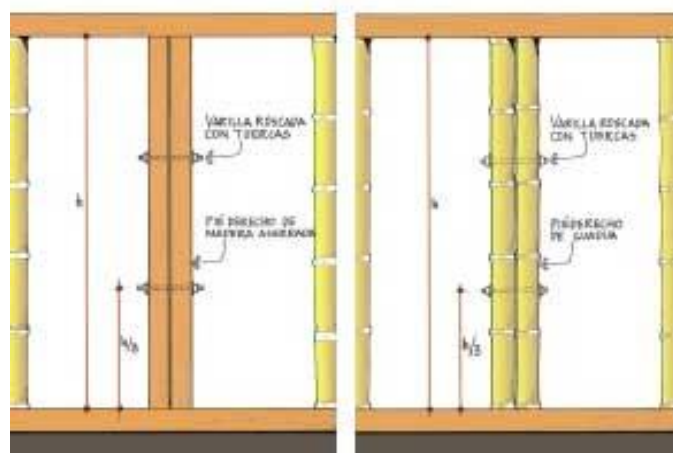
c) Uniones columna cubierta⁴

Las columnas constituidas por más de una guadua deben conectarse a la carrera superior del entrepiso o de la cubierta por medio de un elemento de madera aserrada que garantice el contacto completo entre el elemento horizontal y la sección transversal de todas las guaduas que componen la columna.

d) Unión entre muros⁴

Muros en el mismo plano.- Los muros o paneles de muros pueden estar en el mismo plano o en planos perpendiculares. En el primer caso la conexión es similar a la conexión con los cimientos. Se realiza con pernos, tuercas y arandelas. Debe haber por lo menos dos conexiones por unión, colocados cada tercio de la altura del muro. La barra continua roscada debe tener, por lo menos 9,5 mm., de diámetro. Si los pié derechos son de guadua los cañutos atravesados deben rellenarse con mortero.

Figura 3.14 Unión entre muros

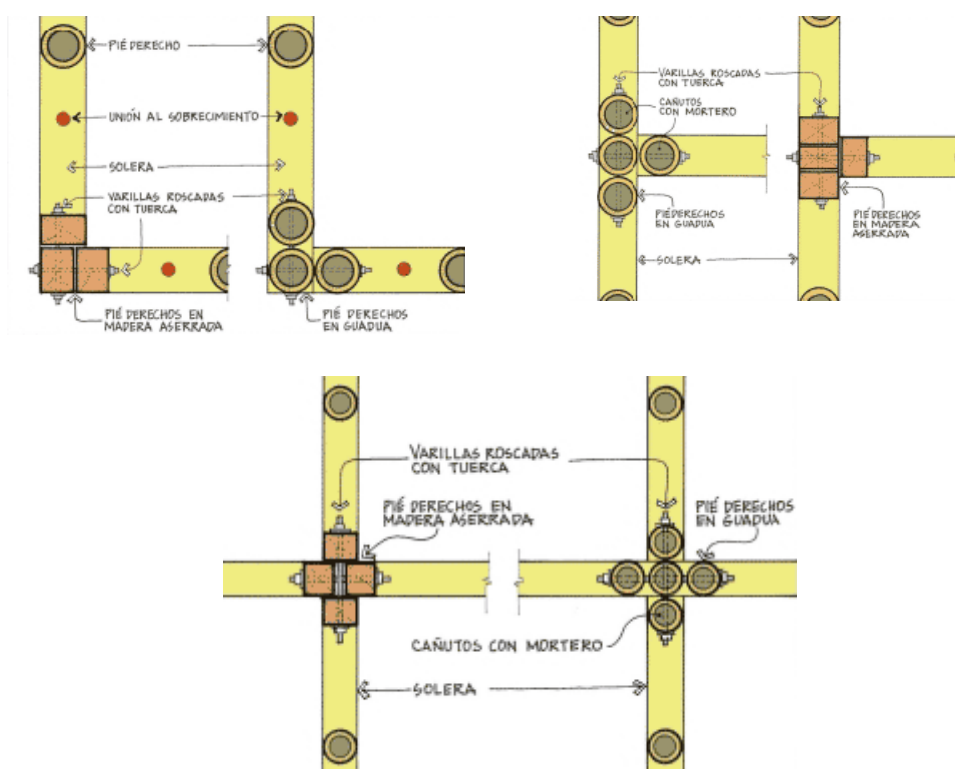


Fuente: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS.

⁴Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS.

Muros en planos perpendiculares.- Cuando los muros que deben unirse están en diferentes planos, perpendiculares entre sí, deben usarse pernos en ambas direcciones, tanto en sistemas con madera como en sistemas con guadua. Las uniones fuera del plano pueden darse en esquina, en forma de T o en forma de cruz.

Figura 3.15 Unión entre muros perpendiculares



Fuente: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS.

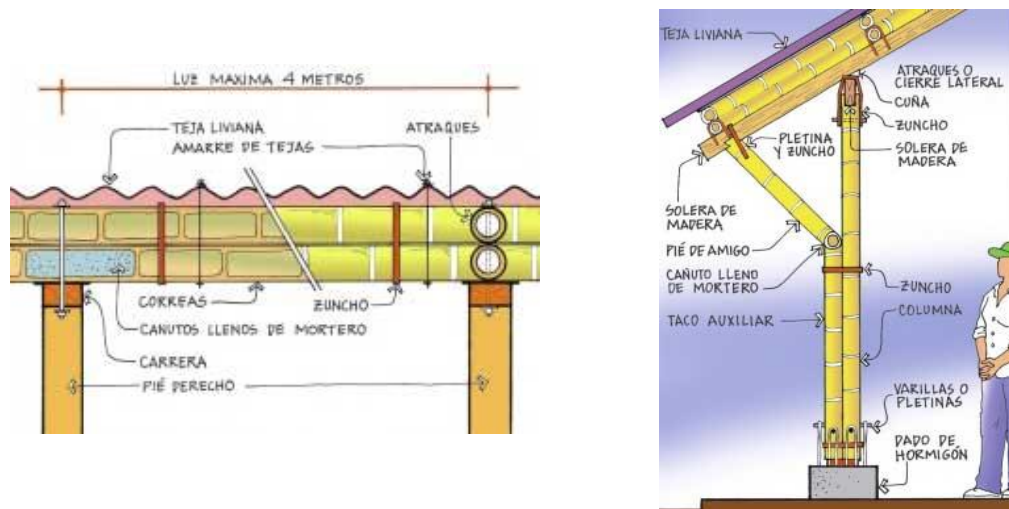
e) Unión entre muros y cubierta⁶

En los sistemas con guadua, la conexión debe hacerse conectando los elementos verticales de guadua con la solera. Esto se logra mediante un perno embebido en el cañuto relleno con mortero de cemento. El extremo relleno debe confinarse con un zuncho de manera que se evite la fisuración longitudinal de la guadua debido a los esfuerzos cortantes.

⁶Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS.

Cuando los muros se fabrican por medio de paneles debe ponerse un elemento corrido uniendo las soleras de los paneles. Sobre este elemento se conecta la cubierta. Las tejas deben amarrarse de las soleras para formar un conjunto.

Figura 3.16 Unión entre muros y cubierta



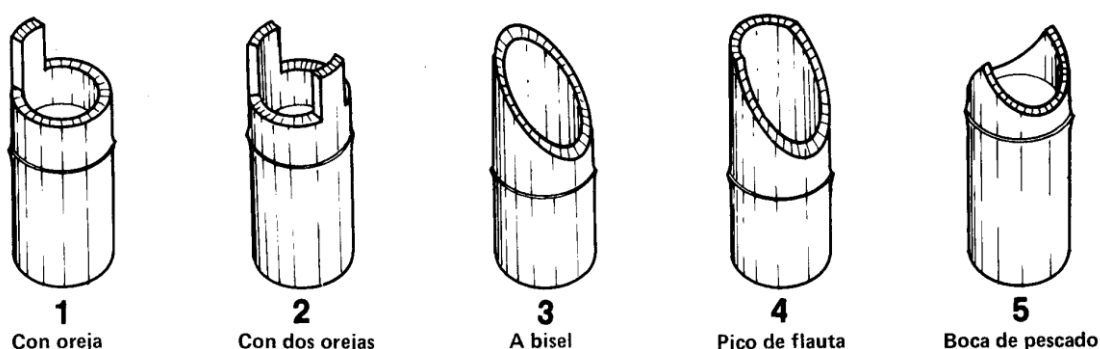
Fuente: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS.

3.2 ENTALLADURAS USADAS EN CONEXIONES CON GUADUA

A fin de lograr un buen ensamble entre elementos de caña guadua se pueden realizar algunos tipos de entalladuras o cortes los mismos que dependerán del tipo de estructura a formar y de la forma en que se unirán dichos elementos.

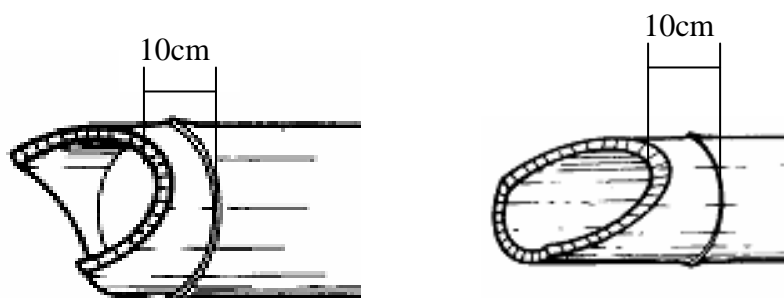
Presentamos a continuación algunos tipos de corte usualmente realizados en el trabajo constructivo con caña guadua.

Figura 3.17 Entalladuras utilizadas en caña guadua



Fuente: Oscar Hidalgo López. Manual de construcción con bambú

La unión tipo boca de pescado es una de las más utilizadas. Este tipo de corte se lo realiza de forma mas tradicional en base de formón o utilizando medios mecánicos como un torno. Su forma ayuda a obtener un adecuado ensamble además de dar un buen aspecto estructural y estético.



En el elemento en donde se realiza el corte tipo boca de pescado o pico de flauta debe haber un nudo a una distancia máxima de 10 cm., del extremo. El elemento que recibe al otro debe estar relleno de un material que consolide el entrenudo.

Los dos elementos se deben ensamblar en un nudo para garantizar la resistencia de la unión.

Figura 3.18 Corte Boca de pescado

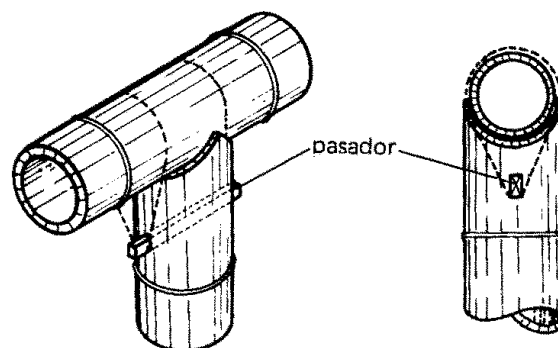


Fuente: <http://inciarco.com/foros/showthread.php?t=714>

3.3 UNIÓN ENTRE ELEMENTOS HORIZONTALES Y VERTICALES

Unión con amarre y clavija: las clavijas pueden colocarse en la columna ya sea paralela o perpendicular a la viga

Figura 3.19: Unión con amarre y clavija⁷



⁷Oscar Hidalgo López. Manual de construcción con bambú

Figura 3.20: Boca de pescado con clavijas⁸

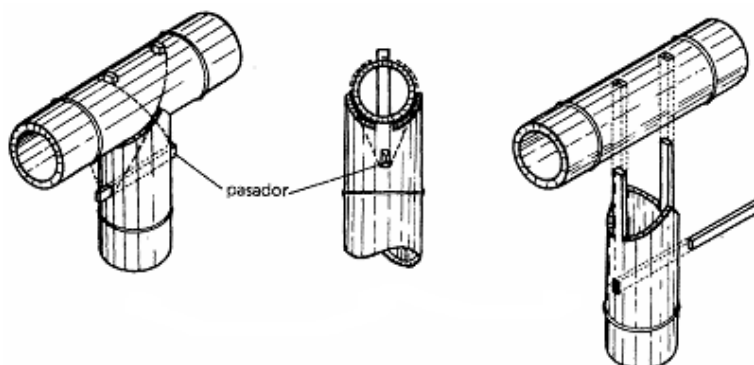


Figura 3.21: Unión con anclaje de madera⁸

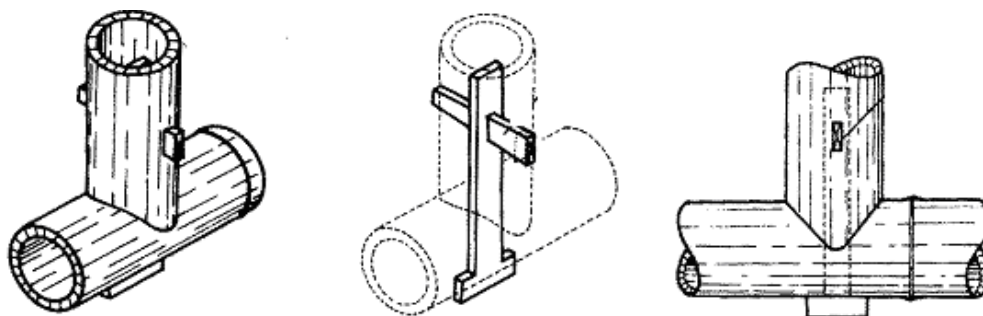
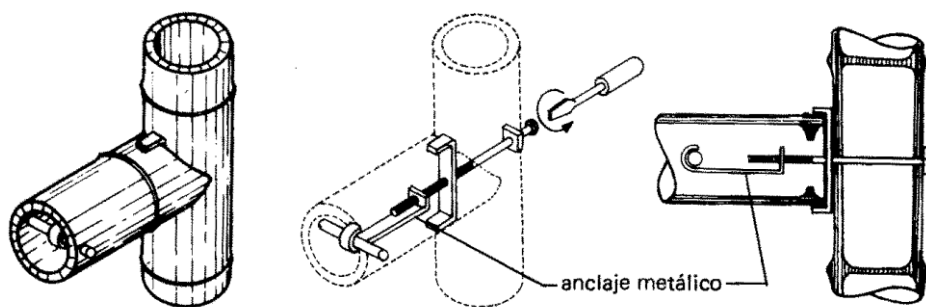


Figura 3.22: Unión con anclaje metálico⁸



⁸Oscar Hidalgo López. Manual de construcción con bambú

Figura 3.23: Unión en cruz con pasador⁹

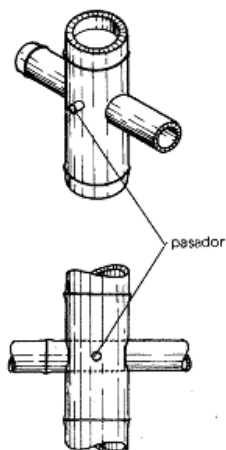


Figura 3.24: Unión lateral con pasador o clavijas, se suele emplear en cercos⁹

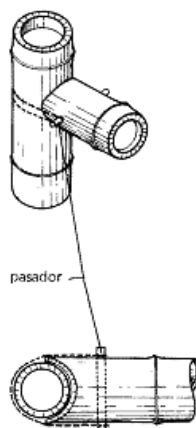
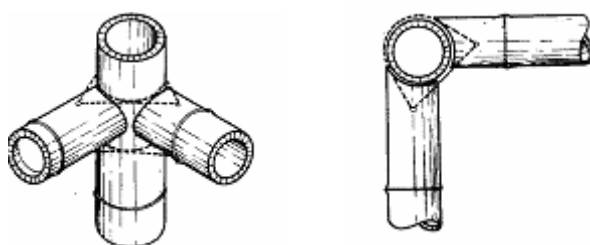


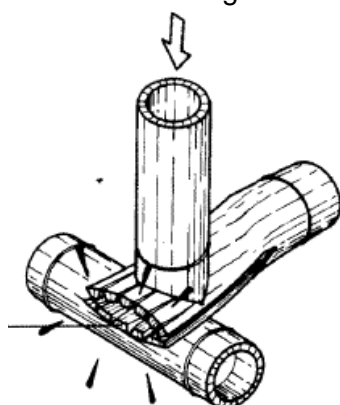
Figura 3.25: Unión de esquina, se emplea en cercos.⁹



⁹Oscar Hidalgo López. Manual de construcción con bambú

Al unir elementos horizontales y verticales de caña guadua en especial aquellos que vayan a servir como unión de viga columna deben cortarse de tal forma que quede un nudo en el extremo o punto de unión a fin de evitar el aplastamiento del elemento horizontal por efecto de la carga vertical. De no ser posible la presencia de un nudo debe introducirse un cilindro de madera o una sección de bambú que contenga nudo en la viga (elemento horizontal) a fin de suplir la carencia y poder fortalecer este punto de unión.

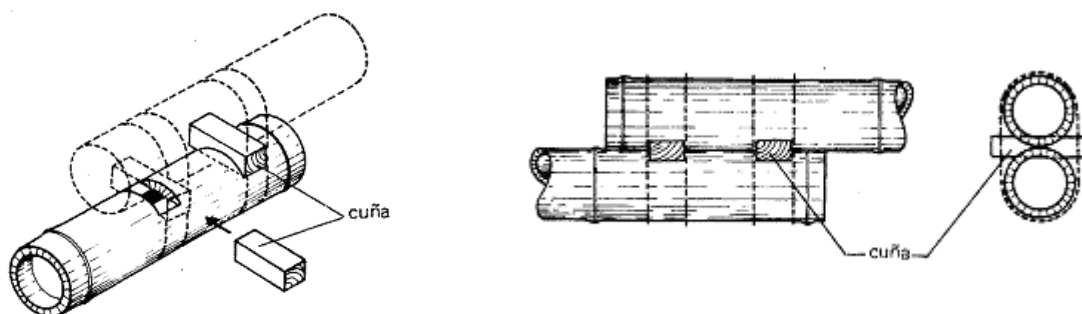
Figura 3.26: aplastamiento en unión de caña guadua¹⁰:



3.4 UNIÓN DE PIEZAS HORIZONTALES

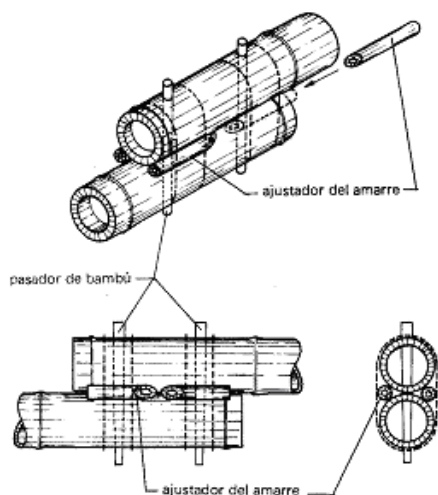
Los elementos de unión como cuñas o pasadores pueden ser de madera o elementos metálicos

Figura 3.27: Unión con doble cuña de madera¹⁰



¹⁰Oscar Hidalgo López. Manual de construcción con bambú

Figura 3.28: Unión con pasadores y ajustadores del amarre¹¹



3.5 OTRAS CONEXIONES PROPUESTAS

Riostras

Para conexiones viga-columna se pueden usar riostras las mismas que deben estar bien fijadas con los postes. La inyección de concreto en el travesaño previene el aplastamiento de la caña brindándole una mejor resistencia.

