

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTADO ACTUAL DEL BAMBÚ
COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN
EN GUATEMALA**

TESIS

PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

CARLOS ARMANDO IXCOLÍN OROXOM

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, AGOSTO DE 1,999.

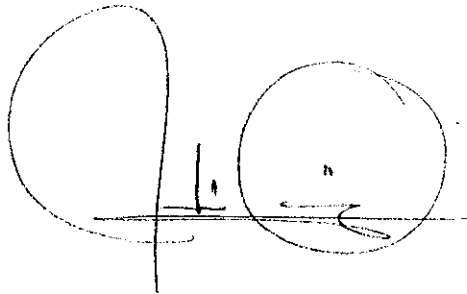
HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado.

**ESTADO ACTUAL DEL BAMBÚ
COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN
EN GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Ingeniería Civil,
con fecha 11 de febrero de 1,999.

Atentamente.

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized 'C' followed by 'A', 'I', 'O', and 'R' in a cursive script.

Carlos Armando Ixcolín Oroxom

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

MIEMBROS DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO: ING. HERBERT RENÉ MIRANDA BARRIOS
VOCAL 1o: ING. JOSÉ FRANCISCO GÓMEZ RIVERA
VOCAL 2o: ING. CARLOS HUMBERTO PÉREZ RODRÍGUEZ
VOCAL 3o: ING. JORGE BENJAMÍN GUTIÉRREZ QUINTANA
VOCAL 4o: BR. OSCAR STUARDO CHINCHILLA GUZMÁN
VOCAL 5o: BR. MAURICIO GRAJEDA MARISCAL
SECRETARIA: INGA. GILDA MARINA CASTELLANOS DE ILLESCAS

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO: ING. JORGE MARIO MORALES GONZÁLEZ
EXAMINADOR: ING. TOMÁS MOSCOSO CAMINADE
EXAMINADOR: ING. HERBERT RENÉ MIRANDA BARRIOS
EXAMINADOR: ING. ENRIQUE RENÉ GONZÁLEZ CARRERA
SECRETARIO: ING. EDGAR JOSÉ AURELIO BRAVATTI CASTRO



Guatemala, 18 de mayo de 1999

Ing. Sydney Alexander Samuels Milson,
Director de la Escuela
de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería

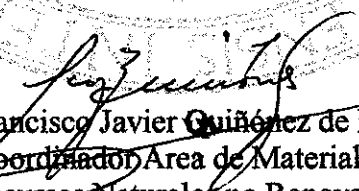
Señor Director.

Tengo el agrado de informarle que he revisado el trabajo de tesis **ESTADO ACTUAL DEL BAMBÚ COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN EN GUATEMALA**, realizada por el estudiante universitario **Carlos Armando Ixcolín Oroxom**, quien contó con la asesoría del suscrito.

Considero que el trabajo cumple con los objetivos para los cuales fue planteado y contiene valiosa información de carácter experimental, por lo cual recomiendo su aprobación.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS.



Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz
Coordinador Area de Materiales
y Recursos Naturales no Renovables

c.c.: Archivo.



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor y Coordinador del Area de Materiales Ing. Francisco Javier Quiñónes de la Cruz, del trabajo de tesis del estudiante Carlos Armando Ixcolin Oroxom, titulado ESTADO ACTUAL DEL BAMBU COMO MATERIAL DE CONSTRUCCION EN GUATEMALA, da por este medio su aprobación a dicha tesis.

Ing. Sydney Alexander Samuels Milson



Guatemala, agosto de 1,999

/bbdeb.



FACULTAD DE INGENIERIA

El Decano de la Facultad de Ingenieria, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingenieria Civil, Ing. Sydney Alexander Samuels Milson, al trabajo de tesis ESTADO ACTUAL DEL BAMBU COMO MATERIAL DE CONSTRUCCION EN GUATEMALA, del estudiante Carlos Armando Ixcolín Droxom, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:


Ing. Herbert René Miranda Barrios
DECANO

Guatemala, agosto de 1,999



AGRADECIMIENTO

La gran cantidad de referencias bibliográficas que hay en este trabajo, confirman el hecho de que se ha procurado sacar provecho de las experiencias de otros países latinoamericanos que emplean el bambú y de varios ingenieros guatemaltecos que han realizado investigaciones sobre el tema. De hecho se agradece por toda la ayuda que ha significado la experiencia y esmerada investigación.

Sin embargo, en la preparación efectiva de este documento se ha tenido la buena fortuna de estar rodeado por hábiles colaboradores que gentilmente han favorecido con el beneficio de su conocimiento, experiencia y comentarios. Entre ellos figura, el Ing. Francisco Javier Quiñónez, Director del Centro de Investigaciones de Ingeniería y Asesor del presente trabajo. El ciudadano holandés Gert Van Delft, un filántropo del bambú a nivel mundial, gracias por la recopilación de información y de algunas fotografías obtenida en el extranjero. Arq. Gladys Padilla, encargada del Departamento de Construcción en el Instituto Técnico de Capacitación y Productividad, INTECAP, y del Proyecto Bambú. Ing. agrónomo Hans Peter Vicepresidente de la Asociación Nacional del Bambú, ASOBAMBU. Y de muchas personas que de alguna manera contribuyeron en la realización del presente trabajo.

Para todos ellos, gratitud y pleno reconocimiento.

DEDICATORIA A:

MIS PADRES

Elíseo Ixcolín Cotom
Clara oroxom Sac de Ixcolín

MIS HERMANOS

María Estela, Amelia y Sergio Rolando
Ixcolín Oroxom.

MIS TIOS Y PRIMOS

LA FAMILIA

Quijivix Cotom

MIS AMIGOS

Y A USTED EN ESPECIAL

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	v
LISTA DE SÍMBOLOS	xiii
GLOSARIO	xv
INTRODUCCIÓN	xix
JUSTIFICACIÓN	xxi
ANTECEDENTES	xxiii
OBJETIVOS	xxxix
PRIMERA PARTE	xxxii
1. GENERALIDADES DEL BAMBÚ	1
1.1 Clasificación y usos	1
1.2 Morfología y crecimiento	3
1.2.1 Rizoma	3
1.2.2 Culmo o tallo	5
1.2.3 Hojas	9
1.2.4 Floración	10
2. APROVECHAMIENTO DEL BAMBÚ	13
2.1 Corte	14
2.1.1 Corte del tallo según su edad o grado de sazónamiento	14
2.1.2 Recomendaciones para el corte	15
2.2 Curado	16
2.2.1 Curado en mata	16
2.2.2 Curado por inmersión	17
2.2.3 Curado por calentamiento	17
2.2.4 Curado al humo	17
2.3 Secado	18
2.3.1 Secado al aire	20
2.3.2 Secado al horno	21

2.4	Tratamientos químicos contra hongos e insectos	22
2.4.1	Tratamiento por transpiración de hojas	22
2.4.2	Método Boucherie	22
2.4.3	Método Boucherie modificado	23
2.4.4	Método de inmersión	24
2.4.5	Método de vacío-presión	25
2.4.6	Método de aplicación externa	26
3.	EL BAMBÚ COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	29
3.1	Ventajas y desventajas	29
3.1.1	Ventajas	29
3.1.2	Desventajas	30
3.2	Formas de utilizar el bambú	32
3.2.1	En forma natural	33
3.2.2	En forma procesada	37
3.3	Partes de la casa en que se utiliza el bambú	38
3.3.1	Cimientos	38
3.3.2	Estructura	39
3.3.3	Muros o cerramiento	39
3.3.4	Cubierta	51
3.3.5	Piso	52
3.3.6	Puertas y ventanas	53
3.3.7	Canales y otros	54
3.4	Otros usos dentro de la construcción	54
3.4.1	Diseño estructural y arquitectura	54
3.4.2	Encofrados	59
3.4.3	Andamios	60
3.4.4	Como refuerzo en el concreto	61

SEGUNDA PARTE xxxiii

4.	PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE 13 ESPECIES DE BAMBÚ LOCAL	73
4.1	Características de las especies	74

4.1.1	Bambusa arundinacea	74
4.1.2	Bambusa guadua	75
4.1.3	Bambusa textilis	75
4.1.4	Bambusa tulda	76
4.1.5	Bambusa tuldooides	76
4.1.6	Bambusa vulgaris	77
4.1.7	Chusquea pittierii	77
4.1.8	Gigantochloa apus	78
4.1.9	Gigantochloa aspera	78
4.1.10	Gigantochloa verticillata	79
4.1.11	Melocanna baccifera	79
4.1.12	Phyllostachys bambusoides	80
4.1.13	Schizostachyum pseudolima	80
4.2	Propiedades físicas	83
4.2.1	Contenido de humedad	83
4.2.2	Contracción	83
4.2.3	Peso específico	84
4.3	Propiedades mecánicas	85
4.3.1	Tensión paralela a la fibra y módulo de elasticidad	85
4.3.2	Compresión paralela a la fibra y módulo de elasticidad	86
4.3.3	Corte paralelo a la fibra	87
4.3.4	Tensión perpendicular a la fibra	88
4.3.5	Clivaje	89