Figura 3.29: Unión arriostrada



Fuente: <http://inciarco.com/foros/showthread.php?t=714>

¹¹Oscar Hidalgo López. Manual de construcción con bambú

Empate frontal con antepecho

Se puede renunciar al tope si se fabrica una unión tipo carpintero como el empate frontal. Un perno asegura la fijación y reduce la fuerza cortante.

Figura 3.30: Conexión con empate frontal con antepecho

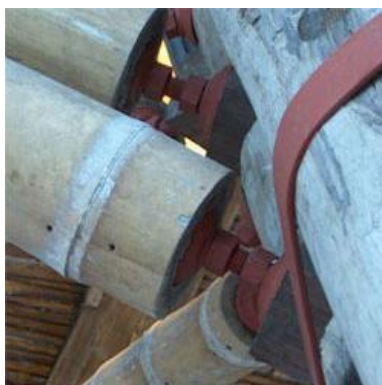


Fuente: <http://inciarco.com/foros/showthread.php?t=714>

Unión Simón Vélez

Es uno de los tipos de unión mas conocido y utilizado en las construcciones en donde dos o tres entrenudos de la guadua se llenan con mortero y se colocan varillas de acero longitudinalmente o paralelamente.

Figura 3.31: Unión con concreto – S. Vélez



Fuente: Arq. Tim Martin Obermann bambú recurso sostenible para estructuras espaciales

Aunque esta unión es muy aceptada, en la práctica se puede anotar algunas desventajas, como son:

- a) Al llenar la guadua con mortero se pierde la liviandad del material

b) El mortero y la guadua se comportan muy distinto con respecto a la humedad o la temperatura; puede ocurrir que el mortero se afloje al interior de la guadua o que la aplaste.

d) Las fuerzas admisibles de esta unión tampoco alcanzan el potencial de la guadua. Según varios estudios no se recomienda aplicar cargas superiores a 10 KN.

Unión Christoph Tönges

El arquitecto alemán Christoph Tönges y la Universidad RHTW-Aachen (Alemania) recopilan una idea de C.H. Duff que propuso en 1941 un sistema que consiste en un elemento cónico al interior de la caña y un segundo elemento que sirve como cinta alrededor de la misma para que el primero no salga a tracción. La cinta puede ser de acero o de fibras de vidrio.

Figura 3.32: Uniones C. Tönges

Unión cónica – C.Tönges



Unión con platina, C Tönges



Fuente: http://www.tdr.cesca.es/TESIS_UPC/AVAILABLE/TDX-0205108

Unión Renzo Piano

Otra técnica se aplicó por el arquitecto italiano Renzo Piano quien hizo ensayos de formar uniones a base de platinas de acero soldadas.

Figura 3.33: unión con platina – R.Piano



Fuente: http://www.tdr.cesca.es/TESIS_UPC/AVAILABLE/TDX-0205108

Unión Gutiérrez y Gómez

Los estudiantes colombianos, Juan Gutiérrez y Raúl Gómez ensayaron uniones a base de tornillos perpendiculares a la guadua.

Figura 3.34: unión con tornillos Gutiérrez-Gómez



Fuente: Caori Takeuchi. Comportamiento estructural de la guadua angustifolia

Unión con tornillos – S.Yoh

El japonés Shoi Yoh utilizó dos tornillos gruesos para formar las uniones de su cúpula geodésica.

Figura 3.35: unión con tornillos – S.Yoh



Fuente: http://www.tdr.cesca.es/TESIS_UPC/AVAILABLE/TDX-0205108

Unión con tornillos: Trujillo-Ortiz

Los ingenieros David Trujillo y Sandra Ortiz en su tesis de grado “Evaluación de uniones a tracción en guadua” siguieron trabajando en ese sentido pero utilizando varios tornillos medianos. Con 12 tornillos de 7 mm mas uno de 13 mm lograron una resistencia máxima de 90 KN a tracción. Ellos recomiendan una distancia al borde de 10 cm. y la carga aplicada no debe pasar de 20 KN para evitar una deformación mayor.

Figura 3.36: unión con tornillos Trujillo-Ortiz



Fuente: Trujillo-Ortiz. “Evaluación de uniones a tracción en guadua”

Propuesta T.Obermann¹²

Los objetivos de la propuesta son: que la unión pueda transmitir un máximo de fuerza, que sea relativamente liviana, que tenga un alto nivel de prefabricación y que finalmente permita el montaje y desmontaje rápido y fácil para estructuras temporales.

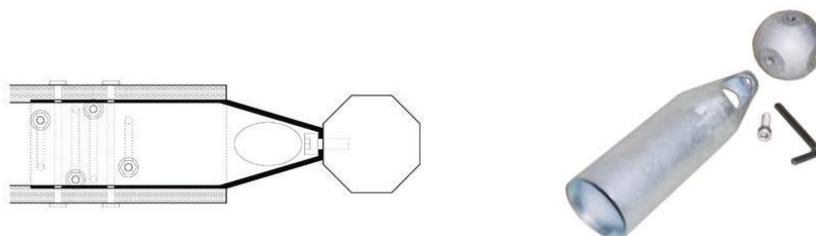
La unión consiste en dos elementos. Primero un tubo de acero con un diámetro de 9 cm. y 30 cm. de largo que entra 20 cm. en la guadua. Las fuerzas axiales se transmiten a través de varios pasadores perpendiculares que unen la guadua con el tubo interior.

Además, el tubo tiene por el otro extremo una forma cónica con una apertura elíptica que permite colocar un tornillo para conectarse con el segundo elemento. Este es una esfera de acero que tiene un diámetro de 10cm y que ofrece hasta 16 roscas en ángulos espaciales y libres para varios elementos como guaduas, tensores o la base.

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

El peso en sí de los elementos de acero que se necesitan para la unión es de aproximadamente 1.5kg que es mucho mas liviano que los uniones de mortero que pesan alrededor de 3 kg.

Figura 3.37: esquema de la propuesta – T.Obermann



Fuente: http://www.tdr.cesca.es/TESIS_UPC/AVAILABLE/TDX-0205108

¹²Bambú recurso sostenible para estructuras espaciales. Arq. Tim Obermann

Figura 3.38: prototipo – T.Obermann



Fuente: http://www.tdr.cesca.es/TESIS_UPC/AVAILABLE/TDX-0205108

El sistema de uniones presentado representa un avance grande para la construcción con la guadua ya que permite aprovechar mejor su alta resistencia. Además esta unión puede convertir la guadua en una barra casi universal para estructuras espaciales y flexibles.

Usos posibles son por ejemplo cubiertas livianas de altas luces, puentes o estructuras temporales. Se recomienda utilizar culmos de 2m a 4 m. de longitud y colocar las uniones ya en una fase de prefabricación.

CAPÍTULO 4

PLAN DE ENSAYO DE CONEXIONES

4.1 OBJETIVOS Y ALCANCE

4.1.1 OBJETIVOS

- Analizar experimentalmente el comportamiento de varias propuestas de conexión aplicadas en una cercha triangular plana fabricada con elementos rollizos de caña guadua sometidos a esfuerzos de tensión y compresión axial.
- Determinar la aplicabilidad y respuesta de algunos sistemas de conexión formulados en normas y estudios internacionales de diseño en guadua como son:
 - Norma Técnica Colombiana NTC 5407: Uniones de estructuras con guadua angustifolia Kunth.
 - Norma NSR-98, capítulo E-7.24: “Construcción sismorresistente de viviendas de uno y dos pisos en bahareque encementado”. Subcapítulo: Uniones.
 - Conexiones ensayadas en trabajos de tesis de grado de la Universidad Nacional de Colombia.
- Plantear una alternativa de conexión entre elementos rollizos de caña guadua, utilizando para ello accesorios con tubería sanitaria de PVC. Analizar si es o no factible su aplicación desde el punto de vista estructural, económico y práctico.
- Comparar los resultados obtenidos, buscando determinar las bondades y falencias de las alternativas planteadas.

4.1.2 ALCANCE

- Estudiar algunos sistemas de conexión entre elementos estructurales de caña guadua sometidos a esfuerzos axiales.

- Presentar un estudio que sirva de base para nuevas propuestas de investigación en el uso de materiales alternativos de construcción como la caña guadua.

4.2 CONFIGURACIÓN DE LA ESTRUCTURA A ENSAYAR

En la realización de este proyecto se utilizó la armadura como configuración estructural para realizar el estudio de conexiones con caña guadua, ya que el material presta condiciones para la construcción de este tipo de estructuras.

Una armadura es una configuración estructural de elementos, generalmente soportada solo en sus extremos y formada por una serie de miembros rectos arreglados y conectados uno a otro, de tal manera que los esfuerzos transmitidos de un miembro a otro sean axiales o longitudinales a ellos únicamente; esto es, de tensión o compresión.

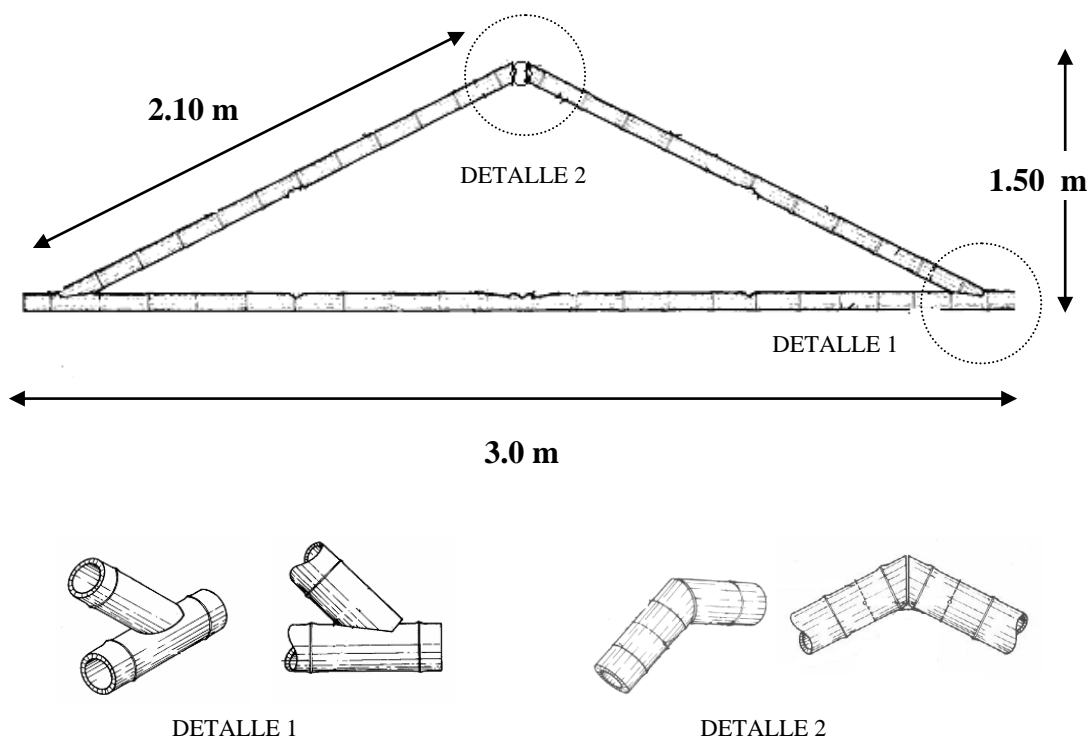
La forma de la armadura es triangular o llamada Hastial¹ (dos cuerdas superiores y una cuerda inferior). Esta armadura no cuenta con miembros interiores o alma. La forma triangular es utilizada en la construcción de techos.

Presentamos a continuación las características geométricas de la armadura; así como también un esquema y detalles de los puntos de unión:

- Longitud de la base (claro o cuerda inferior): 3.0 metros.
- Altura del marco (peralte): 1.50 metro
- Longitud de los lados (cuerdas superiores): 2.10 metros

¹Ambrose James, Estructuras. Pág.: 235

Figura 4.1: Descripción de la estructura a ensayar



Elaboración: Nolivos, Yacelga.

Se emplearán tres sistemas de conexión a ser estudiados:

- Conexiones emperradas.
- Conexiones emperradas utilizando adicionalmente mortero de cemento en los puntos de unión.
- Conexiones con accesorios de tubería sanitaria de PVC.

4.3 DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

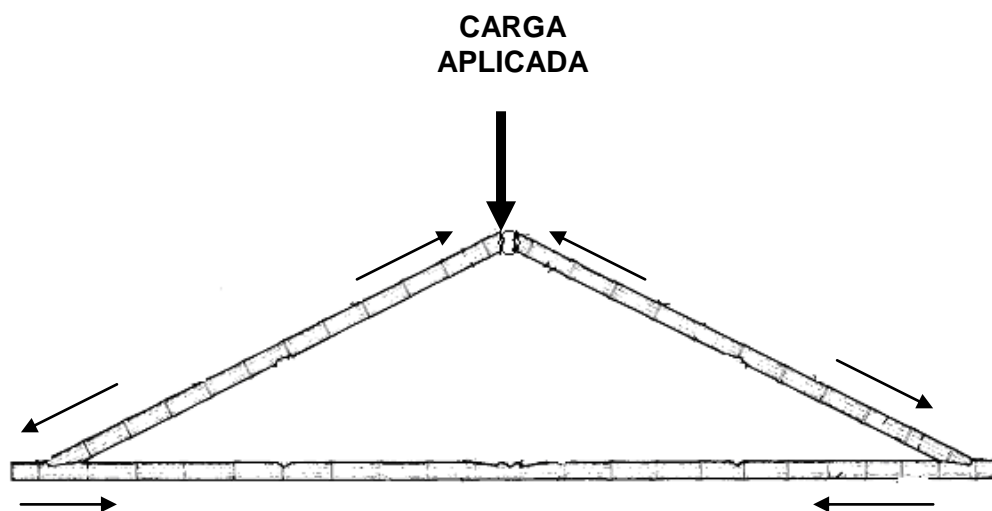
Las cerchas son sometidas a procesos de carga vertical aplicados en el vértice superior con el fin de observar los cambios que se vayan registrando en la estructura, los cuales serán determinados mediante el gráfico carga-deformación. Posteriormente la probeta es llevada a la falla pudiendo darse ésta debido a los

conectores (pernos) o el material (guadua); determinándose así la resistencia máxima de la conexión ensayada.

Los esfuerzos que se presentan en las uniones debido a la acción de las cargas sobre la cercha serán calculados. Así mismo se evaluarán los diferentes tipos de falla que se produzcan. Esta información servirá para enunciar las respectivas conclusiones acerca del comportamiento de las conexiones ensayadas.

Las pruebas se realizarán en el laboratorio de ensayo de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental de la E.P.N.; para dicho propósito se utilizará el marco de carga para ensayo a flexocompresión a más de otros equipos cuyo detalle se presenta más adelante.

Figura 4.2: Esquema de esfuerzos actuantes en las conexiones ante acción de la carga



Elaboración: Nolivos, Yacelga.

4.4 MATERIALES Y EQUIPO UTILIZADOS

➤ **CAÑA GUADUA ANGUSTIFOLIA.** Para el desarrollo del proyecto se ha utilizado caña guadua angustifolia rolliza adquirida en un aserradero del sur de la ciudad de Quito el cual se provee del producto de plantaciones ubicadas en el sector de Santo Domingo de los Tsáchilas.

Se estimó la construcción de 6 modelos a ser ensayados, en cada uno de los cuales se necesita una longitud de aproximadamente 7.50 metros de caña. Con este dato se calculó el total de material necesario:

- Longitud de guadua utilizada en cada modelo: 7.50 metros.
- Longitud total a utilizar: 45 metros.
- Se adquirieron 10 culmos de 6 metros de longitud cada uno. Es decir 60 metros de longitud
- El porcentaje de material no utilizado asciende a un 20% aproximadamente

Figura 4.3: caña guadua angustifolia utilizada en la construcción.



Fuente: archivo personal. Nolivos, Yacelga.

En el siguiente cuadro se detallan algunas características del material:

Tabla 4.1: Características de la caña guadua

Longitud del culmo	6 metros aproximadamente
Edad del tallo	3 a 4 años. Caña madura
Diámetro interno	8.3cm. (valor promedio)
Diámetro externo	9.91 cm. (valor promedio)

Espesor de paredes del tallo	0.81cm. (valor promedio)
Separación entre nudos	30 cm., varía con la altura
Contenido de humedad	12.98%
Densidad seca al aire	1.00 gr./cm ³
Densidad básica	0.87 gr./cm ³

Elaboración: Nolivos, Yacelga. Ver Anexos 1 y 2.

Los valores para contenido de humedad, densidad seca la aire y densidad básica de las cañas se calcularon en base a lo detallado en la norma ISO/TC 165/N314: Determination of Physical and mechanical properties of bamboo, realizada por el INBAR (Internacional Network of Bamboo and Rattan).

- **Contenido de humedad:** corresponde a la cantidad de agua contenida en una porción de material y expresada como porcentaje. Para su determinación se emplea la siguiente fórmula:

$$\%humedad = \frac{Ph - Ps}{Ph} * 100 \quad (4.1)$$

Donde:

Ph = peso de la muestra antes de secar

Ps = peso de la muestra después de secar.

Las muestras son de sección prismática de 25 mm., de ancho por 25 mm., de largo. Estos pedazos se deben pesar en una balanza con una precisión de 0.01 gr., y luego deben ser introducidos en un horno a una temperatura de 103° C., aproximadamente por un tiempo de 24 horas.

- **Densidad seca al aire:** corresponde a la relación entre el peso seco al aire y el volumen seco al aire. Se empleará la siguiente relación:

$$DSA = \frac{Psa}{Vsa} \quad (4.2)$$

Donde:

P_{sa} = peso seco al aire

V_{sa} = volumen seco al aire

- **Densidad básica:** es la relación existente entre el peso de la muestra seca al horno y el volumen de la misma antes del secado o volumen verde.

$$Db = \frac{Ps}{Vv} \quad (4.3)$$

Donde:

P_s = peso seco al horno.

V_v = volumen verde.

El detalle de los datos obtenidos para el cálculo de estos parámetros se encuentra en el ANEXO N° 2.

➤ **PERNOS.** Se emplearán:

- Pernos de acero de dimensión 9/16*12 pulgadas (32cm., de longitud por 1.4 cm. de diámetro aproximadamente) con sus respectivas tuercas.
- Pernos de acero de 3/8*6 pulgadas (15.24 cm., de longitud por 0.95 cm., de diámetro aproximadamente) con su respectivas tuercas.

Figura 4.4: pernos.



Fuente: archivo personal. Nolivos, Yacelga.

- **CEMENTO Y ARENA.** Con el fin de elaborar el mortero para el relleno de los cañutos de guadua se ha adquirido arena de cantera y cemento Pórtland puzolánico tipo IP de la empresa Cemento Chimborazo el cual cumple los requerimientos de las normas INEN 490 y ASTM C-595.
- **ACCESORIOS DE PVC.** Para la realización de la propuesta de uniones con PVC se adquirieron:
 - Conexiones “Y” de 110 mm., de diámetro.
 - Conexiones “codo” a 90° de 110 mm., de diámetro.
 - Tubería sanitaria de 110 mm., de diámetro.

Figura 4.5: accesorios de PVC



Fuente: archivo personal. Nolivos, Yacelga.

➤ **CAUCHO SINTÉTICO**

A fin de evitar esfuerzos de aplastamiento excesivos por el contacto y correspondiente ajuste de los pernos y tuercas en la guadua se utilizan secciones prismáticas de caucho en los puntos de unión.

Figura 4.6: caucho



Fuente: archivo personal. Nolivos, Yacelga.

➤ **HERRAMIENTAS.** Como herramientas de trabajo se emplearon:

- Cierra.
- Taladro de alta velocidad.
- Flexómetro.
- Lija para madera.
- Sacabocados.
- Martillo.
- Llave de tuercas.
- Estilete.

Figura 4.7: Herramientas



Fuente: archivo personal. Nolivos, Yacelga.

➤ **MAQUINA DE ENSAYO Y EQUIPO UTILIZADO.**

Las pruebas se realizaron en el laboratorio de ensayo de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil de la E.P.N. Para el efecto se utilizaron:

- Marco de carga para ensayo a flexocompresión de tubos de hormigón.
- Anillo para medición de carga. Constante del anillo: 4.6337 Kg., de carga por división

Figura 4.8: marco de carga y anillo.



Fuente: archivo personal. Nolivos, Yacelga.

- Deformímetro. Cada división corresponde a 0.01 mm.
- Adaptador para aplicar la carga. Corresponde a un molde metálico de corte triangular que se adapta a la punta de la cercha a ser probada y que ayuda a distribuir de manera adecuada la carga aplicada. La sección donde reposa el anillo de carga al momento de la aplicación es plana y rectangular de 10 por 6 centímetros.
- A fin de obtener una respuesta adecuada en los puntos de unión, éstos fueron apoyados sobre vigas de hormigón y secciones de madera como se indica en la fotografía.

Figura 4.9: deformímetro, adaptador y apoyos



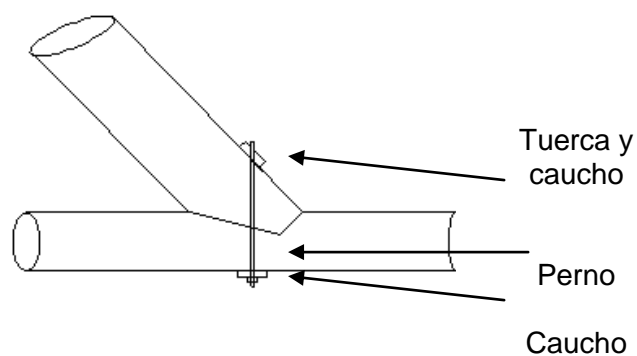
Fuente: archivo personal. Nolivos, Yacelga.

4.5 DESCRIPCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS A SER ESTUDIADAS

4.5.1 CONEXIONES EMPERNADAS SIN MORTERO

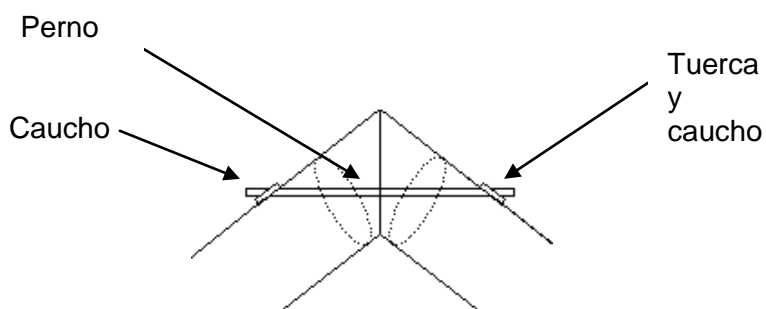
Las conexiones entre elementos de caña guadua se realizan empleando pernos de acero de 9/16*12 pulgadas con sus respectivas tuercas. Los pernos atraviesan los cañutos de guadua transversalmente a la fibra a través de orificios previamente realizados con taladro de alta velocidad. Adicionalmente se colocan prismas de caucho entre la cabeza del perno y la caña, y entre la tuerca y la caña a fin de reducir el probable daño por presión sobre la guadua

Figura 4.10: esquema de las conexiones empernadas



Elaboración: Nolivos, Yacelga.

Figura 4.10: esquema de las conexiones empernadas (continuación).



Elaboración: Nolivos, Yacelga.

En la conexión superior de la cercha se ha procurado que el perno atraviese los nudos a fin de mejorar la unión.

A continuación describimos el proceso de elaboración del modelo.

- Corte y perforación de los elementos que conforman la cercha con las medidas ya descritas. El corte realizado en los puntos de unión corresponde a la entalladura pico de flauta. Los extremos de los cortes pico de flauta se encuentran a una distancia aproximada de 10cm., de un nudo de la caña según lo señala la Norma Técnica Colombiana NTC 5407.

Figura 4.11: corte de la caña guadua



Fuente: archivo personal. Nolivos, Yacelga.

Figura 4.11: corte de la caña guadua (continuación)



Fuente: archivo personal. Nolivos, Yacelga.

A fin de poder introducir los pernos, se realizan perforaciones en la caña empleando para el efecto taladro de alta velocidad; siendo éste el procedimiento recomendado ya que reduce impactos que pueden producir rajaduras en las paredes de la guadua (Norma NSR-98: E.7.25.2. Uniones Pernadas).

- Se debe tener cuidado de que la sección por donde se realice la perforación esté libre de rajaduras en el material ya que esto puede causar fallas prematuras en el elemento.
- Una vez realizadas las perforaciones en las cañas se procede a introducir los pernos.

Figura 4.12: perforaciones realizadas a la caña



Fuente: archivo personal. Nolivos, Yacelga.

- Se colocan los aditamentos de caucho que servirán de ayuda para reducir el aplastamiento de la caña en los puntos de contacto de ésta con la cabeza y la tuerca del perno.
- El caucho empleado se lo adquirió en almacenes en donde se expenden repuestos para automóviles.
- Para dar la forma adecuada a las secciones de caucho se utilizó estilete y sacabocados.

Figura 4.13: armado de conexiones pernadas



Fuente: archivo personal. Nolivos, Yacelga.

Figura 4.13: armado de conexiones pernadas (continuación)



Fuente: archivo personal. Nolivos, Yacelga.

4.5.2 CONEXIONES EMPERNADAS CON MORTERO

Esta armadura tiene las mismas características del modelo anterior; con una sola diferencia, la presencia de mortero en los cañutos en donde se realiza la conexión. Para rellenar los cañutos se realizó una perforación adicional con el taladro de aproximadamente 1 cm., de diámetro a través de la cual se introdujo el mortero utilizando un embudo. El mortero se encuentra contenido entre dos tabiques de caña guadua.

La colocación de mortero en los cañutos de caña guadua es un procedimiento utilizado ya por constructores que han buscado lograr uniones más seguras.

Los beneficios que se quieren alcanzar al utilizar el mortero de cemento como relleno de refuerzo en los puntos de unión son:

- Aportar mayor seguridad a los nudos o uniones de toda la estructura de bambú, permitiendo que los aceros (pernos o varillas) trabajen en donde exista demanda de esfuerzos de tracción y corte, mientras que el mortero de arena cemento asuma los excesos de los esfuerzos de compresión.
- Conseguir que el mortero arena cemento, inyectado en el interior de los nudos de un bambú logre soportar los esfuerzos de compresión causados por otros bambúes que queden apoyados en aquel que sirva de base, con el fin de evitar aplastamientos.

En cuanto a las características del mortero y su forma de aplicación se han establecido algunos criterios; los cuales detallamos a continuación:

- **Norma NSR-98. Capítulo E-7**

- **E.7.25.2.1** - Todos los cañutos a través de los cuales se atraviesen pernos o barras deben rellenarse con mortero de cemento.
- **E.7.25.2.2** - El mortero debe ser lo suficientemente fluido para penetrar completamente dentro del cañuto. El mortero de relleno debe proporcionarse con la mínima cantidad de agua necesaria para obtener una fluidez suficiente para inyectarse con muy poca presión, pudiendo utilizarse una relación en volumen de 1 a 0.5 entre el cemento y el agua y sin exceder una relación 4 sobre 1 entre agregado fino y el cemento.
- **E.7.25.2.3** - Para vaciar el mortero debe perforarse la guadua mediante taladro de alta velocidad en puntos próximos a los tabiques del cañuto que va a rellenarse. A través de los orificios se inyectará el mortero presionándolo a través de un embudo o con la ayuda de una bomba manual.
- **E.7.25.2.4** - Los pernos pueden fabricarse con barras de refuerzo roscadas en obra o con barras comerciales de rosca continua.

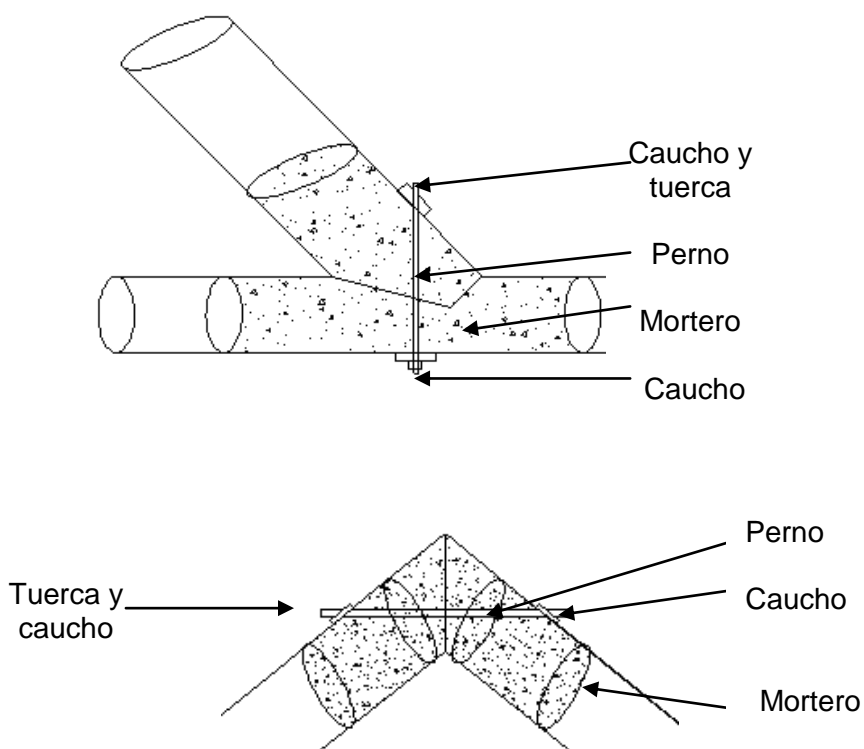
- **Criterio de constructores**

- El arquitecto Jorge Morán Ubidia sugiere la utilización de dosificaciones 1:3; en el caso de viviendas de una sola planta; pero, en el caso de edificaciones de mayor dimensión y complejidad dosificaciones de 1:2.
- Los ingenieros Diego Jaramillo y Ana Sanclemente en su estudio de uniones con guadua utilizaron una relación cemento-arena de 2:5. Destacan la importancia de la presencia del mortero ya que reduce el fenómeno de aplastamiento. Concluyen además que el hecho de

rellenar los cañutos con mortero incrementa el peso de la unión en un 100% en comparación a una conexión sin mortero.

- El ingeniero Edwin Flores Forero en su tesis de grado recomienda la utilización de aditivos en el diseño del mortero de cemento a fin de lograr una mejor adherencia entre éste y las paredes de la caña aunque señala que se debe tener cuidado en su uso a fin de evitar expansiones excesivas que puedan producir fallas prematuras en el material.

Figura 4.14: esquema de unión empernada con mortero



Elaboración: Nolivos, Yacelga.

En la elaboración de este modelo se siguió el mismo procedimiento del anterior. Una vez armado se procedió a realizar las perforaciones para rellenar los cañutos.

Se utilizó una dosificación de 1 parte de cemento por cada 2 partes de arena y una cuantía de agua equivalente a una relación en volumen de 1 a 0.5 entre el material cementante y el agua. No se empleó ningún tipo de aditivo adicional para este estudio.

Figura 4.15: armado conexiones empernadas con mortero



Fuente: archivo personal. Nolivos, Yacelga.

Figura 4.15: armado conexiones empernadas con mortero (continuación)



Fuente: archivo personal. Nolivos, Yacelga.

4.5.3 CONEXIONES CON ACCESORIOS DE TUBERIA SANITARIA DE PVC

Para esta alternativa se emplearán accesorios de tubería sanitaria de PVC como medio de conexión entre los cañutos de guadua.

Los objetivos buscados con esta propuesta son:

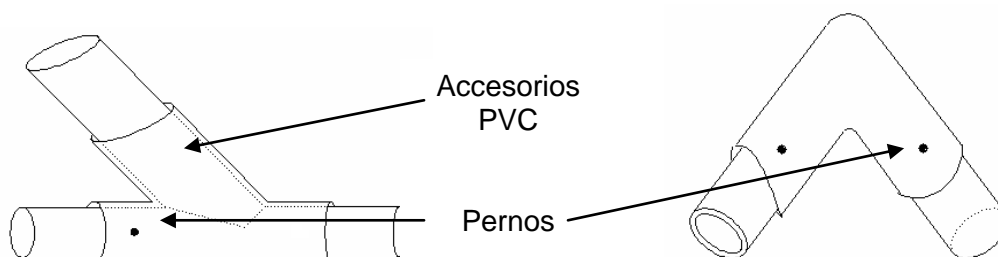
- Plantear una nueva alternativa de conexión entre elementos rollizos de caña guadua para estructuras espaciales.
- Analizar el comportamiento estructural de este tipo de conexión y su posible aplicabilidad.
- Buscar un medio de conexión que no produzca un incremento significativo en el peso de la estructura y que a la vez cumpla con los adecuados requerimientos para los cuales sea solicitada la misma.
- Evitar en lo posible la utilización de pernos para el armado de la estructura; minimizando de esta manera posibles daños (rajaduras) en la caña guadua.

Cabe señalar que al utilizar estos accesorios se presenta un limitante en cuanto a la estructuración geométrica de los modelos ya que como es conocido las conexiones de tubería sanitaria de PVC son de 45° restringiendo por tanto posibles configuraciones con ángulos diferentes.

Los accesorios utilizados para armar el modelo son:

- Conexión en “Y” de 110 mm., de diámetro. Se utiliza dos de estos accesorios para unir la base (cuerda inferior) con las cuerdas superiores.
- Pernos de 3/8*6 pulgadas para sujetar los accesorios a la caña ya que al aplicar esfuerzos axiales los accesorios resbalan debido a la variabilidad en los diámetros de la caña que no coincide exactamente con el diámetro de los tubos. Los pernos son colocados transversalmente a la fibra de la caña a través de perforaciones realizadas previamente con el taladro atravesando tanto la caña como el PVC
- Codo de 90° para conectar la parte superior de la cercha.
- Adicionalmente se prolongaron las conexiones antes mencionadas con tubería sanitaria de 110 mm., igualmente con el fin de reforzar la unión. Estas prolongaciones fueron aseguradas a los accesorios por medio de pegamento para tubería de PVC marca Adheplast.

Figura 4.16: esquema de las conexiones con PVC



Elaboración: Nolivos, Yacelga.

Los cortes realizados en los extremos de unión son los mismos utilizados en los anteriores modelos; es decir, entalladuras tipo pico de flauta.

Figura 4.17: armado de conexiones con PVC



Fuente: archivo personal. Nolivos, Yacelga.

Figura 4.17: armado de conexiones con PVC (continuación)



Fuente: archivo personal. Nolivos, Yacelga.

CAPÍTULO 5

ENSAYO DE CONEXIONES

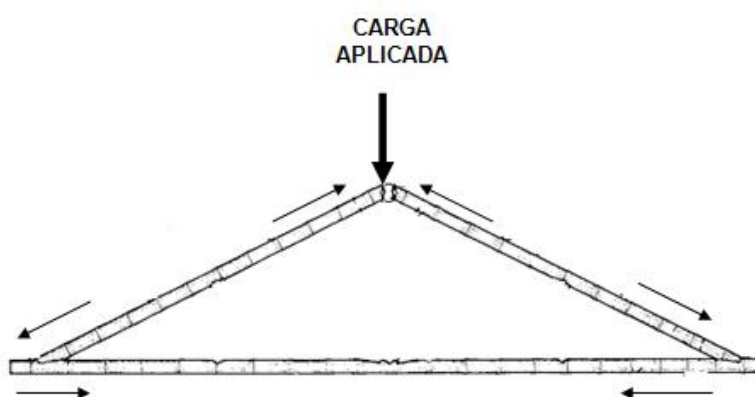
5.1 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

El ensayo consiste en aplicar carga vertical en la parte superior de la cercha. Los valores de incremento de carga se registraron por medio del anillo y las respectivas deformaciones con el deformímetro; este último fue retirado antes de que la cercha falle para evitar daños en el equipo.