5.	APLICACIONES VARIAS Y EVALUACIONES REALIZADAS	
	EN DIFERENTES SISTEMAS CONSTRUCTIVOS	107
5.1	Aplicación del bambú como cerramiento	107
5.1.1	Descripción del sistema	107
5.1.2	Evaluación técnica	111
5.1.2.1	Cargas laterales	111
5.1.2.2	Cargas verticales	112
5.1.2.3	Cargas flexionantes	117
5.1.2.4	Cargas de impacto	117

5.2	Aplicación del bambú como refuerzo en concreto	118
5.2.1	Placas de concreto liviano	118
5.2.1.1	Descripción	118
5.2.1.2	Propiedades físico-mecánicas de los materiales	120
5.2.1.3	Resultados de los ensayos	121
5.2.2	Postes cortos y largos de concreto	125
5.2.2.1	Descripción	125
5.2.2.2	Propiedades físico-mecánicas de los materiales	127
5.2.2.3	Resultados de los ensayos	128
5.1.3	Sistema placa poste	135
5.1.3.1	Descripción del sistema	135
5.1.3.2	Conformación del sistema	136
5.1.3.3	Resultados del ensayo a corte	138
5.3	Evaluación de sistemas constructivos con bambú	141
5.3.1	Sistema de concreto liviano con bambú	141
5.3.1.1	Ubicación y descripción del sistema	141
5.3.1.2	Estado físico actual del sistema	142
5.3.2	Sistema de muros de tapial y paredes de sacos rellenos de arena	149
5.3.2.1	Ubicación y descripción de los dos sistemas	149
5.3.2.2	Estado físico actual de los dos sistemas	152
5.3.3	Sistema de paneles prefabricados	155
5.3.3.1	Ubicación y descripción del sistema	156
5.3.3.2	Ventajas y desventajas	159
5.3.3.3	Evaluación económica	160
5.3.4	Sistema bajareque	167
5.3.4.1	Ubicación y descripción del sistema	167
5.3.4.2	Ventajas y desventajas	167

CONCLUSIONES	xxxv
RECOMENDACIONES	xil
BIBLIOGRAFÍA	ixl

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

No.	Descripción	Pág.
1	El bambú es un recurso natural renovable, de gran beneficio ecológico y de crecimiento rápido.	xxxii
2	Preservado de bambú rollizo, por el método Buocherie.	27
3	Preservado de bambú rollizo, por el método por inmersión.	27
4	Preservado de canales de bambú, por el método por inmersión.	27
5	Una de las formas de utilizar el bambú en la construcción son los tableros de esterilla.	35
6	Las tablillas o latas de bambú tienen varias aplicaciones en la construcción.	35
7	El bambú se aplica en diferentes partes de la estructura de una vivienda.	41
8	El bambú se aplica en la construcción de estructuras de viviendas en diferentes formas y puede combinarse con otros materiales.	41
9	Una de las aplicaciones más sobresalientes es la construcción de armaduras a través de tablillas.	43
10	La aplicación de tablillas se ha diversificado en la construcción.	43
11	Por sus excelentes propiedades físico-mecánicas el bambú es empleado en la construcción de tijeras.	45
12	Se aplican canales de bambú en muros de bajareque.	47
13	Muros tipo Quincha.	47

No.	Descripción	Pág.
14	Los paneles que forman la vivienda están cubiertos con tableros de esterilla.	49
15	Vivienda de paneles prefabricados, bastidor de madera, tablillas de bambú en una cara y mortero de revestimiento.	49
16	Casa modelo de 2 niveles de la Corporación Autónoma Regional del Quindío, CRQ, Colombia.	55
17	Proyecto habitacional en serie de viviendas económicas, donde el espacio es reducido y la topografía accidentada.	55
18	Vivienda modelo de la Corporación Autónoma Regional del Quindío, CRQ, estructura de bambú, cerramiento de tableros de esterilla en ambas caras de la estructura y mortero de revestimiento.	57
19	Casa modelo de la Fundación del Bambú, FUMBAMBU, de Costa Rica, a base de paneles prefabricados.	57
20	Aplicación del bambú en la estructura de un restaurante.	63
21	Por su textura, color y forma el bambú combina con otros materiales.	63
22	El bambú se aplica en el campo y la ciudad.	65
23	La parte basal se emplea en columnas y vigas principales, la parte intermedia en parales, soleras y la parte apical en tendales de techos.	65
24	Solución estructural para una edificación.	67
25	El bambú se encuentra a la altura de cualquier material.	67
26	La especie Bambusa guadua se aplica en estructuras de grandes luces.	69
27	El bambú es el único recurso natural que puede reemplazar al hormigón o al acero.	69
28	Las uniones son el mayor problema con que cuenta el bambú, es por ello que investigadores le están dedicando tiempo.	71
29	El arquitecto colombiano Simón Vélez ha logrado construir modernas estructuras arquitectónicas, capaces de cubrir grandes exigencias.	71
30	Aplicación del bambú en una estructura que forma parte del primer centro ecoturístico en Guatemala.	xxxiii
31	Vista general de la Iglesia Católica Espíritu Santo, construida en 1978.	145

No.	Descripción	Pág.
32	Vista lateral.	145
33	La cubierta la forman; una estructura de madera, un aislante de hoja de manaque y lámina de zinc.	147
34	El refuerzo de bambú en el concreto no impide la fisuración pero si impide un colapso repentino.	147
35	La grieta del ingreso principal divide prácticamente en dos el voladizo, pero no presenta deflexión.	147
36	Los muros de tapial se sustituyen por tablas de madera de pino.	153
37	El cimientto corrido y tres horcones, es lo único que queda de la vivienda de paredes de sacos rellenos de arena pómez.	153
38	Para edificar la primera vivienda modelo en INTECAP, se emplean 16 paneles prefabricados a base de madera y tablillas de bambú.	163
39	A los paneles se le aplica en ambas caras un mortero de cemento y arena de río, luego un repello de cemento, cal hidratada y arena amarilla.	163
40	Para acabado final se aplica cernido remolineado.	165
41	Vista lateral.	165
42	Vista general de vivienda terminada.	165
43	Los horcones o columnas se funden para protegerlas de la humedad.	169
44	Inicia la instalación de canales de bambú para formar la estructura del sistema.	169
45	Vista general del prototipo.	171

LISTA DE FIGURAS

No.	Título	Pág.
1	Rizoma del grupo Paquimorfo o simpodial	4
2	Rizoma del grupo Leptomorfo o monopodial	4
3	Rizoma del grupo Anfipodial o intermedio	5
4	Estructura de hojas	6
5	Estructura de una planta de bambú	7
6	Forma de la hoja caulinar	10
7	Forma de la hoja del follaje	10
8	Probeta, tensión paralela a la fibra	85
9	Probeta, compresión a la fibra	86
10	Probeta, corte paralelo a la fibra	87
11	Probeta, tensión perpendicular a la fibra	88
12	Probeta, clivaje	89
13	Estructura del panel	107
14	Cerramiento de bambú al panel	118
15	Cargas laterales (ensayo de corte)	111
16	Cargas verticales (ensayo de compresión)	112
17	Cargas flexionantes	117
18	Cargas de impacto	117
19	Dimensiones de placa	118
20	Armadura de bambú en placa	119
21	Cargas flexionantes en placa	122
22	Dimensiones de poste corto	125
23	Dimensiones de poste largo	126
24	Ensayo a flexión, poste corto	129
25	Ensayo a flexión, poste largo	129
26	Ensayo a compresión, poste corto	130
27	Ensayo a compresión, poste largo	130
28	Ensayo a corte, poste corto	130
29	Ensayo a corte, sistema placa-poste	137

LISTA DE TABLAS

No.	Título	Pág.
1	Características cuantitativas más importantes de 13 especies de bambú	81
2	Contenido de humedad y peso específico aparente	91
3	Contracción en anillos	93
4	Contracción en cuadros de 4 cm	95
5	Tensión paralela a la fibra y módulo de elasticidad	97
6	Compresión paralela a la fibra y módulo de elasticidad	99
7	Corte paralelo a la fibra	101
8	Tensión perpendicular a la fibra	103
9	Clivaje	105
10	Cargas laterales, paneles	113
11	Cargas flexionantes, paneles	113
12	Cargas de impacto, paneles	115
13	Ensayo a flexión, placas	123
14	Ensayo a corte, placas	123
15	Ensayo a flexión, postes	131
16	Ensayo a compresión, postes	131
17	Ensayo a corte, postes	133
18	Ensayo a corte, sistema placa-poste	139
19	Presupuesto vivienda de bambú	161