Los ensayos de cada modelo concluyeron cuando éstos llegaron al agotamiento; esto es, cuando se observó que el valor de la carga ya no se incrementaba, lo cual vino acompañado de deformaciones en los pernos y fallas en la caña.

Como se señaló en la sección 4.3 el ensayo fue realizado en el Laboratorio de Ensayo de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental de la E.P.N. Se indican a continuación fotografías del montaje del equipo (marco de carga, apoyos) y dispositivos (anillo, deformímetro) para las pruebas.

Figura 5.1: esquema de proceso de prueba y montaje de equipos para ensayo



Elaboración: Nolivos, Yacelga.

Figura 5.1: esquema de proceso de prueba y montaje de equipos para ensayo (continuación)

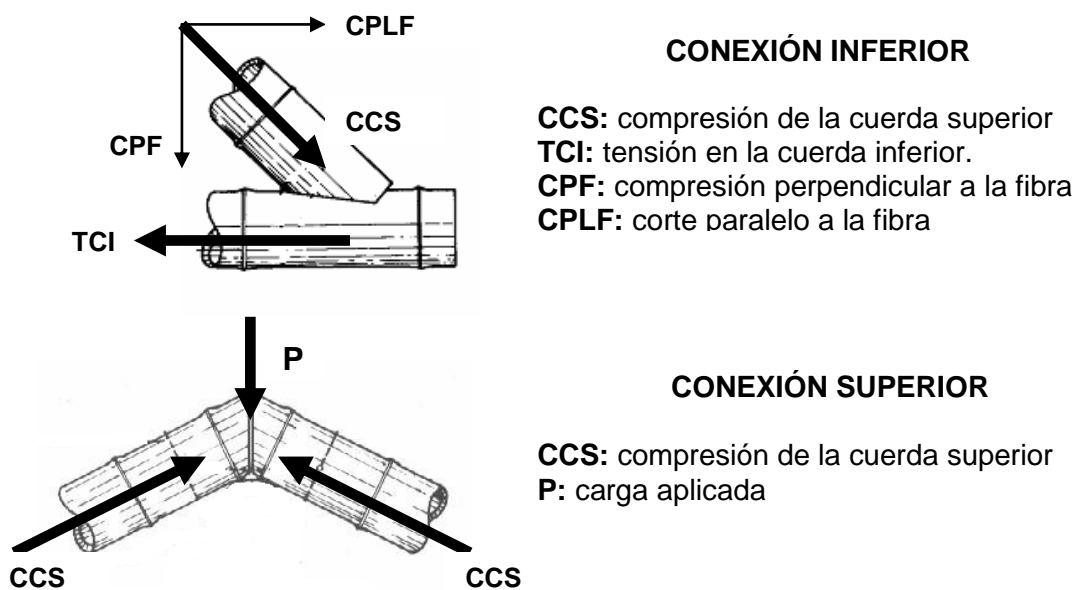


Fuente: archivo personal. Nolivos, Yacelga.

Con los datos que se obtuvieron del ensayo se procedió a calcular las cargas y esfuerzos que actuaron en las cuerdas superior e inferior de la cercha, poniendo especial atención a las sollicitaciones generadas en las conexiones.

El siguiente esquema indica las cargas que actúan en los puntos de conexión de la cercha.

Figura 5.2: acciones actuantes en las conexiones.



Elaboración: Nolivos, Yacelga.

Se puede notar que:

- La unión entre la cuerda inferior y la superior esta sometida a dos acciones diferentes: compresión de parte de la cuerda superior y tensión en la inferior. Las componentes de la carga de compresión generan efectos de corte paralelo a la fibra (simple cizallamiento) y compresión perpendicular a la fibra en la cuerda inferior.
- La unión en la parte superior esta sometida a compresión por parte de las cuerdas superiores.

5.2 ENSAYO DE CONEXIONES EMPERNADAS SIN MORTERO (CESM)

5.2.1 RECOPIACIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS

En el Anexo 3 se presentan los datos de carga y deformación obtenidos en los ensayos de este modelo. A partir de estos datos se calcularon las cargas axiales en los elementos de la cercha (cordones superior e inferior).

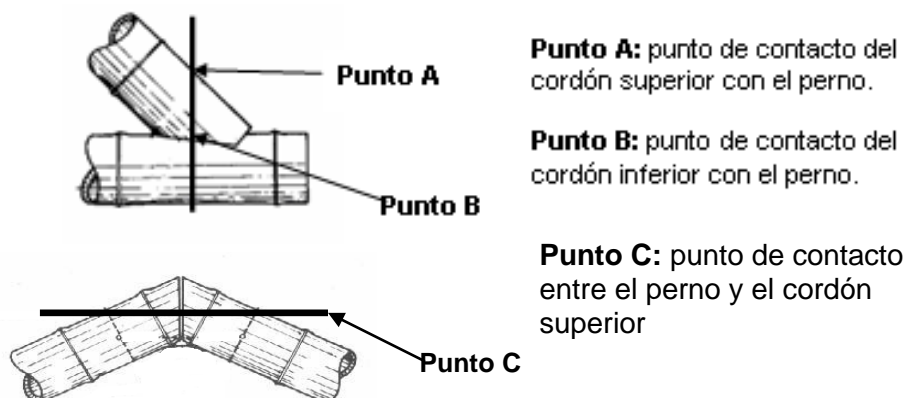
Se procedió además a realizar el diagrama carga-deformación en el cual se puede observar el comportamiento de la estructura ante la carga aplicada. En el diagrama se diferencia dos partes: la primera es un tramo que presenta una característica lineal, lo que indica comportamiento elástico por parte de la estructura. El segundo tramo tiende a curvarse indicando que a partir de este punto comienza a variar la rigidez de la cercha para luego llegar al agotamiento.

Debido a la acción de las cargas se presentan en las juntas varios tipos de esfuerzos que dependiendo de su magnitud determinan la resistencia de la conexión ensayada. Dichas sollicitaciones pueden ir variando e interactuando entre ellas lo que puede complicar su análisis.

Los valores de carga y esfuerzo calculados corresponden al límite del rango elástico (observado en el gráfico carga-deformación) y al máximo valor de carga registrado, en el cual se evidenció el agotamiento de la estructura.

Los esfuerzos son calculados en tres puntos de la cercha, dos en la junta inferior y uno en la superior; los cuales, se indican en el siguiente esquema:

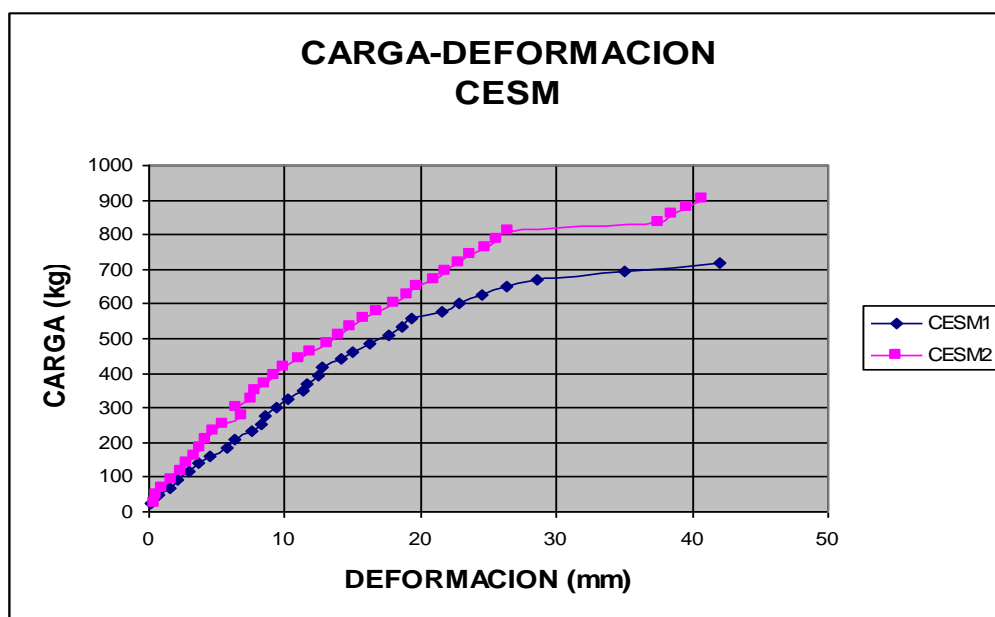
Figura 5.3: puntos de análisis en las conexiones.



Elaboración: Nolivos, Yacelga.

En la tabla 5.1 se muestran las diferentes cargas y esfuerzos para los cuales están solicitados los elementos de las conexiones en los puntos mencionados. Adicionalmente se indican las deformaciones verticales de la cercha para los valores de carga en el límite elástico y ante la carga máxima registrada. Por último se presenta el valor de rigidez de la cercha cuyo cálculo se realizó encontrando la pendiente de la curva en el rango elástico.

Figura 5.4: diagrama carga deformación CESM (conexiones empernadas sin mortero)



CESM1: conexiones empernadas sin mortero ensayo 1

CESM2: conexiones empernadas sin mortero ensayo 2

Elaboración: Nolivos, Yacelga.

Los esfuerzos que serán calculados en los puntos escogidos se detallan a continuación:

- **Esfuerzos de compresión y tensión axial** que se generan en las uniones ante la acción de la carga aplicada los mismos que se transfieren a través de los cordones superior e inferior de la cercha. Estos esfuerzos se calculan mediante la expresión:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (5.1)$$

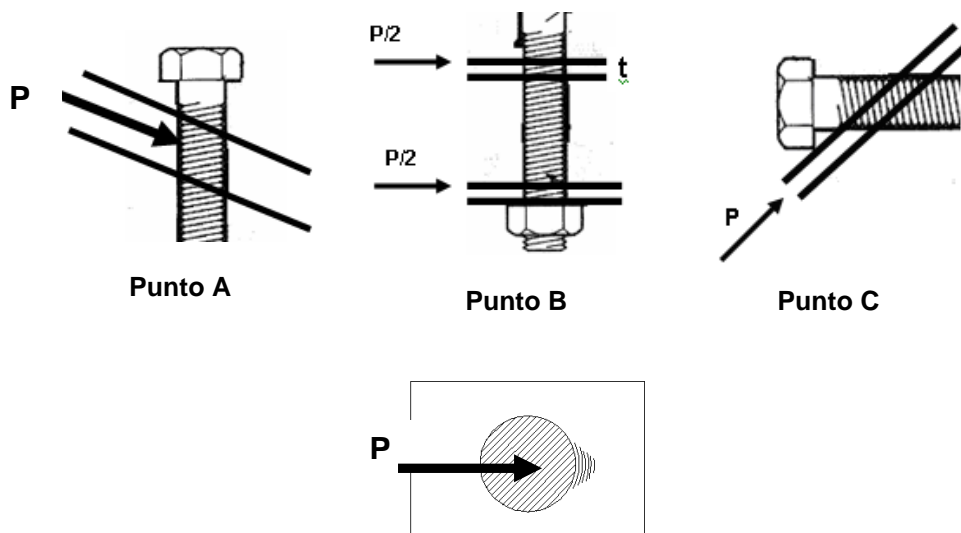
Donde:

P es la carga de tensión o compresión actuante en el cordón de la cercha.

A es el área efectiva de la caña.

- **Esfuerzos de aplastamiento en las fibras de la caña**, los cuales actúan de forma paralela a la dirección de las fibras. Estos esfuerzos tienden a generar incremento del diámetro original del agujero por donde atraviesa el perno.

Figura 5.5: esfuerzos de aplastamiento en CESM (conexiones empernadas sin mortero)



Elaboración: Nolivos, Yacelga.

El esfuerzo de aplastamiento se calcula con la siguiente relación:

$$\sigma_{aplast} = \frac{P}{\phi * t} \quad (5.2)$$

Donde:

P es la carga actuante en el perno (P para el punto A, P/2 para el punto B ya que en éste, el perno atraviesa a la guadua en 2 partes y P para el punto C).

Φ es el diámetro del perno.

t es el espesor de la caña guadua en el punto de contacto.

- **Esfuerzo de corte transversal en el perno**, los cuales se calculan con la siguiente relación:

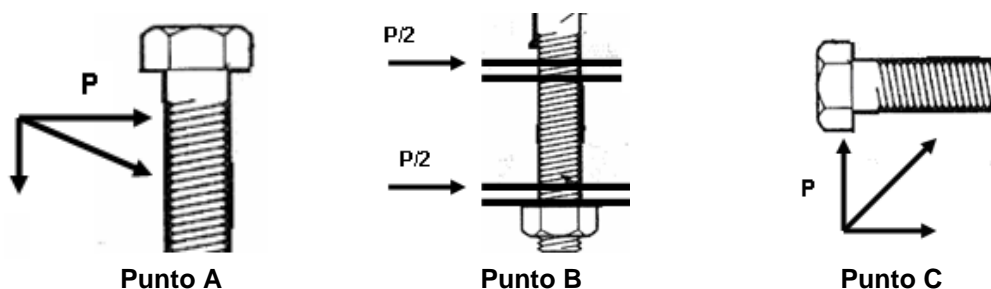
$$\tau_p = \frac{4P}{\phi^2 * \pi} \quad (5.3)$$

Donde:

P es la carga actuante en los cordones en sentido perpendicular al eje del perno. En el punto A este valor corresponde a la componente horizontal de la carga que se genera en el cordón superior de la cercha. Para el punto B es la mitad de la carga de tensión en el cordón inferior y para el punto C corresponde a la componente vertical de la carga que se genera en el cordón superior.

Φ es el diámetro del perno.

Figura 5.6: esfuerzos de corte en CESM (conexiones empernadas sin mortero)



Elaboración: Nolivos, Yacelga.

- **Esfuerzo de tracción** en las fibras de la caña guadua, se calculan con la relación:

$$\sigma_t = \frac{P}{(b - \phi) * t} \quad (5.4)$$

Donde:

P es la carga actuante en el perno. Para el punto A es la carga actuante en el cordón superior. En el punto B a la mitad de la carga de tensión del cordón inferior y para el punto C la misma que para A

Φ es el diámetro del perno.

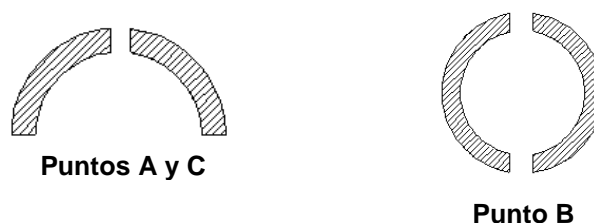
t es el espesor de la caña guadua.

b es el perímetro de la guadua.

La expresión $(b - \Phi) * t$ de la ecuación corresponde al área transversal de la caña guadua sin considerar el espacio destinado al paso de los pernos.

Se muestra a continuación un gráfico acerca de estas áreas consideradas para los puntos de análisis A, B y C.

Figura 5.7: áreas efectivas para tracción en CESM (conexiones empernadas sin mortero)



Elaboración: Nolivos, Yacelga.

- **Esfuerzo de clivaje.** Se define como clivaje a la resistencia ofrecida frente a la acción de una fuerza que tiende a desgajar o cortar la madera en dos partes cuando la dirección de los esfuerzos es paralela a la dirección de las fibras. También se puede definir esta propiedad como la resistencia que presenta la madera a rajarse cuando se le introduce un clavo o sea la resistencia que presentan las fibras a separarse en sentido longitudinal. Para el cálculo del clivaje se emplea la siguiente fórmula:

$$\tau_p = \frac{P}{2 * d * t} \quad (5.5)$$

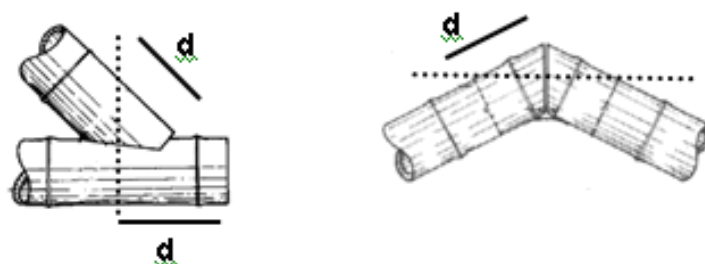
Donde:

P es la carga actuante en el perno. Siendo el valor actuante en el elemento inclinado para el punto A. La mitad de la carga de tensión en el cordón inferior para el punto B y la misma carga aplicada en A para el punto C.

t es el espesor de la caña guadua.

d es la distancia desde el eje del perno al extremo más próximo del elemento de guadua; 15 cm., en todos los casos.

Figura 5.8: valor “d” para clavaje



Elaboración: Nolivos, Yacelga.

Tabla 5.1: datos obtenidos del ensayo CESM (conexiones emperradas sin mortero)

CONEXIONES EMPERNADAS SIN MORTERO

CARGAS Y ESFUERZOS GENERADOS EN LOS CORDONES

	Probeta 1	Probeta 2	Promedio	Unidades	Tipo de acción
CARGA LÍMITE ELÁSTICO DE LA CERCHA	556,04	509.71	532.88	kg	
CARGA CORDÓN SUPERIOR (Límite Elástico)	393,18	360.42	376.80	kg	compresión
CARGA CORDÓN INFERIOR (Límite Elástico)	278,02	254.85	266.44	kg	tensión
ESFUERZO CORDÓN SUPERIOR (Límite Elástico)	16,92	15.51	16.22	kg/cm ²	compresión
ESFUERZO CORDÓN INFERIOR (Límite Elástico)	11,97	10.97	11.47	kg/cm ²	tensión
DEFORMACIÓN EN LÍMITE ELÁSTICO (cercha)	19.32	14.00	16.66	mm.	
RIGIDEZ DE LA CERCHA	28.78	36.41	31.98	Kg. /mm.	

Tabla 5.1: datos obtenidos del ensayo CESM (conexiones empernadas sin mortero) (continuación)

CARGA ÚLTIMA DE LA CERCHA	718,22	834.07	776.14	kg	
CARGA ÚLTIMA CORDÓN SUPERIOR	507,86	589.77	548.82	kg	compresión
CARGA ÚLTIMA CORDÓN INFERIOR	359,11	417.03	388.07	kg	tensión
ESFUERZO ÚLTIMO CORDÓN SUPERIOR	21,86	25.38	23.62	kg/cm ²	compresión
ESFUERZO ÚLTIMO CORDÓN INFERIOR	15,46	17.95	16.70	kg/cm ²	tensión
DEFORMACIÓN PARA CARGA ULTIMA CERCHA	42.00	37.50	39.75	mm.	

COMPONENTES DE ESFUERZOS EN LA JUNTA INFERIOR

	Probeta 1	Probeta 2	Promedio	Unidades
ESFUERZO PARALELO A LA FIBRA (Límite Elástico)	11,97	10.97	11.47	kg/cm ²
ESFUERZO PERPENDICULAR A LA FIBRA (Límite. Elástico)	11,97	10.97	11.47	kg/cm ²
ESFUERZO PARALELO A LA FIBRA (Último)	15,46	17.95	16.71	kg/cm ²
ESFUERZO PERPENDICULAR A LA FIBRA (Último)	15,46	17.95	16.71	kg/cm ²

ESFUERZOS GENERADOS EN LA CONEXIÓN INFERIOR (PUNTO A) carga última

	Probeta 1	Probeta 2	Promedio	Unidades
APLASTAMIENTO	447,84	520,10	483,97	kg/cm ²
CORTE EN EL PERNO	233,30	270,90	252,10	kg/cm ²
TRACCIÓN	48,46	56,27	52,36	kg/cm ²
CLIVAJE	20.90	24.27	22.58	kg/cm ²

ESFUERZOS GENERADOS EN LA CONEXIÓN INFERIOR (PUNTO B) carga última

	Probeta 1	Probeta 2	Promedio	Unidades
APLASTAMIENTO	158,33	183,88	171,11	kg/cm ²
CORTE EN EL PERNO	116,64	135,46	126,05	kg/cm ²
TRACCIÓN	8.56	9.94	9.25	kg/cm ²
CLIVAJE	7.39	8.58	7.98	kg/cm ²

ESFUERZOS GENERADOS EN LA CONEXIÓN SUPERIOR (PUNTO C) carga última

	Probeta 1	Probeta 2	Promedio	Unidades
APLASTAMIENTO	447.84	520,10	483,97	kg/cm ²
CORTE EN EL PERNO	233,30	270,90	252,10	kg/cm ²
TRACCIÓN	48,46	56,27	52,36	kg/cm ²
CLIVAJE	20.90	24.27	22.58	kg/cm ²

Elaboración: Nolivos, Yacelga.

5.2.2 MODOS DE FALLA

- Se produce deslizamiento en la junta inferior de la cercha por parte del cordón superior. En la figura 5.9 se puede apreciar en primer plano que el extremo de contacto de la caña del cordón superior se encuentra sobre el nudo al iniciar la prueba. Luego de finalizado el ensayo se observa como este extremo se ha desplazado.

Figura 5.9: deslizamiento del cordón superior de la cercha



Fuente: archivo personal. Nolivos, Yacelga.

- Se observa flexión de los pernos en el plano de contacto entre éstos y el cordón inferior con el consecuente deslizamiento de la junta. Dicho deslizamiento provocó que el perno genere una falla por corte paralelo a las fibras de la caña en la cara interna del cordón superior de la cercha como se muestra en la figura 5.10. En el punto de contacto de la guadua con la cabeza del perno y con la tuerca no se observan falla por aplastamiento. Las secciones de caucho colocadas en estos puntos han ayudado a prevenir este efecto.

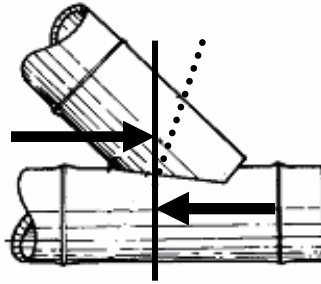
Figura 5.10: fallas por corte en el cordón superior de la cercha y flexión del perno



Fuente: archivo personal. Nolivos, Yacelga.

- La deformación ocurrida en el perno y el deslizamiento de la junta es el resultado de la acción generada por la componente horizontal de la carga que actúa en el cordón superior de la cercha, generando un efecto de simple cizallamiento en la junta.

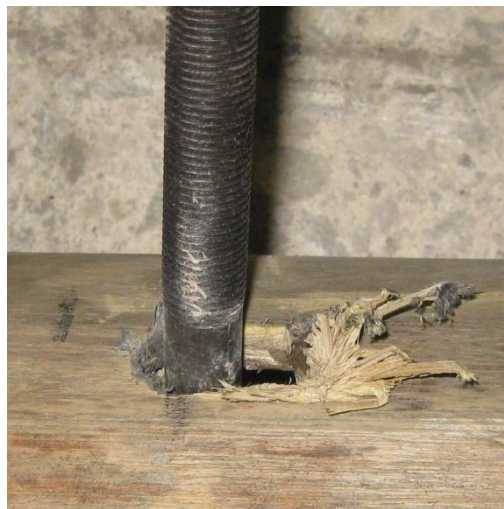
Figura 5.11: unión sometida a simple cizallamiento.



Elaboración: Nolivos, Yacelga.

- Se observa falla por corte paralelo a la fibra de la guadua en la zona de los orificios de pase del perno en el cordón inferior debido al deslizamiento sufrido por el conector que generó concentración de esfuerzos en este punto.

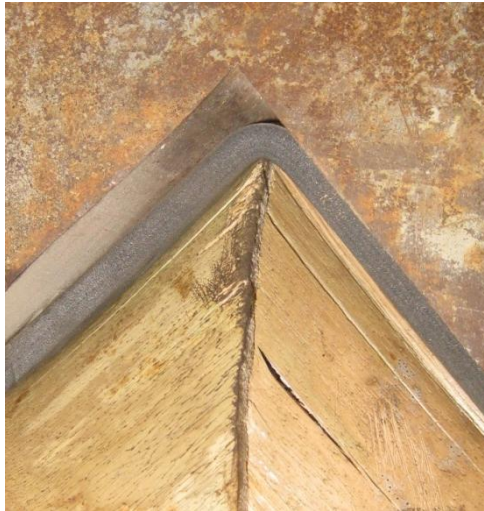
Figura 5.12: falla en el orificio de pase del perno



Fuente: archivo personal. Nolivos, Yacelga.

- El punto de unión superior no presenta fallas por deslizamiento de los pernos ni flexión en estos. Se aprecia rajaduras en el extremo producidas por el contacto con el molde utilizado para aplicar la carga a la cercha. Existe también aplastamiento aunque reducido en el área de los agujeros de los pernos.

Figura 5.13: fallas en el punto superior de la cercha



Fuente: archivo personal. Nolivos, Yacelga.

5.3 ENSAYO DE CONEXIONES EMPERNADAS CON MORTERO (CECM)

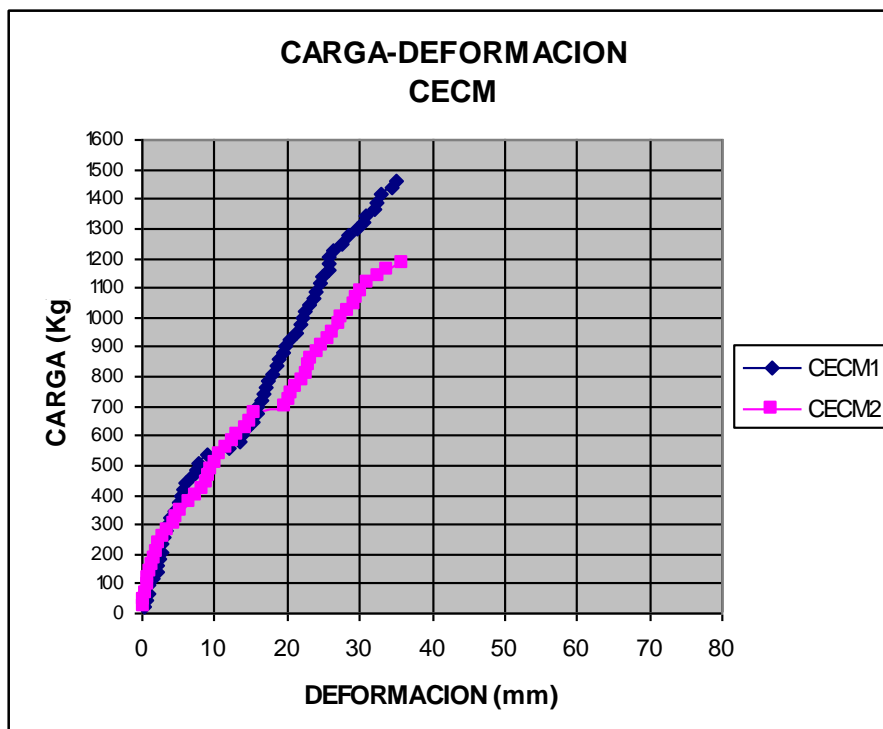
5.3.1 RECOPIACIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS

Los datos de carga y deformación vertical para este modelo se encuentran en el Anexo 3 de este trabajo. Con estos valores se procedió a realizar el diagrama carga-deformación de las probetas ensayadas.

Este diagrama tiene una pendiente muy pronunciada además de no denotar la presencia de los tramos elástico y plástico que se pudieron evidenciar con mayor claridad en el modelo anterior. La pendiente de la gráfica indica el mayor grado de rigidez que presenta la cercha, razón por la cual presentó inestabilidad al ser sometida a carga.

En la tabla 5.2 se tabulan las cargas y esfuerzos que actúan en las conexiones. Estos datos al igual que las deformaciones y rigidez corresponden a los valores máximos registrados ya que como se indicó previamente no se identifica los tramos elástico y plástico en la gráfica.

Figura 5.14: diagrama carga-deformación CECM (conexiones emperradas con mortero)



CECM1: conexiones emperradas con mortero ensayo 1

CECM2: conexiones emperradas con mortero ensayo 2

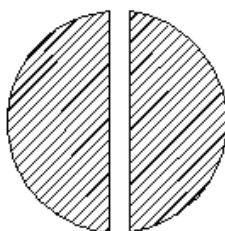
Elaboración: Nolivos, Yacelga.

Para el cálculo de los esfuerzos de la tabla 5.2 se emplean las mismas ecuaciones utilizadas para el modelo sin mortero observando algunas variantes dadas por el hecho de que al rellenar los cañutos con el mortero la sección deja de ser hueca y pasa a ser maciza. Estas variantes son:

- Para el cálculo de los esfuerzos de tensión y compresión generados en las juntas por efecto de los cordones de la cercha, el área corresponde ahora a toda la sección de guadua calculada con el diámetro externo.
- Para calcular los esfuerzos de aplastamiento se tiene que:
 - La carga P para todas las juntas corresponde a las generadas por los cordones superior e inferior; ya no se divide la carga como se hizo en el modelo anterior.

- El valor t (que se tomó como el espesor de la guadua en los puntos de contacto con la caña) es ahora la longitud de contacto del perno con la sección mortero-gadua en los puntos de análisis.
- Para el esfuerzo de corte transversal en el perno ya no se divide la carga en el punto B, se toma todo el valor generado por el cordón inferior. Para los puntos A y C se procede de la misma manera que para el modelo sin mortero; esto es utilizando las componentes de carga perpendiculares al eje del perno.
- Para los esfuerzos de tracción de los elementos en las juntas se considera ahora que el espesor t corresponde al diámetro externo de la caña. De esta forma el área que se utiliza en esta ecuación será el área de toda la sección de guadua menos el área correspondiente a lo que ocuparía el perno para la sección B y la mitad de esta área en las secciones A y C.

Figura 5.15: área efectiva para tracción en CECM (conexiones emperradas con mortero)



Elaboración: Nolivos, Yacelga.

- En la ecuación utilizada para calcular el clivaje en la guadua se considera para esta conexión que el espesor t es el diámetro externo de la caña y los valores de carga P serán los totales que se generen en los cordones. El valor d es 15 cm.

Tabla 5.2: datos obtenidos del ensayo CECM (conexiones empernadas con mortero)**CONEXIONES EMPERNADAS CON MORTERO****CARGAS Y ESFUERZOS GENERADOS EN LOS CORDONES**

	Probeta 1	Probeta 2	Promedio	Unidades	Tipo de acción
CARGA ULTIMA DE LA CERCHA	1459,62	1181,59	1320,60	kg	
CARGA ULTIMA CORDON SUPERIOR	1032,10	835,51	933,81	kg	compresión
CARGA ULTIMA CORDON INFERIOR	729,81	590,80	660,31	kg	tensión
ESFUERZO ULTIMO CORDON SUPERIOR	13,38	10,83	12,11	kg/cm ²	compresión
ESFUERZO ULTIMO CORDON INFERIOR	9,46	7,66	8,56	kg/cm ²	tensión
DEFORMACIÓN DE LA CERCHA	35.00	35.89	35.45	mm.	
RIGIDEZ DE LA CERCHA	41.70	32.92	37.31	Kg. /mm.	

COMPONENTES DE ESFUERZOS EN LA JUNTA INFERIOR

	Probeta 1	Probeta 2	Promedio	Unidades
ESFUERZO PARALELO A LA FIBRA (ÚLTIMO)	9,46	7,66	8,56	kg/cm ²
ESFUERZO PERPENDICULAR A LA FIBRA (ÚLTIMO)	9,46	7,66	8,56	kg/cm ²

ESFUERZOS GENERADOS EN LA CONEXIÓN INFERIOR (PUNTO A) carga última

	Probeta 1	Probeta 2	Promedio	Unidades
APLASTAMIENTO	74,39	60,22	67.31	kg/cm ²
CORTE EN EL PERNO	474.10	383.79	428.95	kg/cm ²
TRACCIÓN	8.16	6.605	7.38	kg/cm ²
CLIVAJE	3,47	2.81	3.14	kg/cm ²

ESFUERZOS GENERADOS EN LA CONEXIÓN INFERIOR (PUNTO B) carga última

	Probeta 1	Probeta 2	Promedio	Unidades
APLASTAMIENTO	52,60	42,58	47,59	kg/cm ²
CORTE EN EL PERNO	474,10	383,79	428,95	kg/cm ²
TRACCIÓN	11.54	9,34	10,44	kg/cm ²
CLIVAJE	2,45	1,99	2,22	kg/cm ²

ESFUERZOS GENERADOS EN LA CONEXIÓN SUPERIO (PUNTO C) carga última

	Probeta 1	Probeta 2	Promedio	Unidades
APLASTAMIENTO	74,39	60,22	67,31	kg/cm ²
CORTE EN EL PERNO	474.10	383.79	428.95	kg/cm ²
TRACCIÓN	8.16	6.605	7.38	kg/cm ²
CLIVAJE	3.47	2.81	3.14	kg/cm ²

Elaboración: Nolivos, Yacelga.

5.3.2 MODOS DE FALLA

La configuración de este modelo difiere del anterior en la presencia de mortero en los cañutos de guadua, esta característica generó el siguiente comportamiento de la estructura:

- Como se nota en el gráfico carga-deformación para este modelo la rigidez de las cerchas es mayor a la anterior, lo cual significó un mayor cuidado en lo referente a la salvaguarda del equipo ya que la estructura presentó inestabilidad al ser sometida a carga.
- Se alcanzaron cargas máximas de alrededor de 1460 kg., generando en las conexiones inferiores esfuerzos de compresión de 44.42 kg., y 31.41 kg., para tensión. A pesa del valor de estos esfuerzos no se produjo falla por aplastamiento en el cordón inferior; esto se debió al relleno del mortero que absorbió los esfuerzos de compresión generados.
- Se observaron fallas similares al modelo que no contiene mortero en lo referente a la flexión en los pernos y al desplazamiento del cordón superior sobre el inferior con el consecuente deslizamiento de la junta aunque los valores de carga a los que ocurrieron estas fallas son superiores (alrededor de un 40%) a las registradas en el ensayo anterior, mientras que los desplazamientos fueron inferiores (cerca de un 80% menores).
- Se observa también en la cara interna de los cordones superiores de la caña en la parte baja de la cercha fallas por corte paralelo a la fibra. Esto se da por el deslizamiento de los conectores que generan concentración de esfuerzos en el mortero y este a su vez en las paredes de la caña.
- En la junta superior no se observan fallas. Al igual que en las conexiones inferiores el mortero de cementó contribuyó a que en estas uniones las fallas por aplastamiento que pudieran darse sean controladas significativamente.

Figura 5.16: falla presentada en la junta CECM (conexiones empernadas con mortero)



Fuente: archivo personal. Nolivos, Yacelga.

- Se presentó ruptura en el mortero de cemento, concretamente en la zona de contacto con el cordón inferior, esto debido a que no existe la adecuada adherencia entre mortero y guadua. Pero cabe resaltar que este resquebrajamiento se produjo cuando el elemento soportaba una carga considerable.

Figura 5.17: desprendimiento de mortero



Fuente: archivo personal. Nolivos, Yacelga.

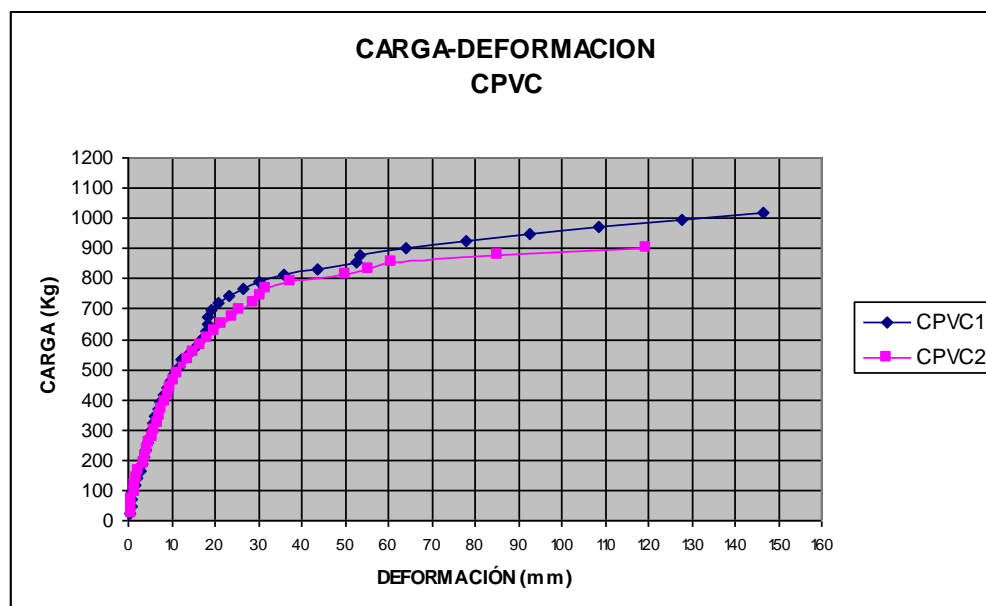
5.4 ENSAYO DE CONEXIONES CON ACCESORIOS DE PVC (CPVC)

5.4.1 RECOPIACIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS

Los datos tomados directamente del anillo de carga y el deformímetro (Anexo 3) permiten realizar el gráfico carga-deformación para las probetas ensayadas con conectores de PVC.