LISTA DE SÍMBOLOS

cm	Centímetro
cm ²	Centímetro cuadrado
cm ³	Centímetro cúbico
°C	Grado centígrado
°	Grado: unidad de ángulo
gr	Gramo
gr/cm ³	Gramo por centímetro cúbico
HC	Contenido de humedad
kg	Kilogramo
kg/cm	Kilogramo por centímetro
kg/cm ²	Kilogramo por centímetro cuadrado
m	Metro
mm	Milímetro
0%	Porcentaje
PVC	Cloruro de polvinilo rígido
"	Pulgada
Q	Quetzales

GLOSARIO

- Adventicia:** Aplícase al órgano que se desarrolla ocasionalmente.
- Almidón:** Polisacárido ($C_6H_{10}O_5$) de los órganos verdes de las plantas.
- Ápice:** Tejido meristemático que ocupa la parte terminal del tronco, raíces y ramas.
- Axila:** Ángulo formado por la articulación de cualquiera de las partes de la planta con el tronco, la rama o la vaina.
- Celulosa:** Glúcido polisacárido que forma las membranas de las células vegetales, se utiliza para fabricar papel, seda artificial, celuloide y nitrocelulosa.
- Centrífuga:** Fuerza ficticia que se introduce en la descripción dinámica del movimiento circular uniforme cuando se utiliza un sistema de referencia no inercial fijo al cuerpo que describe dicho movimiento.
- Cerramiento:** Cosa que cierra o tapa cualquier abertura, conducto o paso.
- Colapso:** Paralización brusca de una actividad cualquiera.
- Deciduos:** Con hojas caducas..
- Envainada:** Envolver una cosa a otra ciñéndola a manera de vaina.
- Envés:** Cara inferior de una hoja.
- Enzima:** Biocatalizador protéico que actúa sobre el metabolismo celular.
- Esfuerzo:** Intensidad de fuerza por unidad de área.
- Especie:** Subdivisión principal de un género, compuesto de miembros que reúnen caracteres comunes heredados y procrean únicamente con los de la misma subdivisión.
- Espécimen:** Muestra o modelo.
- Estuco:** Revestimiento o segunda mano de revoque a base de yeso o mezcla de cal y arena que se da a los muros para que presenten una superficie unida y tersa.

- Fibrina:** Proteína plasmática insoluble formada en la sangre por polimerización del fibrinógeno, que constituye la red filamentososa de la coagulación.
- Filotaxia:** Disposición de las hojas y yemas en el eje caular del cormo.
- Flexión:** Estado en que se encuentra una pieza al ser sometida a fuerzas que provocan esfuerzos compresivos sobre una parte de la sección transversal y tensivos sobre la otra.
- Frágil:** Quebradizo; de naturaleza débil.
- Garfios:** Ganchos para agarrar objetos.
- Género:** Subdivisión biológica de una subfamilia, divisible por sí mismo en especie.
- Germinar:** Brotar y comenzar a crecer las plantas.
- Glucosa:** Monosacárido de color blanco, sabor dulce y soluble en agua.
- Gramínea:** Plantas monocotiledóneas que tienen tallos cilíndricos, flores dispuestas en espigas y grano cubierto por las escamas de la flor.
- Haz:** Cara exterior superior de la hoja.
- Hispida:** De pelo áspero y erizado.
- Higroscópica:** Capacidad de una sustancia para absorber agua de la atmósfera.
- Inflorescencia:** Conjunto de las ramificaciones florales de una planta.
- Inmunizar:** Hacer que tenga capacidad un organismo para resistir y vencer la acción de un agente nocivo.
- Limbo:** Parte laminar, gralte, verde, de las hojas; en su porción superior (la haz) recibe directamente los rayos solares para la fotosíntesis, y su parte inferior (el envés) suele estar protegida por pilosidad, pubescencia, etc.
- Macolla:** Conjunto de vástagos, flores o espigas que nacen de un mismo pie.
- Mampostería:** Es un sistema constructivo a base de unidades pequeñas que pueden ser pegadas entre sí, que tiene resistencia mecánica.
- Moteado:** Manchas que posee la pared externa de los tallos maduros de bambú.
- Neumático:** Aplíquese a varios aparatos destinados a operar en el aire.

- Panel:** Elemento superficial prefabricado de cualquier unidad constructiva.
- Parénquima:** Tejido vegetal de células esferoidales o cúbicas, separadas entre sí por meatos.
- Preservación:** Poner a cubierto anticipadamente a una persona o cosa, de algún daño o peligro.
- Probeta:** Pieza de pequeño tamaño, representativa de la calidad de un material de construcción, su forma, dimensiones, fabricación y conservación están generalmente normalizadas y se utilizan para ensayar dicho material.
- Propiedades físicas:** Son las características que definen el comportamiento de un material sin la acción de fuerzas mecánicas.
- Propiedades mecánicas:** Propiedades que tienen que ver con el comportamiento de un material bajo fuerzas aplicadas.
- Rebrotos:** Volver a brotar una planta.
- Resistencia:** Estudia y establece las relaciones entre cargas exteriores aplicadas y sus efectos en el interior de los sólidos.
- Rigidez:** Relación entre la magnitud del esfuerzo aplicado y la deformación producida.
- Rodal:** Mancha, conjunto de plantas que diferencian un terreno de los colindantes.
- Sistema:** Conjunto de elementos que, ordenadamente relacionadas entre sí, contribuyen a un fin determinado.
- Vaina:** Túnica o cáscara tierna y larga en que están encerradas algunas simientes.
- Variedad:** Categoría taxonómica, inferior a la especie, que agrupa los organismos que presentan diferencias individuales cuyo sentido hereditario no está bien determinado.
- Vetas:** Faja o lista de una materia que por su calidad, color, etc., se distingue de la masa en que se halla impuesta.

INTRODUCCIÓN

En Guatemala, al igual que en el resto de países latinoamericanos, el problema de la vivienda continúa latente, debido a los elevados costos de los materiales tradicionales que se emplean en la construcción, limitando el uso de los mismos en la mayoría de la población. La Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC) a través de las Facultades de Agronomía, Arquitectura e Ingeniería han realizado investigaciones relacionadas sobre el tema del bambú como material de construcción, con el fin de buscar alternativas para sustituir materiales caros, foráneos y de crítica relación ecológica como el acero y la madera. Y de esta forma poder contribuir en parte a resolver el problema de la vivienda en el país.

El bambú es un recurso natural renovable, que ha sido empleado en la construcción en diferentes países del continente asiático y en el americano, en la mayoría de los casos en forma empírica, aún así, los resultados obtenidos demuestran que el bambú es un material ideal para la construcción. En Guatemala su uso ha sido muy limitado y en forma empírica, por falta de conocimiento en su aplicación como material, de sus propiedades físico-mecánicas y de las especies adecuadas para la construcción. Además de la poca existencia de este recurso natural en el país.

El presente trabajo pretende facilitar un documento que oriente el empleo del bambú como material de construcción y la situación actual del mismo en Guatemala. Su contenido está dividido en dos partes. La primera reúne el conocimiento y la experiencia que se tiene sobre el bambú como material de construcción en forma general en diferentes países donde se aplica. Esta parte comprende; las generalidades del bambú, un manejo adecuado de los tallos o culmos desde el momento de corte, en su respectiva macolla, hasta ser utilizados en un lugar permanente en la construcción, con el fin de lograr un material de alta resistencia y calidad, y finalmente la utilidad potencial del bambú como

material de construcción desde viviendas de interés social hasta estructuras arquitectónica modernas.

Para el desarrollo de esta parte se emplean referencias bibliográficas de varios Simposios latinoamericanos y publicaciones internacionales con relación al tema, también se incluyen una serie de fotografías como evidencia de los resultados que han obtenido otros países, al emplear adecuadamente el bambú en la construcción. Además de participar en el taller del V Congreso Internacional de Bambú, realizado en Guápiles, Costa Rica, en el mes de Noviembre de 1998.

La segunda parte, reúne las experiencias adquiridas a través de ensayos realizados en el Laboratorio del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la USAC y de las aplicaciones técnicas del bambú como material de construcción que se vienen realizando en Guatemala después del terremoto de 1976. Esta parte comprende; las propiedades físico-mecánicas de 13 especies de bambú local, la aplicación del bambú como cerramiento en paneles, la aplicación del bambú como refuerzo en el concreto y se evalúan 4 sistemas constructivos donde se aplica el bambú.