El gráfico muestra una clara diferencia entre los rangos elástico y plástico lo cual permite obtener valores de carga en el final del comportamiento elástico como también la carga máxima. Se puede también observar que la rigidez de este modelo es mayor al modelo CESH (conexiones empernadas sin mortero) e inferior a aquel que tiene mortero en los cañutos (CECM conexiones empernadas con mortero).

Figura 5.18: diagrama carga-deformación ensayo CPVC (conexiones con PVC)



CPVC1: conexiones con PVC ensayo 1

CPVC2: conexiones con PVC ensayo 2

Elaboración: Nolivos, Yacelga.

En este modelo no se emplean pernos para unir los cordones superior e inferior de la cercha, lo que evita la presencia de esfuerzos tales como corte,

cizallamiento y aplastamiento en el perno de la unión. La conexión se basa en las facilidades que presenta el PVC para lograr una junta

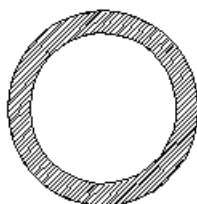
En la conexión inferior la condición crítica esta dada por el esfuerzo de aplastamiento que se genera en este punto por acción de la componente vertical de la carga actuante en el cordón superior de la cercha (Fig. 5.20).

En el cordón inferior se colocaron pernos con el objeto de evitar el deslizamiento de las conexiones tipo “Y” de PVC y la caña guadua debido a las variaciones en diámetro de la misma, esto a causa de cargas de tensión en el cordón inferior.

Los esfuerzos que se esperan tener en las juntas de este modelo son los siguientes:

- **Esfuerzos de tensión y compresión axial** que se generan en los cordones al ser aplicada la carga sobre la cercha. Para calcular estos esfuerzos se emplea la misma fórmula aplicada en las conexiones ya descritas anteriormente (ecuación 5.1), donde **P** es la carga de tensión o compresión actuante en el cordón de la cercha y **A** es el área efectiva de la caña.

Figura 5.19: área efectiva en CPVC



Elaboración: Nolivos, Yacelga.

Tabla 5.3: datos obtenidos del ensayo CPVC (conexiones con PVC)**CONEXIONES CON ACCESORIOS DE PVC****CARGAS Y ESFUERZOS GENERADOS EN LOS CORDONES**

	Probeta 1	Probeta 2	Promedio	Unidades	Tipo de acción
CARGA LIMITE ELASTICO	695.05	648,72	671.89	Kg	
CARGA CORDON SUPERIOR (Límite Elástico)	491.48	458,71	475.10	Kg	compresión
CARGA CORDON INFERIOR (Límite Elástico)	347.53	324,36	335.95	Kg	tensión
ESFUERZO CORDON SUPERIOR (Límite Elástico)	21.15	19,74	20.45	kg/cm ²	compresión
ESFUERZO CORDON INFERIOR (Límite Elástico)	14.96	13,96	14.46	kg/cm ²	tensión
DEFORMACIÓN EN LÍMITE ELÁSTICO	19.05	21.60	20.33	mm.	
RIGIDEZ	36.48	30.03	33.25	Kg. /mm.	

CARGA ULTIMA	903.57	857.23	880.40	Kg	
CARGA ULTIMA CORDON SUPERIOR	638.92	606.16	622.54	Kg	compresión
CARGA ULTIMA CORDON INFERIOR	451.79	428.62	440.20	Kg	tensión
ESFUERZO ULTIMO CORDON SUPERIOR	27.50	26.09	26.79	kg/cm ²	compresión
ESFUERZO ULTIMO CORDON INFERIOR	19.44	18.45	18.95	kg/cm ²	tensión
DEFORMACIÓN PARA CARGA ULTIMA	64.008	60.79	62.40	mm.	

COMPONENTES DE ESFUERZOS EN LA JUNTA INFERIOR

	Probeta 1	Probeta 2	Promedio	Unidades
ESFUERZO PARALELO A LA FIBRA (LE)	14.96	13.96	14.46	kg/cm ²
ESFUERZO PERPENDICULAR A LA FIBRA (LE)	14.96	13.96	14.46	kg/cm ²
ESFUERZO PARALELO A LA FIBRA ÚLTIMO	19.44	18.45	18.95	kg/cm ²
ESFUERZO PERPENDICULAR A LA FIBRA ÚLTIMO	19.44	18.45	18.95	kg/cm ²

Elaboración: Nolivos, Yacelga.

5.4.2 MODOS DE FALLA

- Quien determinó la capacidad de carga de la junta fue la resistencia de la caña guadua ante esfuerzos de compresión perpendicular a la fibra en el cordón inferior. El esfuerzo de compresión registrado al alcanzar la falla es similar a los encontrados en ensayos previos acerca de las características físico-mecánicas de la caña guadua en lo referente a su esfuerzo último bajo esfuerzo perpendicular a la fibra. El valor de este esfuerzo es de aproximadamente 30kg. /cm² según estudios realizados en la Universidad Nacional de Colombia por los Ingenieros Diego Jaramillo y Ana Sanclemente (Referencia Bibliográfica 16).

- La falla presentada es esencialmente por aplastamiento de la guadua como se puede ver en las fotos del ensayo.
- No se observan fallas en los accesorios de PVC ni en los pernos que sirvieron para fijar los accesorios a la caña.
- Tampoco se ha visto que se haya producido aplastamiento en los contornos de los agujeros por donde atravesaron los pernos.

Figura 5.20: falla por aplastamiento en la guadua



Fuente: archivo personal. Nolivos, Yacelga.

- Durante el proceso de ensayo se decidió retirar la conexión de PVC de la parte superior de la cercha ya que se produjeron deformaciones excesivas en el codo de 90° las mismas que no reflejaban el comportamiento general de la estructura.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

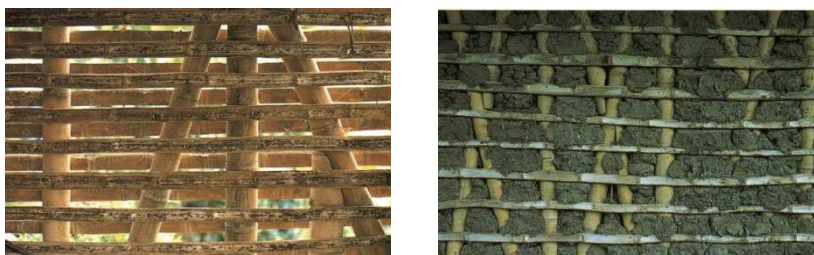
6.1 CONCLUSIONES

- La caña guadua es un vegetal que presenta importantes cualidades para ser explotadas en diferentes campos como son el artesanal, industrial, ecológico, constructivo, etc. Entre sus propiedades estructurales se destaca la relación resistencia/peso que excede a la mayoría de las maderas, además su capacidad para absorber energía, permite que sea flexible y resistente.
- Es un recurso renovable y sostenible. Se reproduce vegetativamente, es decir con partes de la planta. La velocidad de crecimiento es variable y está en función de la especie, características ambientales, tipo de suelo, etc. Estudios científicos realizados en el Ecuador por la empresa Acero Vegetal-Tindilsa han determinado que en la zona de Bucay y en un área de estudio específico, el crecimiento es de 13.5 cm/día¹, siendo este un alto factor de velocidad de crecimiento en comparación con otras especies madereras.
- La caña guadua presenta grandes beneficios al medio ambiente, es un excelente captor de CO₂, regula el recurso hídrico en las cuencas de los ríos, previene la erosión del suelo y es hábitat de una gran biodiversidad.
- La guadua no presenta un comportamiento isotrópico, es decir sus características físico-mecánicas pueden variar entre tallos e incluso en un mismo tallo debido a ciertos factores como: cambios en el diámetro del culmo, espaciamiento entre nudos, características ambientales de la zona de desarrollo de las plantas, edad de la planta, espesor de las paredes, etc.

¹INBAR, Red Internacional del Bambú y Ratán, Oficina regional para América Latina y el Caribe. Referencia bibliográfica 12. inbarlac@gmail.com

- La guadua presenta importantes características físicas que facilitan su empleo en miembros estructurales. Su forma circular y su sección hueca la hacen un material liviano, fácil de transportar y de almacenar. Su sección en forma de tubo le brinda resistencia a la torsión
- Los culmos de caña guadua presentan una alta resistencia frente a esfuerzos de tracción paralela a la fibra, siendo por tanto un material apto para la construcción de estructuras en las cuales predominen esfuerzos axiales como es el caso de las armaduras.
- Tiene baja resistencia a tracción perpendicular a la fibra; es decir, a cortante. Consecuencia de esto es la recomendación de no utilizar clavos al momento de unir elementos de caña guadua ya que el impacto produce rajaduras.
- Por ser un tubo hueco presenta una baja resistencia a compresión perpendicular a las fibras; es decir a ser aplastada, en especial si la acción se genera en una sección donde no exista nudo. Por esta razón se recomienda rellenar los cañutos de guadua con algún material (mortero) o elemento (secciones de madera) que compensen esta falencia.
- La guadua es y ha sido empleada en combinación con otros materiales de construcción como elementos de refuerzo. Un ejemplo de esto es el sistema constructivo del bahareque, que se define según el código NSR-98 como: “sistema estructural de muros basados en la fabricación de paredes construidas con un esqueleto de guadua, cubierto con un revoque de mortero de cemento aplicado sobre una malla de alambre, clavada en esterilla de guadua, que a su vez se clava sobre el esqueleto del muro”. Este sistema de construcción ha sido muy utilizado en las nativas culturas indígenas de Sudamérica

Figura 6.1: bahareque encementado

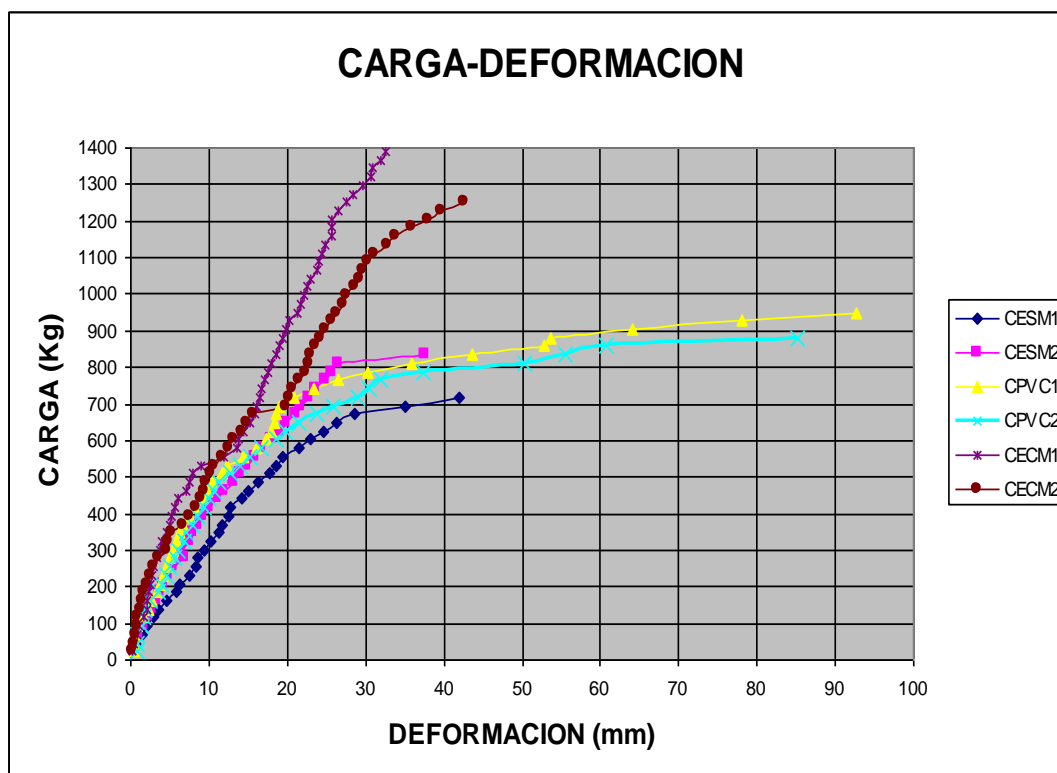


- Los sistemas de conexión con caña son variados, en su mayoría fruto de la imaginación e innovación de los constructores; aunque en general no se ha contado con una normativa que estandarice los procesos constructivos y explote las propiedades del material.
- En los ensayos se pudo observar que las fallas se dieron en el material antes que en la conexión propiamente dicha, demostrando de esta manera que los medios de conexión propuestos se comportaron adecuadamente ante las cargas aplicadas.
- Las fallas que se presentan en los modelos que utilizan pernos como medio de conexión se debe principalmente a corte en la junta lo cual generó flexión en el perno y deslizamiento del cordón superior. Como consecuencia se produjo falla por corte paralelo a la fibra en el cordón superior.
- En el modelo que utiliza como medio de conexión los accesorios de PVC, la falla se produce básicamente por aplastamiento del cordón inferior de la cercha por acción directa de la compresión del cordón superior. Los esfuerzos generados alcanzaron los valores máximos de resistencia de la caña guadua ante compresión perpendicular a la fibra.
- Cada una de las alternativas estudiadas podría ser aplicada para distintas solicitaciones de carga, dependiendo de la estructura ha ser diseñada y construida y el uso que se le de a la misma, por lo cual en base a los

resultados obtenidos se podría escoger la opción que resulte más adecuada para un determinado proyecto.

- El costo de ensamblado de una estructura influye en gran medida al momento de escoger el tipo de conexión a utilizarse, aunque esto de ninguna manera debe constituirse en una premisa ya que en un proyecto en específico puede ocurrir que la menos costosa no siempre resulte ser la más conveniente desde el punto de vista estructural, debiendo anteponer el diseño antes que al costo.
- Los resultados obtenidos y presentados en las tablas muestran el comportamiento de las probetas en cuanto a su rigidez, las conexiones rellenas con mortero de cemento presentan un mayor valor, esto se evidencia en los gráficos esfuerzo-deformación que presentan una pendiente mayor que los otros modelos.

Figura 6.2: curvas carga-deformación



Elaboración: Nolivos, Yacelga.

Figura 6.2: curvas carga-deformación (continuación)**CESM1:** conexiones emperradas sin mortero ensayo 1.**CESM2:** conexiones emperradas sin mortero ensayo 2.**CPVC1:** conexiones con PVC ensayo 1**CPVC2:** conexiones con PVC ensayo 2.**CECM1:** conexiones emperradas con mortero ensayo 1.**CECM2:** conexiones emperradas con mortero ensayo 2.**Elaboración:** Nolivos, Yacelga.

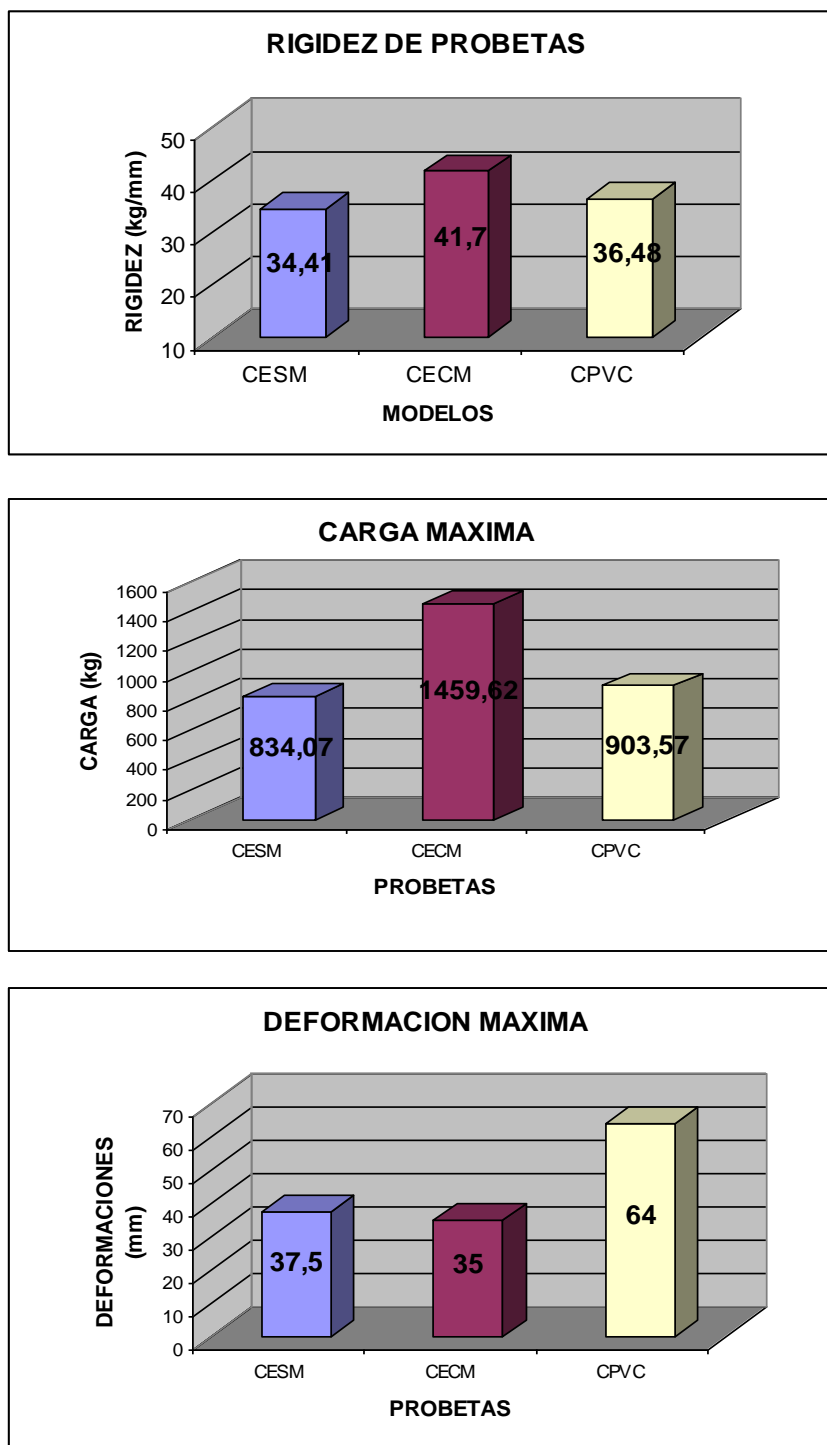
Las cerchas que utilizaron solo conexiones emperradas sin mortero, son las menos rígidas como se aprecia en el gráfico. En comparación con las conexiones que emplearon mortero, su rigidez es aproximadamente un 30% menor, situación que no le resta aplicabilidad debido a que el valor de carga alcanzado por este modelo es comparable a cargas generadas en diseños de armaduras de madera para techo tabulados en el manual de diseño de la JUNAC que alcanzan valores de aproximadamente 550 Kg., en los puntos de conexión.