Para el desarrollo de la segunda parte, se emplean referencias bibliográficas de varias tesis de grado, se realizan entrevistas con personas que están involucradas en el fascinante mundo del bambú, se visitan fincas donde hay existencia de bambú y lugares donde han aplicado este material, y se participa directamente en la construcción de dos casa modelos y el diseño de una tercera. También se incluye una serie de fotografías de lo realizado en el país, sobre la aplicación técnica del bambú como material de construcción.

Finalmente se espera que con la publicación de este documento se haga conciencia en todos los sectores involucrados en el problema de la vivienda en Guatemala, para darle la atención adecuada al bambú y contar con un material alternativo conocido, pero poco aplicado en la construcción.

JUSTIFICACIÓN

Una de las necesidades básicas del ser humano es poseer vivienda, en un país como Guatemala, según el último censo realizado por el Instituto Nacional de Estadística (INE) donde el 80% de la población es pobre y de esta cifra el 59% se ubica en extrema pobreza, refleja el grado de subdesarrollo en que se encuentra y por ende resulta inalcanzable construir viviendas que reúnan las condiciones mínimas necesarias para el desarrollo del ser humano y tener una calidad de vida digna.

El problema de la vivienda en Guatemala ha sido y sigue siendo motivo de preocupación para diversos sectores, porque cada día se incrementa el coste de vida para la mayoría de los guatemaltecos además de incrementarse el déficit habitacional. Para satisfacer "**el hambre de vivienda**" la gran mayoría de la población de escasos recursos económicos ha tenido que utilizar en forma empírica los recursos locales a través de técnicas apropiadas sin tomar en cuenta aspectos como: seguridad, higiene, espacio y ambientes mínimos.

De acuerdo a la información de la Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia de la República (SEGEPLAN) y de otras fuentes, Guatemala, con una población aproximada de diez millones de habitantes y 1,807,631 familias, con una tasa estimada de crecimiento anual de 2.92%, con un déficit habitacional aproximado de un millón de viviendas (abarca el déficit cuantitativo y cualitativo) y que cada año se incrementa a 60,000 el número de nuevos hogares que van a tener necesidad de vivienda. Con lo anterior concluye el ingeniero Francisco Sandoval, que en los próximos 20 años se van a necesitar alrededor de dos millones de vivienda a razón de 100,000 por año. Siempre y cuando se cree un plan nacional para frenar el déficit habitacional.

Para poder contribuir a resolver en parte el problema habitacional, es indispensable buscar sistemas constructivos de bajo costo y sismo resistentes por la

zona a que pertenece Guatemala, que utilice materiales locales para sustituir materiales importados evitando la salida de divisas y que sean fáciles de edificar.

En base a lo anterior, y con los resultados obtenidos en países asiáticos, Colombia, Ecuador y Costa Rica en América Latina, se puede establecer que el bambú es un material alternativo ideal para la construcción en Guatemala, porque es de crecimiento rápido, excelentes cualidades físicas, bajo peso, resistente, renovable y económico. Se puede utilizar desde los cimientos hasta la cubierta de una vivienda, también es posible combinarlo con otros materiales de construcción tales como el concreto, tierra, hierro, madera, etc., logrando obtener resultados satisfactorios, es por ello que se le denomina **"la madera de los pobres"**.

"El bambú no tiene rival en el reino vegetal", por ser un material versátil que puede estar al servicio de la construcción de vivienda a nivel popular, lo mismo con viviendas tipo residencial o estructuras arquitectónicas logrando un ambiente placentero y acogedor.

Con todas las bondades que ofrece el bambú, es indispensable conocer la situación actual del bambú como material de construcción en Guatemala. El estudio viene a beneficiar a estudiantes, ingenieros, arquitectos, constructores, instituciones o entidades que estén interesadas en conocer, actualizar, analizar, comparar o evaluar el trabajo realizado en Guatemala sobre el bambú como material alternativo para la construcción.

El estudio viene a ahorrar tiempo y recursos para las posteriores investigaciones, además puede servir como punto de partida para lograr establecer una base técnica que apoye y respalde un material poco aplicado en Guatemala, pero que día a día va creciendo el interés expresado por profesionales, instituciones o entidades dedicados a la construcción y de esta forma poder contribuir para resolver en parte el problema habitacional que afronta Guatemala.

ANTECEDENTES

El bambú ha sido utilizado como material de construcción desde la antigüedad, y especialmente en la parte sur del continente asiático. Su utilización se transmite de acuerdo a las experiencias adquiridas por generaciones, sin ningún soporte técnico, aún así los resultados en los diferentes países donde se usa, demuestran que el bambú es un material ideal para la construcción. Por los buenos resultados obtenidos los científicos se han visto en la necesidad de desarrollar métodos contra hongos e insectos para prolongar su vida, además de evaluar sus propiedades físico-mecánicas y su comportamiento combinado con otros materiales, con el fin de aprovechar y utilizar eficientemente este recurso natural.

Los científicos de Bangladesh han comprobado que una casa edificada con bambú tratado, la duración puede ser tres veces más y su costo de producción se eleva tan sólo un 30%.

También en la Universidad Tecnológica de Eindhoven en Holanda, el Dr. Jules J. A. Janssen ha realizado diferentes ensayos, entre éstos se encuentran las pruebas a compresión y flexión, estas pruebas demuestran que el bambú no falla repentinamente sino que va cediendo lentamente. El pino, que es usado frecuentemente como material de construcción, no puede competir con el bambú, ya que para la misma superficie transversal resiste sólo la mitad de éste, en experimentos realizados en las mismas condiciones se determina que el pino no puede absorber esfuerzos de compresión mediante curvaciones, ya que el material colapsa a la mitad de la presión que soporta el bambú.

El Dr. Janssen ha experimentado el esfuerzo de ruptura a flexión en los tallos de bambú. El bambú es un material flexible por tener sus nudos a distancias similares y sus fibras, que corren en dirección longitudinal al tallo, al aplicarle cargas graduales se empiezan a notar roturas aisladas en dirección de las fibras hasta lle-

gar al punto de ruptura, el comportamiento del bambú es una clara ventaja para la construcción en zonas sísmicas, justamente porque los tallos van cediendo lentamente. De acuerdo a lo anterior, las construcciones donde se utiliza el bambú poseen un alto porcentaje de estabilidad.

En los países latinoamericanos su uso continúa siendo empírico a excepción de:

COLOMBIA

En 1972 toma la decisión de estudiar y utilizar técnicamente el bambú en la construcción, logrando realizar proyectos de vivienda en serie con bambú para familias de escasos recursos económicos, utilizando sistemas prefabricados y mano de obra no calificada, ya que los futuros ocupantes aprenden y desarrollan los diferentes elementos constructivos en el lugar de ejecución del proyecto. Colombia es el único país latinoamericano que ha construido hasta el momento más de un MILLÓN de unidades habitacionales para personas de escasos recursos económicos.

Además cuenta con expertos en la materia, como el arquitecto Oscar Hidalgo, quien se dedica a desarrollar nuevas posibilidades para utilizar y obtener eficientes resultados en sistemas constructivos de bajo costo, asesorando a instituciones o entidades dentro de Colombia y otros países. También el arquitecto Simón Vélez ha redescubierto al bambú como material de construcción, logrando construir modernas estructuras arquitectónicas de grandes lucés, lo que demuestra que se pueden construir grandes obras, capaces de resistir grandes exigencias. El bambú utilizado en la arquitectura moderna, como elemento estructural o decorativo, demuestra que se encuentra a la altura de cualquier material convencional.

En los últimos años se le ha dedicado tiempo y recursos para conocer más sobre esta gramínea a través de Corporaciones Autónomas Regionales encargadas de la conservación de los recursos naturales, tales como CARDER, CRAMSA, la

CDMB, la CVC, la CAR, CORNARE Y el caso especial de la Corporación Autónoma Regional del Quindío (CRQ), que cuenta con el Centro Nacional para el Estudio del Bambú guadua, siendo uno de los más importantes sitios dedicados a la reproducción, propagación, cultivo, fomento e investigación y uso de la guadua, también los Comités de Cafetaleros y la Secretaría de Agricultura (3. 3). *

ECUADOR

Es otro país, que como en Colombia ha sido de uso tradicional, se conoce que han realizado investigaciones y construido prototipos experimentales para dar soporte a programas habitacionales y de construcción de escuelas por parte de la Junta Nacional de la Vivienda, el Consejo Provincial de Manabí, el Fondo de Desarrollo Rural Marginal y otras instituciones (1. III-20).

COSTA RICA

Se inicia con el Proyecto Nacional del Bambú (PNB) con el fin de satisfacer la necesidad de vivienda para personas de escasos recursos económicos, al comenzar la actividad se determina la necesidad de desarrollar la investigación del bambú, estableciendo el Departamento de Investigación y Desarrollo, con el objeto de resolver los aspectos de carácter técnico en la construcción de viviendas (4. 3).

Con el apoyo técnico del Laboratorio de Materiales y Modelos Estructurales y del Laboratorio de Productos Forestales, ambos de la Universidad de Costa Rica, se realizaron pruebas físicas y mecánicas de dos variedades de la especie guadua, también se ensayaron muros de bambú con mortero de cemento Portland, para determinar su capacidad a corte (4. 4).

Un aspecto que es importante mencionar, es la situación real de ensayo que se vive en el año de 1991 con el terremoto de Limón, en el que 30 viviendas construidas

* el primer número corresponde a la bibliografía consultada y el segundo al número de página.

con bambú en el río Banano, ubicado a 20 kilómetros del epicentro, soportan un sismo de 7.6 grados en la escala de Richter sin sufrir daño alguno (4. 5).

El proyecto Nacional del Bambú ha utilizado la madera y el bambú en viviendas prefabricadas a base de paneles modulares, el más grande de estos paneles mide 2.40x2.70m. y puede ser transportado fácilmente por dos personas. Una casa se puede edificar con 16 o 20 paneles, de acuerdo al diseño (4. 6). Costa Rica ha construido hasta el momento alrededor de 4000 viviendas.

Es importante señalar que desde 1996 el Proyecto Nacional del Bambú dejó de existir como proyecto de Naciones Unidas para transformarse en Fundación del Bambú (FUMBAMBU) y para continuar las actividades de investigación y desarrollo, se ha constituido el Centro de Investigación y Tecnología Aplicada al Bambú (CITAB) (4. 7).

GUATEMALA

Se tiene conocimiento que a principios de siglo, la United Frut Company, después de utilizar el hierro galvanizado o alambre de amarre para apuntalar las plantaciones de banano, utiliza la *Bambusa vulgaris*. En la década de los cuarenta el Dr. McClure introduce varias especies de bambú para su cultivo y propagación en Guatemala (35. 29).

Después del terremoto de 1976, el Dr. Minke del Laboratorio de Construcción Experimental de la Universidad de Kassel Alemania, viaja a Guatemala, con el fin de conocer, evaluar, ensayar y proponer un sistema constructivo que se adapte a las necesidades del país. En 1978 asesora la construcción de dos prototipos de vivienda en terrenos de la parroquia de San Lucas Tolimán (Sololá). Aplica el bambú, en el primer prototipo como refuerzo en el cimiento y en muros de tapial, en el segundo como refuerzo en el cimiento y como elemento estructural secundario en pared de sacos rellenos con arena pómez (41. 5).

En el año de 1978 el Programa de Investigaciones Tecnológicas de la Facultad de Arquitectura, con el apoyo del Centro de Investigaciones de la

Facultad de Arquitectura y del Centro de Investigaciones de Ingeniería, inician el estudio sobre el bambú como material de construcción, logrando realizar los siguientes ensayos (35. 184):

1. Pruebas intuitivas de adhesión al concreto.
2. Ensayos de esfuerzos físico-mecánicos.
3. Ensayos comparativos del bambú para un mismo concreto.
4. Diseño y Construcción de una edificación en concreto liviano reforzado con bambú, en la localidad del Espíritu Santo, El Júcaro, El Progreso.
5. Estudio en laboratorio sobre resistencia del bambú a compresión, tensión, módulo de elasticidad y humedad.

Los ensayos arriba mencionados se realizaron hasta 1979, y es considerada como la primer etapa de investigación.

La segunda se considera cuando Guatemala se hace presente en el Segundo Simposio Latinoamericano sobre el bambú, realizado en el mes de Septiembre de 1982, en Guayaquil, Ecuador, a través de las Facultades de Arquitectura, Ingeniería y Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC), proponiendo desarrollar un plan conjunto de investigación denominado "Proyecto de investigación y desarrollo del cultivo y la utilización del bambú en Guatemala" desde entonces se han realizado en el orden correspondiente, las siguientes investigaciones en el campo de la construcción:

1. Propiedades físico-mecánicas del bambú (estudio preliminar de 6 especies de la finca Chocolá, Suchitepéquez).
2. Paneles de concreto liviano con refuerzo de bambú.

3. Evaluación de la capacidad resistente del sistema placa-poste de concreto reforzado con bambú.
4. Propiedades físico-mecánicas del bambú (6 especies recolectadas en los Departamentos de Guatemala, Santa Rosa y Jutiapa).
5. Utilización del bambú en el diseño de vivienda para la región del sur oriente de Guatemala.
6. Losas de concreto liviano para letrinas reforzadas con bambú.
7. Muros de tableros de bambú.
8. Evaluación de las propiedades físico mecánicas en cuatro especies de bambú.
10. Sistema constructivo a base de paneles de madera y bambú.
11. Determinación de las propiedades de cuatro especies de bambú.
12. Influencia de la fase de la luna en la conservación de la madera de bambú...
13. Bambú y fibrocemento en la vivienda económica de Mazatenango.
14. Usos del bambú en la construcción.
15. El bambú como alternativa constructiva en Guatemala.
16. Aplicación del bambú en la construcción de vivienda de interés social, en el municipio de Ixcán, El Quiché.

De estos 16 trabajos realizados en grado de tesis, dos de ellos pertenecen a las Universidades privadas y el resto a la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Con ésta gama de investigaciones se pueden conocer las características físicas y propiedades físico-mecánicas de varias especies de bambú local, de diferentes lugares de Guatemala, en lo que corresponde a sus esfuerzos de tensión, compresión y corte paralelo a la fibra, tensión perpendicular a la fibra y clivaje. Además se puede conocer el comportamiento de paneles elaborados con marco de madera y cerramiento de bambú tipo Quincha, bajo fuerzas verticales, horizontales y de impacto. También se puede conocer el comportamiento de elementos de concreto liviano con refuerzo de bambú, bajo esfuerzos de corte, compresión y flexión.

Dentro de las investigaciones se han realizado propuestas de vivienda de bajo costo utilizando el bambú como material de construcción en algunas regiones de Guatemala, mejorando y manteniendo en parte la tipología de la vivienda que están acostumbrados sus habitantes. Estas propuestas se deducen del conocimiento teórico o en base a la transferencia de tecnología que se utiliza en otros países latinoamericanos, porque aún, Guatemala no cuenta con estudios sobre el comportamiento del bambú local como elemento estructural, para poder determinar los esfuerzos permisibles que conduzcan a desarrollar un análisis estructural adecuado con el fin de utilizar racionalmente el bambú y hacer más económica y eficiente la práctica constructiva.

En 1984, el Instituto Técnico de Capacitación y Productividad (INTECAP) y la Misión Técnica Agrícola de la República de China, firman una carta de entendimiento, en la que se comprometen a asistir técnicamente en cultivo y manejo del bambú, a personas y agricultores interesados. Actualmente cuenta con Programas de Formación Profesional en el Sector Primario sobre; Cultivo, Artesanía y Muebles de bambú. INTECAP en 1997 crea el Proyecto Bambú, con el objetivo de dar a conocer y ofrecer la capacitación técnica adecuada para que aprendan nuevos sistemas constructivos a todo nivel. Iniciándose hasta el momento con la construcción de tres casas modelos.

En 1997 nace la Asociación Nacional del Bambú (ASOBAMBU) con el objetivo de coadyuvar al desarrollo de Guatemala a través de un plan estratégico interinstitucional de fomento, cultivo, manejo y usos del bambú.

OBJETIVOS

Objetivo general

Presentar en un informe la situación actual del bambú como material de construcción en Guatemala, incluyendo las consideraciones generales para el aprovechamiento y los usos del mismo.

Objetivos específicos

1. Describir las consideraciones generales para el aprovechamiento.
2. Describir los usos del bambú como material de construcción.
3. Presentar las propiedades físico-mecánicas de las diferentes especies de bambú local que han sido objeto de investigación.
4. Evaluar los diferentes sistemas constructivos edificados técnicamente en Guatemala donde se ha empleado el bambú, así como describir los resultados de investigaciones en aplicaciones para diferentes usos.