Las probetas que emplearon accesorios de PVC como medio de unión presentan valores intermedios de rigidez que superan a la propuesta CESM en aproximadamente un 2% y son inferiores a las CECM en un 19%.

Conocidos los valores de rigidez es factible identificar las probetas que soportaron un mayor valor de carga y sufrieron menor deformación. Los valores máximos de carga registrados y sus respectivas deformaciones se las detalla en los siguientes gráficos comparativos.

Cabe señalar que la probeta CPVC muestra un valor de deformación no acorde a lo previsto ya que debería haber alcanzado un valor menor de acuerdo a la rigidez obtenida. La probable causa de este resultado se debería al hecho de haber modificado la conexión superior dejándola desprovista de una unión adecuada que generó una falla por aplastamiento súbita y como consecuencia una deformación excedida.

Figura 6.3: diagramas comparativos de rigidez, carga y deformación



CESM: conexiones empernadas sin mortero.

CPVC: conexiones con PVC.

CECM: conexiones empernadas con mortero.

Elaboración: Nolivos, Yacelga.

6.2 RECOMENDACIONES

- Como cualquier otro material la caña guadua también presenta algunas falencias en su explotación y uso, como es el caso de ataque de insectos, exposición a agentes naturales externos (lluvia, sol), etc. Estas desventajas pueden ser superadas mediante el uso de preservantes adecuados, un diseño estructural apropiado entre otras y un seguimiento oportuno acerca de las normas de uso existentes para este material.
- A nivel general el desconocimiento sobre las bondades de la guadua y la forma técnica de utilizarla hacen que todavía se tengan muchos prejuicios por lo que es prioritario hacer mucha difusión, capacitación y validación de todas las tecnologías para cultivarla, utilizarla y convertirla en herramienta económica.
- Al realizar un estudio experimental es recomendable realizar ensayos que permitan establecer parámetros de diseño que sean aplicables en la práctica constructiva, en especial el trabajar con un material alternativo como la caña guadua cuyas características físico-mecánicas presentan una notable variabilidad dependiendo de la región a la cual pertenecen y de la forma como fue tratado el material posterior al corte.
- Al momento de calcular los esfuerzos se debe considerar que la sección transversal de la guadua no es circular a causa de la entalladura tipo pico de flauta utilizada, que se asemeja a una elipse lo que provoca un incremento de aproximadamente un 15% en el área efectiva valor que debería considerarse al momento del cálculo.

BIBLIOGRAFÍA

1. AIS, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, NORMA NSR-98 Capítulo E.7.- “Casas de uno y dos pisos en bahareque encementado”, Bogotá, Colombia, 2002.
2. AMBROSE, James, Estructuras, Editorial Limusa, México D.F., México, 1997
3. CIRO VELASQUEZ, Héctor, Determinación de la resistencia mecánica a tensión y cizalladura de la guadua angustifolia Kunth, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de ciencias Agropecuarias, Medellín, Colombia, 2005.
4. COBO, Cristóbal, Director Proyecto Quitsato, bibliografía personal y archivos fotográficos, Hacienda Guachalá, Cayambe, Ecuador crisocobo@yahoo.com, 2009.
5. CORPEI, Corporación de Promoción de Exportaciones e Inversiones, Estudio subsector bambú, Departamento de promoción de inversiones, Guayaquil, Ecuador, 2005.
6. CORREA, Cristina Arq., La vivienda social en el Ecuador, Tesina, Quito, Ecuador, 2009.
7. DIAZ, Félix, Pequeño Manual de la Guadua, trabajo de investigación, s.e., s.l., s.f.

8. FLORES FORERO, Edwin, Tesis: Uniones a tensión en guadua con mortero y varilla, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia, 2003.
9. FORERO, Germán y SOUZA, Hermann, Tesis: La guadua un sistema innovador para la construcción de vivienda en Anapoima Cundinamarca, Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia, 2007.
10. HIDALGO LÓPEZ, Oscar, Manual de construcción con bambú, Normas que deben tomarse en cuenta en el empleo del bambú como material de construcción, CIBAM, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Artes, Bogotá, Colombia, s.f.
11. ICONTEC, Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, Uniones de estructuras con guadua angustifolia Kunth, norma NTC 5407, Bogotá, Colombia, 2006.
12. INBAR, Red Internacional del Bambú y Ratán, Oficina regional para América Latina y el Caribe, boletines informativos, Quito, Ecuador, 2009. Av. Amazonas y Eloy Alfaro, Edificio MAGAP, piso 11, Ofic. 06 inbarlac@gmail.com
13. ISO, International Organization for Standardisation, NORMA ISO/TC-165/N 313: Bamboo Structural Design, 2001.
14. ISO, International Organization for Standardisation, NORMA ISO/TC 165/N314: Determination of Physical and mechanical properties of bamboo, 2001.

15. ISO, International Organization for Standardisation, NORMA ISO/TC 165/N315: Laboratory manual on testing methods for determination of physical and mechanical properties of bamboo, 2001.
16. LEÓN JARAMILLO, Diego y SANCLEMENTE MANRIQUE, Ana, Tesis: Estudio de uniones en guadua con ángulo de inclinación entre elementos, Facultad de ingeniería, departamento de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia, 2003.
17. LOPEZ, Antonio y BASANTES, Alexis, Tesis: Elementos de hormigón reforzado con bambú sujetos a flexión, Facultad de Ingeniería Civil, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 1988.
18. JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA, Manual de diseño para maderas del Grupo Andino, cuarta edición, editada por JUNAC, Lima, Perú, 1984.
19. MORAN UBIDIA, Jorge, Usos tradicionales y actuales del bambú en América Latina con énfasis en Colombia y Ecuador, Centro de Investigaciones territoriales del Ecuador, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2001.
20. OBERMANN, Tim, Bambú: recurso sostenible para estructuras espaciales, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia, 2004.
21. PARKER, Harry, Diseño simplificado de armaduras de techo para arquitectos y constructores, Editorial Limusa, México D.F., México, 1991.

22. SILVA, Felipe y LOPEZ, Felipe, Valores recomendados para cálculos estructurales con guadua angustifolia, propiedades mecánicas de la caña guadua, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia, 2000.
23. TAKEUCHI TAM, Caori Patricia, Comportamiento estructural de la guadua angustifolia, Profesora Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Colombia, Revista Ingeniería y Planificación pp. 3-7, Bogotá, Colombia, 2004.
24. URIBE, Maritza y DURÁN, Alejandro, Tesis: Estudio de elementos solicitados a compresión armados por tres guaduas, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia, 2002.
25. VELEZ, Simón, Actualidad y futuro de la arquitectura de bambú en Colombia, Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España, 2006.
26. VIZCARRA, Jorge, La caña guadua, Ing. Agrónomo Servicio de información Agropecuaria del Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador, Proyecto SICA-Banco Mundial. <http://www.sica.gov.ec/>

DIRECCIONES ELECTRONICAS

1. Construir con Bambú 'Guadua angustifolia'. Ciencia y Técnica, www.conbam.de.
2. Construcción de casas con caña guadua en ecuador <http://www.douglasdreher.com/proyectos/canaguadua>.

3. ASF-E ARQUITECTOS SIN FRONTERAS. S.f. Viviendas de bajo costo en América Latina, Viviendas Hogar de Cristo. Guayaquil, Ecuador.
http://www.asfes.org/info/Info_16/Info16_06.htm
4. <http://inciarco.com/foros/showthread.php?t=714>
5. <http://lac.inbar.int/resultadosforo.htm>
6. <http://www.imcyc.com/ct2009/ene09/sustentabilidad.htm>
7. <http://www.sica.gov.ec/>
8. Jorge Morán Ubidia. jmoran@inbar.int . rimancer@telconet.net

ANEXOS

ANEXO N° 1

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA CAÑA GUADUA

UTILIZADA

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA CAÑA GUADUA

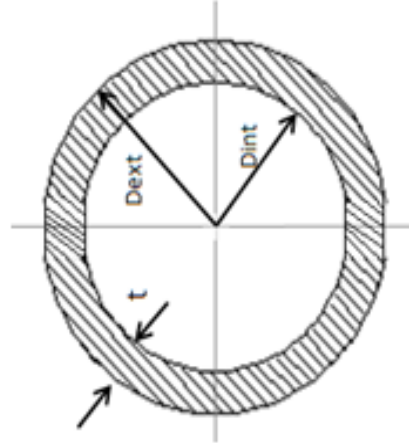
Dext: diámetro externo

t: espesor de las paredes

Dint: diámetro interno

$$AREA = \frac{\pi}{4} * (D_{ext}^2 - D_{int}^2)$$

MUESTRA	Dext (cm)	t (cm)	2t	Dint (cm)	AREA (cm ²)
1	11	1	2	9	31,42
2	10,5	0,8	1,6	8,9	24,38
3	9	0,7	1,4	7,6	18,25
4	9,8	0,9	1,8	8	25,16
5	10,5	1	2	8,5	29,85
6	10	0,5	1	9	14,92
7	8,5	0,7	1,4	7,1	17,15
8	10	0,7	1,4	8,6	20,45
9	9,5	0,6	1,2	8,3	16,78
10	10	1	2	8	28,27
11	11	1	2	9	31,42
12	10	1	2	8	28,27
13	9	0,6	1,2	7,8	15,83
14	10	0,8	1,6	8,4	23,12



DIAMETRO EXTERNO PROMEDIO (cm)	9,91
ESPESOR PROMEDIO (cm)	0,81
DIAMETRO INTERNO PROMEDIO (cm)	8,3
AREA PROMEDIO (cm ²)	23,23

ANEXO N° 2**CÁLCULO DE CONTENIDO DE HUMEDAD, DENSIDAD
SECA Y DENSIDAD BÁSICA DE LA GUADUA**

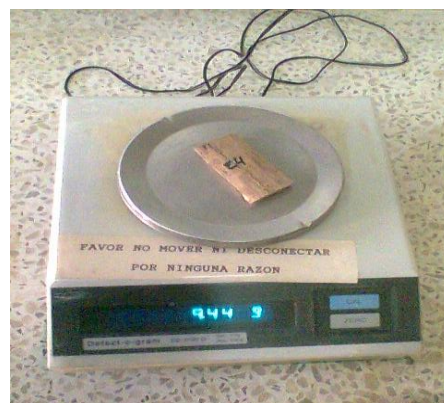
METODOLOGÍA DEL ENSAYO

Para la determinación de estos parámetros se emplearon como equipos de trabajo una balanza digital con precisión de 0.01 gr., y un horno eléctrico; éste material fue facilitado en el Laboratorio de ensayo de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental de la E.P.N.

La metodología utilizada para la realización de esta prueba se basa en la norma ISO/TC 165/N314: Determination of Physical and mechanical properties of bamboo, realizada por el INBAR (Internacional Network of Bamboo and Rattan). El procedimiento y las ecuaciones utilizadas para el cálculo fueron ya descritos en el Capítulo 4, sección 4.4: Materiales y Equipo utilizados.

Los resultados obtenidos revelan que el material utilizado se encuentra dentro de los parámetros requeridos para el uso estructural de la caña guadua. Esta conclusión fue alcanzada tomando como criterio técnico lo expuesto por la norma NSR-98, capítulo E7, sección E.7.4.1 la cual dice: “No puede utilizarse guadua con más del 20% de contenido de humedad ni por debajo del 10%. En todo caso, el contenido de humedad debe estar cercano a la humedad de equilibrio ambiental de la madera, tal como se define en la figura 2.3, del numeral 2.2.1, Influencia del secado sobre los elementos de madera, del Manual de diseño para maderas del Grupo Andino.”





En la siguiente tabla se detallan los datos obtenidos de las muestras analizadas y los respectivos resultados en cuanto a contenido de humedad, densidad seca y densidad básica de cada una de ellas así como también un promedio de estos valores.

TABLA DE CÁLCULOS DE CONTENIDO DE HUMEDAD, DENSIDAD SECA Y DENSIDAD HUMEDA DE LA CAÑA GUADUA

MUESTRA	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	VOLUMEN VERDE (cm ³)	VOLUMEN SECO (cm ³)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	DENSIDAD BASICA (gr/cm ³)
E4	9,44	8,23	7,5	7,5	12,82	1,26	1,10
E3	9,63	8,48	11,55	11,55	11,94	0,83	0,73
E1	9,58	8,39	8,25	8,25	12,42	1,16	1,02
A1'	6,46	5,58	7,5	7,5	13,62	0,86	0,74
E5	8,86	7,79	7,5	7,5	12,08	1,18	1,04
E2	9,70	8,5	7,5	7,5	12,37	1,29	1,13
B2'	11,64	10,03	12,15	12,15	13,83	0,96	0,83
A2	5,82	5,04	6,25	6,25	13,40	0,93	0,81
B2	13,59	11,69	15	15	13,98	0,91	0,78
A2'	5,79	5,01	11,25	11,25	13,47	0,51	0,45
B1'	12,46	10,76	13,5	13,5	13,64	0,92	0,80
C1'	9,37	8,21	9	9	12,38	1,04	0,91
B1	11,88	10,23	13,5	13,5	13,89	0,88	0,76
A1	6,39	5,54	7,5	7,5	13,30	0,85	0,74
C2	10,39	9,09	10,5	10,5	12,51	0,99	0,87
C1	9,67	8,44	9,9	9,9	12,72	0,98	0,85
C2'	10,22	8,96	7,5	7,5	12,33	1,36	1,19

VALORES MEDIOS

CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	DENSIDAD BASICA (gr/cm ³)
12,98	1,00	0,87

ANEXO N° 3

DATOS EXPERIMENTALES OBTENIDOS DEL ENSAYO

DATOS EXPERIMENTALES OBTENIDOS DEL ENSAYO PARA CONEXIONES EMPERNADAS SIN MORTERO

CESM1: Conexiones emperradas sin mortero probeta 1

CESM2: Conexiones emperradas sin mortero probeta 2

DEFORMACION (mm) CESM1	DEFORMACION (mm) CESM2	CARGA kg
0,16	0,4	23,1685
0,7	0,6	46,337
1,5	0,95	69,5055
2,1	1,7	92,674
2,9	2,35	115,8425
3,6	2,8	139,011
4,5	3,3	162,1795
5,8	3,85	185,348
6,3	4,25	208,5165
7,5	4,7	231,685
8,3	5,5	254,8535
8,54	6,9	278,022
9,32	6,4	301,1905
10,25	7,6	324,359
11,35	7,9	347,5275
11,69	8,5	370,696
12,43	9,2	393,8645
12,75	10	417,033
14,12	11,05	440,2015
14,93	11,9	463,37
16,21	13,2	486,5385
17,7	14	509,707
18,65	14,8	532,8755
19,32	15,8	556,044
21,54	16,8	579,2125
22,87	18	602,381
24,54	19	625,5495
26,32	19,8	648,718
28,51	21	671,8865
35	21,8	695,055
42	22,8	718,2235
	23,6	741,392
	24,8	764,5605
	25,7	787,729
	26,5	810,8975
	37,5	834,066
	38,5	857,2345
	39,6	880,403
	40,7	903,5715

**DATOS EXPERIMENTALES OBTENIDOS DEL ENSAYO
PARA CONEXIONES CON PVC**

CPVC1: Conexiones con PVC probeta 1

CPVC2: Conexiones con PVC probeta 2

DEFORMACION (mm) CPVC1	DEFORMACION (mm) CPVC2	CARGA kg
0,508	0,8	23,1685
0,635	0,86	46,337
0,6858	0,91	69,5055
0,9144	1,5	92,674
1,6002	1,62	115,8425
2,2352	1,89	139,011
2,7686	2,5	162,1795
3,302	3,62	185,348
3,7592	3,96	208,5165
4,191	4,58	231,685
4,572	4,96	254,8535
5,08	5,69	278,022
5,3848	6,01	301,1905
5,9182	6,89	324,359
6,2484	7,2	347,5275
6,7818	7,9	370,696
7,493	8,5	393,8645
8,128	9,35	417,033
9,144	9,93	440,2015
9,779	10,63	463,37
10,541	11,26	486,5385
11,684	12,82	509,707
12,3698	13,9	532,8755
14,478	15,3	556,044
16,002	16,8	579,2125
17,272	18,5	602,381
18,034	19,8	625,5495
18,288	21,6	648,718
18,542	23,9	671,8865
19,05	25,87	695,055
20,828	28,96	718,2235
23,368	30,58	741,392
26,416	31,98	764,5605
30,226	37,42	787,729
35,814	50,24	810,8975
43,688	55,62	834,066
52,832	60,785	857,2345
53,594	85,23	880,403
64,008	119,564	903,5715
77,978		926,74
92,71		949,9085
108,712		973,077
127,762		996,2455
146,558		1019,414
167,894		1042,5825
189,23		1065,751
210,82		1088,9195
232,664		1112,088
254,635		1135,2565
276,733		1158,425
299,085		1181,5935
321,691		1204,762
367,919		1251,099

**DATOS EXPERIMENTALES OBTENIDOS DEL ENSAYO
PARA CONEXIONES EMPERNADAS CON MORTERO**

CECM1: Conexiones empernadas con mortero probeta 1
CECM2: Conexiones empernadas con mortero probeta 2