1. GENERALIDADES DEL BAMBÚ

1.1 Clasificación y usos

La planta conocida vulgarmente como bambú, botánicamente está clasificada como Bambusoide; pertenece a la familia de las gramíneas, al igual que el maíz, el trigo, el arroz, la cebada y otras plantas alimenticias. Por las características que presenta su tallo o culmo se le considera como una de las plantas leñosas. Sus tallos se caracterizan por tener forma cilíndrica con entrenudos huecos y separados transversalmente por tabiques o nudos a distancias similares que le proporcionan mayor rigidez, flexibilidad y resistencia.

El bambú se encuentra en todos los continentes excepto en Europa, es un recurso natural prominente de muchas regiones tropicales, semitropicales y templadas del mundo, a latitudes de 46° norte a 47° sur y alturas que van desde el nivel del mar hasta 4,000 m. Se han identificado alrededor de 1,500 especies y unos 60 géneros, las especies varían desde el bambú ornamental enano hasta algunos que puedan alcanzar una altura de 30 m y un diámetro de 25 cm en la parte basal (23. 14), (20. 20).

La distribución del bambú es muy variada en abundancia como en variedades, aunque la intervención del ser humano hace que la distribución de algunas especies viaje de un lugar a otro. La mayor concentración de especies de bambú y su uso racional y avanzado están en el sudeste del continente asiático, es decir, desde la India hasta la China y en las islas cercanas, desde el Japón hasta Indonesia, en estas áreas es donde se localiza la mayor cantidad de existencias y crecen alrededor de 700 variedades distintas, por ende se le ha dado el mejor y diversificado uso como material de construcción. Madagascar es otra de las islas que cuenta con varias especies y el continente africano, desde Guinea hasta

Mozambique pero en menor cantidad. Australia tiene tal vez una media docena de especies y ninguna en el continente europeo. En el continente americano existen alrededor de 200 especies nativas de bambú, desde el sur de los Estados Unidos hasta Chile y Argentina, incluyendo las islas del Caribe (20. 20).

Existen miles de usos para esta gramínea, cuyo potencial puede ser aprovechado por todos. Los pueblos donde el bambú crece en forma natural han demostrado que ocupa un lugar muy especial en la vida diaria, los cogollos lo utilizan en el campo de la medicina y alimentación, los tallos lo utilizan en la fabricación de papel, artesanías, muebles y en la construcción.

El bambú es un recurso natural renovable de gran beneficio ecológico, porque sus grandes y pesados rizomas amarran los suelos y evitan que se erosionen. También captan, retienen y regulan las aguas en ríos, nacimientos y quebradas. Además contribuye a oxigenar el ambiente. En algunos lugares es muy útil como barrera rompevientos para proteger otros cultivos.

En Asia el bambú se usa mucho en artesanías, construcción, alimentación y en la producción de celulosa para papel. Los rebrotes de algunas especies, cuando tienen una edad de 30 días, se utilizan como alimento en la cocina china, constituyendo una plato sabroso similar al palmito. En la India, el bambú se usa en la preparación de productos farmacéuticos. En el Japón lo utilizan en la producción de combustible diesel por destilación y en la obtención de las enzimas nucleasa y diaminasa, además de otra enzima que disuelve la fibrina. Las hojas secas del bambú son un desodorizador excelente para el aceite de pescado. En la China, hace siglos el bambú se utiliza como materia prima para la celulosa, siendo uno de los primeros materiales fibrosos empleados por el hombre en la fabricación de papel (20. 20). En la década de los 80 el Japón producía 80,000 toneladas anuales de enlatados de bambú y exportaba a los Estados Unidos y Europa, por sus altas proporciones de carbohidratos y minerales tales como el calcio, hierro y fósforo.

En el campo de las artesanías y muebles se ha explotado esta bella planta en la fabricación de artículos de usos domésticos, cañas de pescar, cestos, escobas,

faroles, instrumentos musicales, juguetes, lámparas, maceteros, palillos, sombreros, toneles, amueblados de comedor, amueblados de sala, biombos, camas, gabinetes, etc., la lista resulta interminable de enumerar.

En el campo de la construcción es donde más se ha utilizado el bambú, y los géneros que están relacionados con este campo son: "Arundinaria, Bambusa, Cephalostachyum, Dendrocalamus, Gigantochloa, Melocanna, Phyllostachys y Schizostachyum en el Hemisferio Oriental y Chusquea y Guadua en el Hemisferio Occidental. Sin embargo, esto no quiere decir que todas las especies útiles pertenezcan a esos géneros" (20. 20).

El bambú es un material casi insustituible en el proceso de construcción para algunos pueblos y se utiliza en cimientos, columnas, vigas, cerramientos, estructuras, techos, puertas, ventanas, cielos falsos, pisos, apuntalado y soporte, formaletas, andamios canales, bajadas de agua pluvial, cercos, puentes peatonales, estructuras arquitectónicas modernas, juegos infantiles y como refuerzo en el concreto. También se utiliza para conducción de agua potable, aguas negras, corrales, como refuerzo a los taludes para evitar los derrumbes y como tutores en cultivos.

1.2 Morfología y crecimiento

1.2.1 Rizoma

El bambú al igual que otras gramíneas, se caracteriza por tener un sistema radicular fibroso, formado por raíces primarias, secundarias y raicillas superficiales. Además algunas especies poseen raíces adventicias en los nudos inferiores de los tallos (24. 12). El rizoma es como la raíz del bambú, fuerte, abundante y no profundiza más de un metro y medio. Almacena nutrientes, es el sostén de la planta y genera nuevos brotes con diámetros similares a los de la planta madre (3. 7). De acuerdo con la forma y hábito de ramificación del rizoma, existen dos

grupos principales y un intermedio. Al primero se le denomina Paquimorfo al segundo Leptomorfo y al tercero Anfipodial.

Grupo Paquimorfo o simpodial.

Se caracteriza por tener rizomas cortos y gruesos, con entrenudos asimétricos, más anchos que largos, sólidos, y con yemas laterales en forma de semi-esfera, las cuales se desarrollan en nuevos rizomas y subsecuentemente en nuevos tallos. Los nuevos rizomas crecen horizontalmente en diferentes longitudes y luego su ápice voltea hacia arriba formando un tallo. Al año siguiente una de las yemas de este rizoma se activa formando otro rizoma, el que a su vez forma un tallo secundario. Normal-

mente el desarrollo de los rizomas es radial por lo tanto los tallos aéreos se ven aglutinados, formando macollas. Entre los géneros de este grupo están: *Bambusa*, *Dendrocalamus*, *Gigantochloa*, *Elytostachys*, *Melocanna* y *Oxytenanthera* (15. 7), (24. 13).

Grupo Leptomorfo o monopodial. Se identifica por tener su rizoma en forma cilíndrica, con entrenudos huecos, separados transversalmente por tabiques o nudos. Por lo general los rizomas tienen sus entrenudos más largos que anchos y de menor diámetro que los tallos que originan. En cada nudo del rizoma existe una

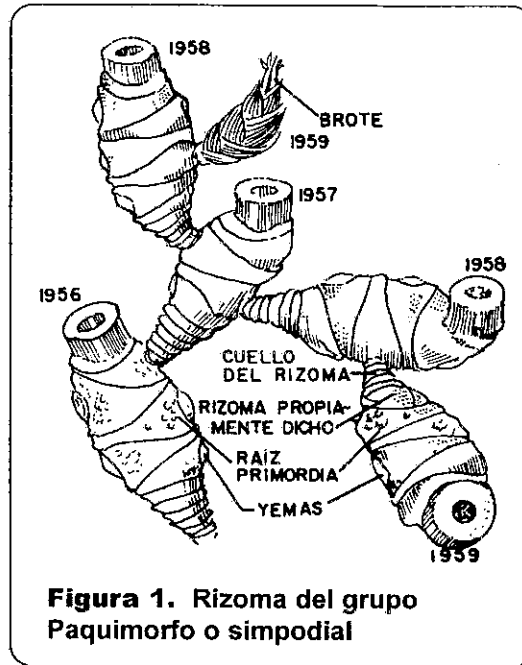


Figura 1. Rizoma del grupo Paquimorfo o simpodial

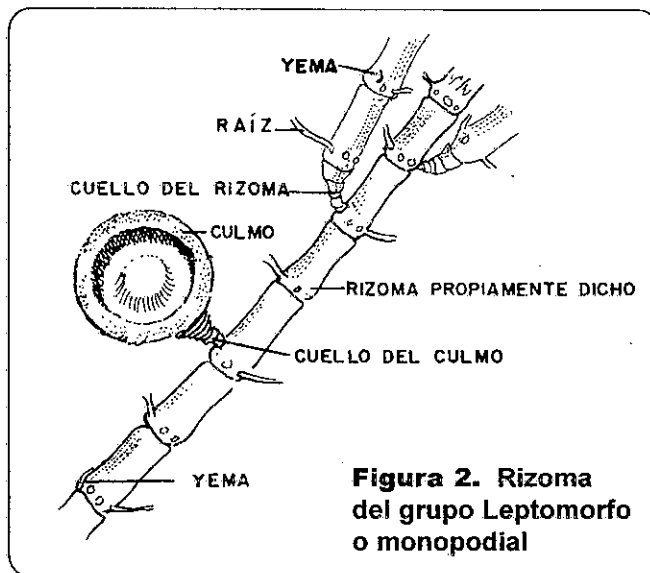
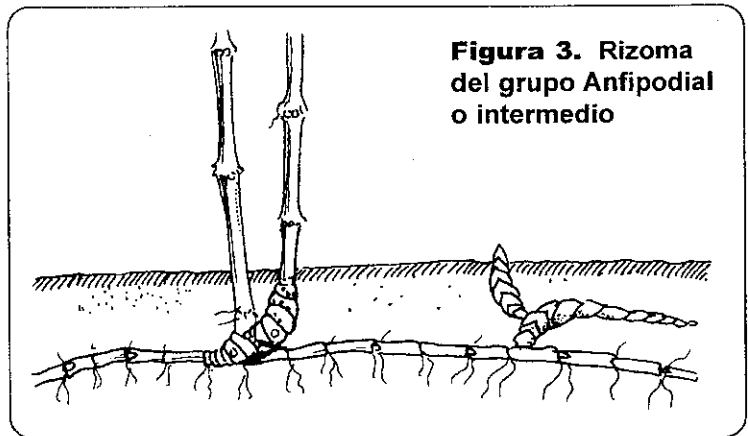


Figura 2. Rizoma del grupo Leptomorfo o monopodial

yema que al activarse produce un nuevo rizoma o tallo, por lo general el diámetro del tallo es mayor que el del rizoma. Los rizomas se ramifican lateralmente, formando redes entretejidas que pueden alcanzar una longitud hasta de 200 kilómetros por hectárea. Entre los géneros de este grupo están: *Arundinaria*, *Phyllostachys*, *Sasa*, *Semiarundinaria* Shibataeae, y *Sinobambusa* (15. 8), (24. 13).

Grupo Anfipodial o intermedio. Se identifica por tener rizomas que presentan una ramificación combinada del grupo paquimorfo y leptomorfo en una misma planta. Existen pocos géneros en este grupo, entre ellos están; la *Chusquea* y algunas especies del género *Sasa* (15. 9), (24. 13).



1.2.2 Culmo o tallo

Esta parte de la planta es la más usada por sus extraordinarias cualidades físicas y mecánicas, su forma y bajo peso. Se caracteriza por tener forma cilíndrica con entrenudos huecos y separados transversalmente por tabiques o nudos a distancias similares, aunque existen especies con formas fuera de lo común como: *Phyllostachys edulis* y *Phyllostachys cuadrangulares*, llamado bambú "concha de tortuga" y "bambú cuadrado de la China" respectivamente (24. 14). El tallo no posee corteza, pero a su vez tiene una epidermis dura y cutinizada, cubierta con una capa cerosa que la hace impermeable y evita la evaporación del agua que contiene sus paredes (36. 5).

Es importante hacer mención que el bambú es la única planta cuyo tallo permite moldearse longitudinal y transversalmente en forma artificial, a través de

formaletas de madera de sección cuadrada o rectangular, dentro de las cuales se hace desarrollar el tallo de bambú (15. 10).

Los tallos varían según la especie en: colores, alturas y diámetros. En cuanto al color; la mayoría de las especies son verdes, existen también amarillos con rayas verdes, verdes con rayas amarillas, amarillos, blancos, rojos, púrpura y negros (24. 14). En cuanto a la altura y el diámetro las diferencias son muy marcadas desde *Dendrocalamus giganteus* y *Bambusa guadua* que llegan a desarrollar tallos de 30 cm de diámetro y 25 m de longitud hasta *Arundinaria densifolia* con tallos de 0.5 cm de diámetro y apenas 1.00 m de altura (20. 20).

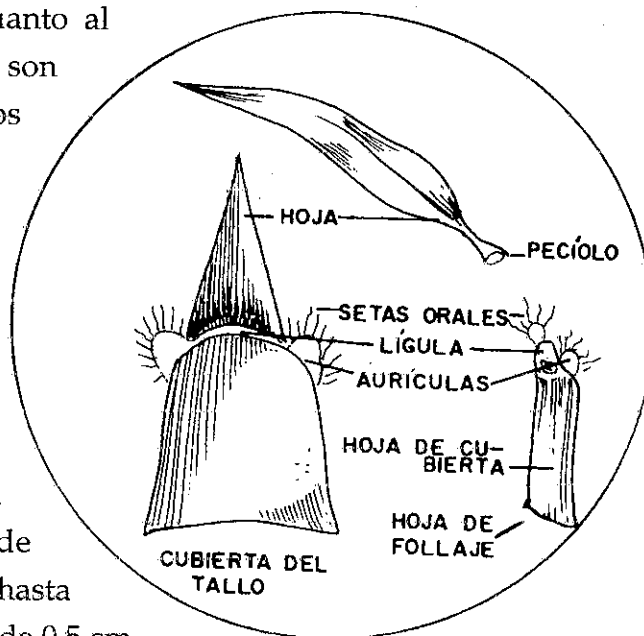


Figura 4.
Estructura
de hojas

Algunas especies presentan tallos sólidos, comúnmente en, *Arundinaria prainii*, *Dendrocalamus strictus* y *Oxytenanthera stoksii*, en la India a estas especies se le denomina "bambúes machos" y a los de tallos huecos se les denomina "bambúes hembras" (1, II-14).

Los tallos emergen en el extremo del rizoma activado, por lo general con el máximo diámetro que va a tener de por vida una vez que brota, puesto que va disminuyendo gradualmente con su altura. El espesor de la pared del tallo también es variable, siendo mayor en la parte baja o basal del tallo y menor en la parte superior

o apical del tallo, esta parte es la menos utilizable. El tallo llega a tener su máxima altura en el grupo paquimorfo en el lapso de los 80 a 180 días, y en el grupo leptomorfo entre los 30 y 80 días (15. 10).

Al completar su altura el tallo, de acuerdo a la especie, se inicia el crecimiento de las ramas y las hojas, hasta entonces el bambú es blando y poco resistente, utilizándose en esta etapa en la fabricación de artesanías por su fácil manejo, al establecerse las ramas y las hojas el bambú inicia su etapa de sazónamiento, convirtiéndose sus fibras cada día más resistentes, alcanzando su máxima resistencia entre 3 y 6 años según la especie. Después de haber pasado por las dos etapas anteriores el tallo empieza a envejecer, iniciándose lentamente a ponerse amarillo hasta que se seca completamente.

A diferencia de los árboles que llegan a desarrollarse entre los 12 y aún después de los 100 años (15. 10), la veloci-