DEFORMACION (mm) CECM1	DEFORMACION (mm) CECM2	CARGA kg
0,25	0,2	23,1685
0,5	0,4	46,337
0,75	0,7	69,5055
1	0,85	92,674
1,6	0,9	115,8425
2	1,3	139,011
2,1	1,5	162,1795
2,4	1,7	185,348
2,6	2,1	208,5165
2,8	2,5	231,685
3	2,9	254,8535
3,4	3,5	278,022
3,7	4,5	301,1905
4	4,9	324,359
4,5	5,3	347,5275
5	6,7	370,696
5,3	7,5	393,8645
5,7	8,3	417,033
6	8,9	440,2015
7	9,4	463,37
7,5	9,7	486,5385
7,9	10,3	509,707
8,9	10,7	532,8755
12	11,6	556,044
13,6	12,5	579,2125
13,8	13,2	602,381
14,5	14,3	625,5495
15,3	14,9	648,718
15,8	15,6	671,8865
16	19,8	695,055
16,5	20,3	718,2235
16,8	20,7	741,392
17,1	21,4	764,5605
17,5	22,3	787,729
18	22,8	810,8975
18,6	23	834,066
19	23,5	857,2345
19,4	24,3	880,403
19,8	24,9	903,5715
20,3	25,7	926,74
21,2	26,4	949,9085
21,8	27,2	973,077
22,1	27,5	996,2455
22,5	28,6	1019,414
23	29,3	1042,5825
23,7	29,7	1065,751
24	30,2	1088,9195
24,5	31,2	1112,088
24,9	32,7	1135,2565
25,7	33,87	1158,425
25,65	35,89	1181,5935
25,7		1204,762
26,5		1227,9305
27,5		1251,099
28,4		1274,2675
29,6		1297,436
30,7		1320,6045
31		1343,773
32		1366,9415
32,4		1390,11
33,1		1413,2785
35		1459,6155

ANEXO N° 4

PRESERVANTES UTILIZADOS EN LA CAÑA GUADUA

PRESERVANTES UTILIZADOS DE ACUERDO A LA APLICACIÓN FINAL DEL BAMBU

Aplicación del bambú tratado	Tipo de preservativo	Concentración %	Absorción Lbs/ple 3 Sal seca	Duración del tratamiento en horas	Años de servicio esperado
1. Para uso a la intemperie y en contacto con el suelo a. Postes para cercos, astas, andamios, etc. b. Soportes para plantas	A a C E	A C 8, B-4 E - 10	A, B, C 0.3 a 0.4 0.3	3 - 4 2	10 - 15 8 - 10
2. Construcción de vivienda: a. Cerchas, pares, correas, cabios y columnas b. Persianas, cielo rasos, paneles para puertas.	A a E F, G, H, I	A&C - 6 B-3; D-8 E - 10 F, G, H-6 1 - 2	A a D - 0 0.2 a 0.3 E 0.5 0.1 - 0.2	2 - 3 1	15 - 20 10
3. Refuerzos a. Refuerzo en concreto b. Refuerzo en muros recubiertos con barro	F & F D & E	6 D-6; E-8	0.2 0.2 a 0.3	1 - 2 2	25 - 30 10 - 15
4. Artículos artesanales : canastas, zarandas, tamiz, etc.	G & H	5	0.1	0.5	5 - 8
5. Usos profilácticos	A a I Dependiendo del uso final del bambú	6 - 8	0.05	0.5	5
6. Protección del Fuego: a. Parte interna de la casa b. Al aire libre	J J	25 25	2 a 3 2 a 3	6 a 8 6 a 8	15 - 20 10 - 15

- | | |
|--|--|
| <p>A. Pentóxido de arsénico
Sulfato de cobre cristalizado
Dicromato de sodio 1:3:4</p> <p>B. Sales de Bolinden</p> <p>C. Sulfato de cobre
Dicromato de Sodio
Acido acético 5,6 : 5,6 : 0.25</p> <p>D. Acido bórico
Sulfato de cobre cristalizado
Dicromato de sodio 1,5 : 3 : 4</p> <p>E. Cloruro de zinc
Dicromato de sodio 1 : 1</p> <p>F. Cloruro de zinc
Dicromato de sodio 5 : 1,5</p> | <p>G. Acido bórico
Borax
Dicromato de sodio 2 : 2 : 0.5</p> <p>H. Acido bórico
Borax 1 : 1</p> <p>I. Pentaclorofenato de sodio</p> <p>J. Composición antiséptica a prueba de fuego:
Acido bórico
Sulfato de cobre cristalizado
Cloruro de zinc
Dicromato de sodio 3 : 1 : 5 : 6</p> |
|--|--|

ANEXO N° 5

RESUMEN DE NORMAS PARA USO DE CAÑA GUADUA

Reference number of committee draft: ISO/TC 165 **N 313**

Date: 2001-11-21

Reference number of document: ISO/DIS –22156

Committee identification: ISO/TC 165/WG 9

Bamboo Structural Design

Scope

This International Standard applies to the use of bamboo structures, i.e. structures made of bamboo (round bamboo, split bamboo, glued laminated bamboo) or bamboo-based panels joined together with adhesives or mechanical fasteners. This International Standard is based on limit state design, and on performance of the structure. This International Standard is only concerned with the requirements for mechanical resistance, serviceability and durability of structures. Other requirements, e.g. concerning thermal or sound insulation, are not considered. Bamboo used as composite structure may require additional considerations beyond this International Standard. Execution (work on site, and fabrication of components off site, and their erection on site) is covered to the extent that is necessary to indicate the quality of construction materials and products which should be used and the standard of workmanship on site needed to comply with the assumptions of the design rules.

Joints

Joints shall be designed to achieve structural continuity between elements, which includes:

Force transmission according to a prescribed manner,

Deflections which can be predicted and which should be kept within acceptable limits.

Bamboo joint design concepts shall be based on calculations.

Complete joint alternative. In this alternative, the complete joint for a given load and geometry is fully specified for members of a particular size. This includes the description of all fastening element sizes and locations. Data for this alternative shall be based on full-scale tests.

Component capacities alternative. This allows a joint to be designed for a given load using the capacity of each of the components of the joint. The capacity of each component shall relate to a specific geometry and load direction. Data about this capacity shall be based on full-scale tests.

NOTE: capacities are the numerical strength of a component, e.g. a compression member will have a capacity in kN; nailed joints in timber structures are often designed this way: nails have given allowable loads, so that by combining an appropriate number of nails in a certain geometry, an efficient joint can be relatively easily designed.

Design principles alternative. Here the basic mechanics of joints and their materials shall be specified in a way that will enable designers to design safe and efficient joints of varying geometries and load directions

NOTE: principles give the requirements that must be in place for the capacities to be valid. These are frequently non-numerical details, e.g. end connections for a compression member to give the appropriate effective length for the capacity to be valid. Other common examples include the spacing and connections between elements in a built-up column member, or the required rigidity for buckling restraints.

Tests

Tests on full-scale joints or on components shall be carried out in agreement with applicable ISO standards like ISO 6891, "Timber structures. Joints made with mechanical fasteners. General principles for the determination of strength and deformation characteristics".

Test results

When using load-deformation diagrams, obtained from tests on joints, the next items shall be taken into account.

The capacity of a multiple-fastener joint will frequently be less than the sum of the individual fastener capacities.

If in a joint more than one type of fastener is being used, account shall be taken of the effect of different fastener properties.

The capacity of a joint will be reduced if it is subject to reversal of load.

Good design practice

Good design practices in disaster prone areas shall include consideration for the following.

Care shall be taken regarding the joints between structural components since damage in bamboo structures, caused by typhoons and earthquakes, have been found to be initiated by structural failure of the joints.

The structure shall be designed so that the structural members and joints have adequate strength for the linear lateral force response caused by the severe earthquake motions. The damping of joints is taken into account accordingly, with available experimental evidence.

Ductility of joints shall not be expected, unless shown otherwise by direct testing.

Solid walls or bracing in walls shall be considered for resisting in-plane shear.

Reference number of committee draft: **ISO/TC165 N314**

Date: 2001-11-28

Reference number of document: **ISO/DIS- 22157**

Committee identification: ISO/TC 165/WG9

Determination of physical and mechanical properties of bamboo

Scope

This document lays down methods of tests for bamboo for evaluating the following characteristic physical and strength properties: moisture content, mass per volume, shrinkage, compression, bending, shear, and tension.

Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply:

Bamboo culm

A single shoot of bamboo usually hollow except at nodes which are often swollen.

Bamboo clump

A cluster of bamboo culms emanating from two or more rhizomes in the same place.

Cross sectional area

This is the area of the section perpendicular to the direction of the principal fibres and vessels. This is calculated as $(\pi/4) \cdot \{D^2 - (D-t)^2\}$, in which D and t are the means of the outer diameter and the wall thickness, resulting from measurements on the specimen.

Outer diameter

Diameter of a cross section of a piece of bamboo measured from two opposite points on the outer surface.

Moisture content

Percentage of water related to oven-dry weight.

Wall thickness

Thickness of wall of a piece of bamboo.

Symbols (and abbreviated terms)

The following symbols and units apply:

- A The cross sectional area in mm², Calculated as $(\pi/4) \cdot \{D^2 - (D-t)^2\}$, in which D and t are the means of the measurements on the specimen.
- D The outer diameter in mm.
- m Mass in g. NOTE: kg is also allowed as unit.
- MC Moisture content in %.
- π usually taken as 3,14.
- ρ Mass by volume in kg/m³ (NOTE: pronounce "rho").
- t Wall thickness in mm.
- V Volume (of test piece) in mm³, calculated as $A \times L$, or as measured.

1. Moisture content**1.1 Scope and field of application**

This clause specifies a method for determining the moisture content of bamboo for physical and mechanical tests.

1.2 Principle

Determination, by weighing, of the loss in mass of the test piece on drying to constant mass. Calculation of the loss in mass as a percentage of the mass of the test piece after drying.

1.3 Apparatus

- Balance with an accuracy of 0,01 g.
- Equipment capable of drying bamboo to absolute dry condition, e.g. an electric oven.

- Equipment to ensure the retention of moisture in the test pieces, e.g. flasks with ground glass necks, and stoppers.

1.4 Preparation of test specimen

Test pieces for determination of moisture content shall be prepared immediately after each mechanical test. The number of test pieces shall be equal to the number of test pieces for the physical or mechanical test. The form shall be like a prism, approximately 25 mm wide, 25 mm high and as thick as the wall-thickness. The test pieces shall be taken near to the place of failure, and stored under conditions which ensure that the moisture content remains unchanged.

1.5 Procedure

- The test pieces shall be weighed to an accuracy of 0,01 g, and then dried in an oven at a temperature of 103 ± 2 °C.
- After 24 hours the mass shall be recorded at regular intervals of not less than 2 hours. Great care shall be taken to prevent any change in moisture content between the removing from the oven and subsequent determinations of the weight.
- The drying shall be considered to be complete when the difference between the successive determinations of the weight does not exceed 0,01 g.

1.6 Calculation and expression of results

The moisture content MC of each test piece shall be calculated as the loss in mass, expressed as a percentage of the oven dry mass, according to the next formula:

$$MC = \{(m - m_o) / m_o\} \times 100$$

where

m is the mass of the test piece before drying,

m_o is the same after drying,
each with an accuracy of 0,01 g.

The MC shall be calculated to an accuracy of one tenth of a percent. This MC shall be taken as representative for the MC of the tested specimen as a whole.

RESUMEN DE PROPUESTA PARA NORMAS DE USO DE LA CAÑA GUADUA DADA POR EL INGENIERO CIVIL FRANCISCO ROJAS PINTO

DEFINICIONES

Anisotropía – Propiedad de ciertos materiales que presentan características diferentes según la dirección que se considere.

Carga de servicio - Carga estipulada en el reglamento NSR-98 en el Título B.

Culmo – Tallo de guadua.

Prearmar – Poner en su lugar cada uno de los elementos o componentes de una construcción, sin asegurar las uniones de modo definitivo, con el fin de comprobar dimensiones y ajustes.

Preservación – Tratamiento que consiste en aplicar sustancias capaces de prevenir o contrarrestar la acción de alguno o varios tipos de organismos capaces de destruir o afectar la guadua.

Secado – Proceso natural o artificial mediante el cual se reduce el contenido de humedad de la guadua.

REQUISITOS GENERALES DE CALIDAD – Toda guadua utilizada para conformar elementos estructurales deberá cumplir con las normas de calidad especificadas así:

- a. Toda guadua para conformar elementos estructurales deberá tener un contenido máximo de humedad del 20%.
- b. Si para su proceso de preservación se utiliza el método de inyección o inmersión, las perforaciones no deben quedar en la misma línea y el diámetro de perforación no debe ser mayor a 3.0 mm.
- c. La guadua debe estar hecha es decir su edad no debe ser menor de 3.0 años ni mayor de 6.0 años.
- d. La densidad volumétrica ρ se define como el cociente entre la masa (**m**) de la muestra seca al horno y el volumen (**V**) de la muestra de guadua en estado verde.

MATERIALES COMPLEMENTARIOS Se debe tener en cuenta las características de los materiales complementarios tales como clavos, pernos, conectores, adhesivos, soportes.

BASES PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL

Todos los elementos de una estructura deberán ser diseñados, construidos y empalmados para resistir los esfuerzos producidos por las combinaciones de cargas de servicio consignadas en B.2.3.1 del reglamento NSR-98.

Toda construcción de guadua deberá poseer un sistema estructural que se ajuste a uno de los cuatro tipos definidos en A.3.2 del reglamento NSR-98.

En el análisis y diseño de las estructuras en guadua deberán respetarse los principios básicos de la mecánica estructural, los requisitos básicos de diseño consignados en A.3.1 de la NSR-98 y los requisitos particulares que se encuentran relacionados en este documento.

Los esfuerzos producidos por las cargas aplicadas serán calculados considerando los elementos como homogéneos y de comportamiento lineal.

En el diseño de los elementos de guadua todos los cálculos se harán con base en las dimensiones en el extremo más delgado y el espesor a tenerse en cuenta será $2/3$ del espesor real.

En ningún caso se debe utilizar estructuras de guadua cuando la temperatura a la cual van a estar sometidas exceda 65 grados centígrados.

La modelación estructural se realizara con el método de los esfuerzos admisibles, en lo posible la estructura debe diseñarse como estructura articulada.

ESFUERZOS ADMISIBLE Y MODULOS DE ELASTICIDAD – El modulo de elasticidad para el calculo de las deflexiones en las estructuras de guadua es de 35000 kg. /cm^2 .

Los esfuerzos admisibles se aproximarán para contenidos de humedad menores del 20% así:

F_b esfuerzo admisible en flexión

F_c esfuerzo admisible a compresión en el sentido paralelo al culmo.

F_v esfuerzo admisible a corte paralelo al culmo.

ρ masa por volumen en kg/m³

F esfuerzo admisible en N/mm²

$$\mathbf{F_b} = 0.020 \rho \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\mathbf{F_c} = 0.013 \rho \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\mathbf{F_v} = 0.003 \rho \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

DISEÑO DE ELEMENTOS SOLICITADOS A FLEXION

El diseño de elementos o miembros sometidos a flexión seguirá los mismos procedimientos básicos usados en el diseño de vigas de otros materiales estructurales.

Los elementos sometidos a flexión en los apoyos deben terminar en un nudo o en su defecto deben ser llenados con un tarugo de madera, concreto o de la misma guadua.

Cuando se utilice más de un culmo este debe estar sujeto con tornillo o cinta metálica o cualquier otro elemento que garantice el trabajo en conjunto.

Para el cálculo de las deflexiones no se debe trabajar con la inercia de la sección compuesta sino con 2, 3 o el número de veces la inercia como elementos conformen la viga.

CORTANTE

Cuando un elemento vertical se apoye sobre uno horizontal el horizontal debe tener suficiente manera de disipar el esfuerzo de corte o en su defecto este debe estar colocado sobre el nudo.

La distancia del perno al borde del culmo no debe ser en ningún caso menor de $6d$ (d es el diámetro del perno en cm.).

APLASTAMIENTO

Debe evitarse el aplastamiento del culmo en los apoyos en sitios donde se concentren las cargas, terminando el elemento en un nudo o llenando el tarugo con madera, guadua o concreto.

Debe evitarse el aplastamiento del sitio de unión proporcionado mayor área de contacto con arandelas de mayor diámetro, suplemento de neopreno o tarugo de madera.

DEFLEXIONES

Las deflexiones máximas admisibles de las vigas de madera, incluyendo los efectos diferidos calculados según G.3.5.4, se limitarán a los valores de la tabla G.3.2 de la NSR-98.

DISEÑO DE ELEMENTOS SOLICITADOS POR FUERZA AXIAL

Serán diseñados a fuerza axial aquellos elementos solicitados en dirección coincidente con el eje longitudinal que pasa por el centroide de su sección transversal.

Cuando se empleen varios culmos para conformar una columna se debe proporcionar suficiente sujeción para garantizar el trabajo de conjunto, la inercia de la sección será 2, 3 o tantas veces como elementos conformen la columna.

DISEÑO DE ELEMENTOS SOLICITADOS POR FLEXION Y CARGA AXIAL

Se deben cumplir las recomendaciones de la NSR-98 G.5.1 y G.5.2.

UNIONES

Se aceptan uniones siempre y cuando el fabricante y constructor cumplan con las normas aceptadas internacionalmente.

La unión entre culmos es difícil ya que la guadua es un tubo vacío, la distancia entre nudos es variable y su diámetro basal es mayor que el diámetro cepal.

En las uniones se pueden emplear pernos, platinas, maderas duras o mortero, en todo caso el diseño de una estructura en guadua se rige por la resistencia de sus uniones y no por la resistencia de sus elementos.

Las uniones que empleen otros materiales como madera, metal, concreto estas deben estar sujetas su diseño a las recomendaciones establecida en la NSR-98 para cada uno de los materiales utilizados.

ANEXO N° 6
FOTOGRAFÍAS

CORTE DE LA CAÑA



ADITAMENTOS DE CAUCHO





CONEXIONES EMPERNADAS SIN MORTERO





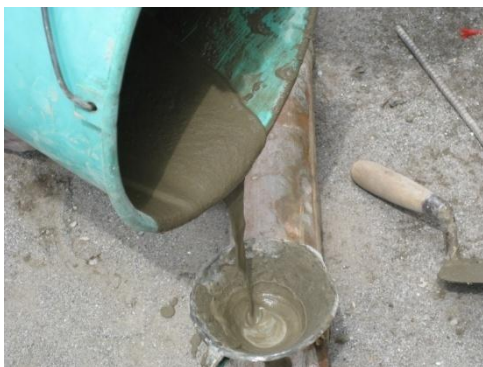






CONEXIONES EMPERNADAS CON MORTERO







CONEXIONES CON PVC





ENSAYO CONEXIONES EMPERNADAS SIN MORTERO







ENSAYO CONEXIONES EMPERNADAS CON MORTERO



ENSAYO DE CERCHA CON CONEXIONES DE PVC