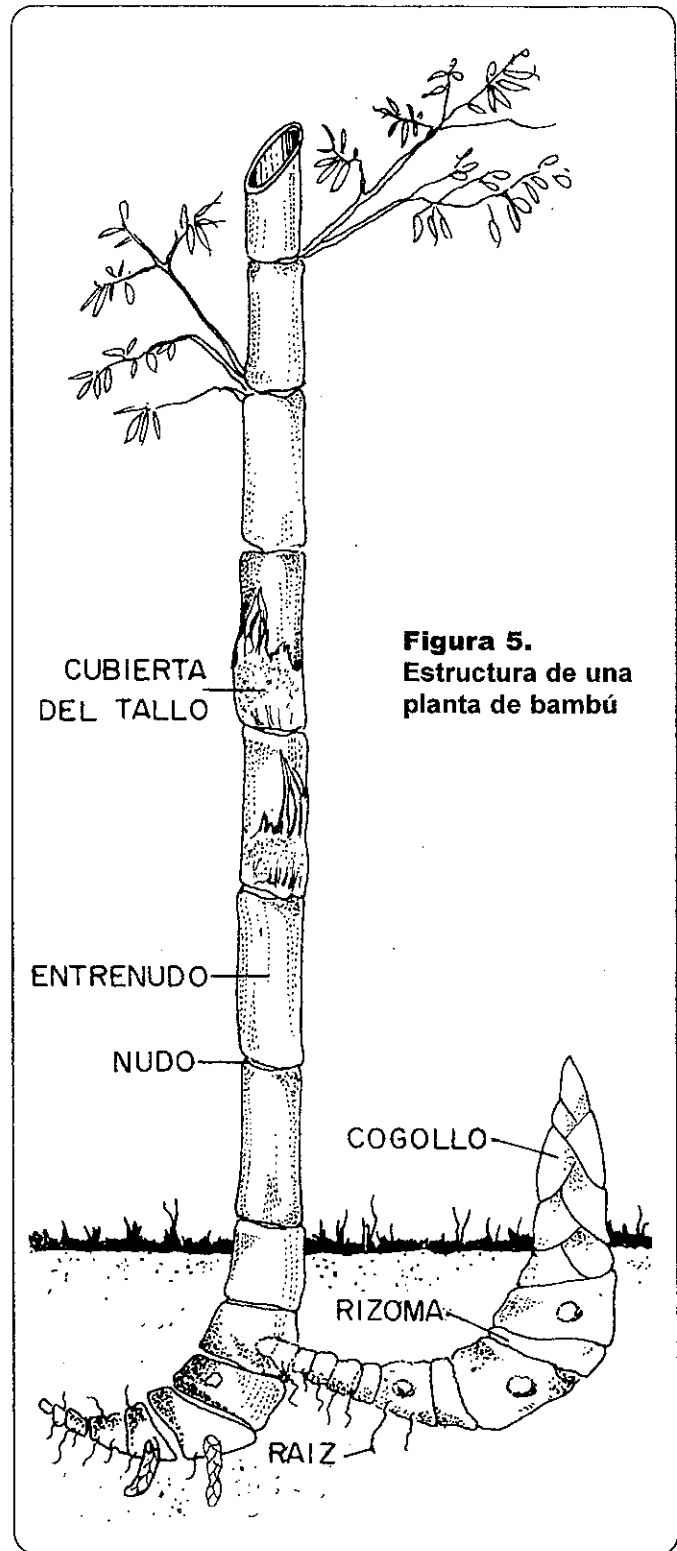


Figura 5.
Estructura de una
planta de bambú

dad de crecimiento de los tallos de bambú es tan rápido que no existe planta alguna que pueda compararse. En el condado de Anji, provincia de Zhejiang, China, las plantaciones de bambú se extienden más allá de lo que la vista puede alcanzar. Después del invierno los recolectores de retoños tiernos caminan entre los tallos y cuando todo está en calma ellos pueden oír crecer los retoños porque el bambú puede crecer más de un metro en sólo 24 horas, "el bambú parece estar de prisa" (23. 15).

Otro aspecto importante de esta gramínea es que el tallo es renovable, es decir que después de ser cortado no requiere volverse a plantar sino que nace en el mismo lugar de corte otro tallo. En algunas especies el nuevo tallo es ligeramente mayor en diámetro.

El bambú es la única planta que los científicos han encontrado una relación matemática con su desarrollo y está relacionado con el número 3, los rizomas cortos tienen entre 3 y 6 nudos y los más largos entre 9 y 12, los tallos alcanzan su madurez entre 3 y 6 años, y florecen cada 3, 30, 60 y 120 años. En el Japón los compradores de bambú, para medir la longitud del tallo, utilizan un método muy sencillo, que consiste en medir el perímetro exterior del bambú a una altura de 1.50 m del nivel de piso aproximadamente, el cual lo multiplican por un factor cuyo promedio es de 60. Este factor varía según la especie (15. 11).

Debido a que el crecimiento del bambú se da a partir del rizoma, en un rodal es posible identificar los tallos que se encuentran en las diversas fases de desarrollo, tales como: rebrote o renuevo, verde o juvenil, maduros o adulto, sobremaduro y seco.

Rebrote o renuevo. Esta primera fase de desarrollo comprende desde su aparición del rebrote hasta conseguir la elongación completa de cada uno de los entrenudos, es decir, desde la parte superior del rizoma activado hasta la parte apical, en un término de 30 a 180 días. No existe presencia de ramas y hojas. En esta fase el tallo está cubierta por hojas caulinares que emergen de los nudo dando protección a los mismos y su resistencia es mínima.

Verde o juvenil. Esta segunda fase de desarrollo da inicio con el desprendimiento de las hojas caulinares de la parte apical del tallo y mantiene dichas hojas en la parte basal, en los nudos y entrenudos se presenta una pelucilla algo áspera, que se desprende al tocarla. Hay presencia de ramas primarias y secundarias, y crece gradualmente el follaje de la planta. Esta fase oscila entre los 180 días y 3 años.

Maduro. En esta tercera fase el tallo no tiene hojas caulinares y en toda su longitud aparecen manchas liquinosas que son indicio de madurez, también contienen poca pelucilla pero bien adherida. Al término de esta fase, que dura entre 3 y 6 años, el tallo adquiere su máxima resistencia que lo hace apto para su aprovechamiento y aplicación en la construcción.

Sobremaduro y seco. No es más que el resultado final del ciclo de vida del tallo, en el cual la resistencia del tallo se va perdiendo lentamente, hasta llegar a la muerte fisiológica. El tallo empieza adquirir un color amarillento, se vuelve quebradizo, y desaparece en su totalidad el follaje. No se debe de llegar a esta fase, ya que se pierde la posibilidad de utilizar este recurso natural.

1.2.3 Hojas

Existen dos tipos de hojas en el bambú, el primer tipo es el que se desarrolla en la primera fase de crecimiento y se le denomina hojas caulinares y el segundo tipo se desarrolla en la segunda fase de crecimiento y se le denomina hojas de follaje.

Las hojas caulinares. Tienen una función importante en el desarrollo del bambú, y es proteger al retoño. Gran parte de la hoja es envainada y el limbo apenas desarrollado, pueden presentar vellosidad en la parte externa y en la interna una superficie lustrosa (1. II-20). La forma de la hoja caulinar puede ser: triangular, ampliamente triangular, copulal, ampliamente copulal y cuneiforme (20. 36)

- a) TRIANGULAR
- b) AMPLIAMENTE TRIANGULAR
- c) COPULAL
- d) AMPLIAMENTE COPULAL
- e) CUNEIFORME

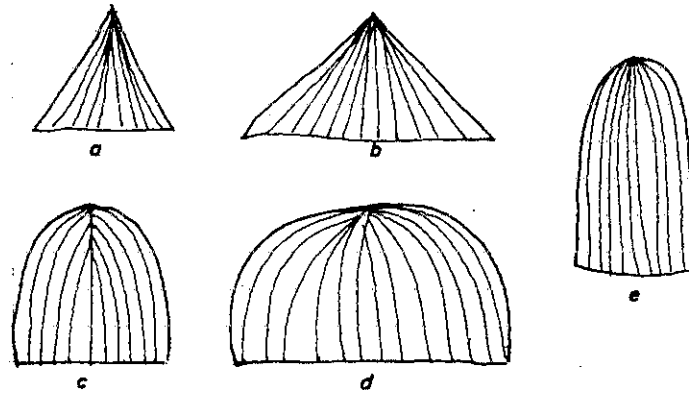


Figura 6. Forma de la hoja caulinar

Las hojas del follaje. Se caracterizan por un gran desarrollo en el limbo, en la gran mayoría de los bambúes esta hoja es ancha, con la base comprimida, y unida a la vaina por un pequeño tallo. La vaina llega a ser más o menos proporcional al tamaño o al número de hojas en una rama. Las hojas del follaje presentan un peciolo corto, que en muchos casos tiene un pequeño abultamiento que las ayuda a orientarse según el sol (1. II-21) y su forma puede ser: oblonga, ovalo-lanceolada, oblongo-lanceolada y lineal lanceolada (20. 16).

- a) OBLONGA
- b) OVALO-LANCEOLADA
- c) OBLONGO-LANCEOLADA
- d) LINEAL-LANCEOLADA

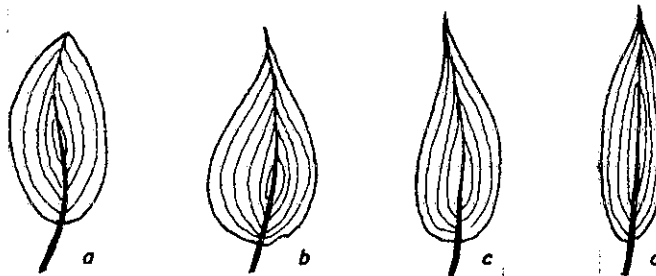


Figura 7. Forma de la hoja del follaje

1.2.4 Floración

Este tema es muy amplio, controvertido y apasionante porque hay mucho que aprender sobre esta planta maravillosa. Para muchos botánicos este tema continúa

siendo un enigma. La floración del bambú se presenta por lo general en períodos que oscilan entre 3, 30, 60, y 120 años. Después de la floración se inicia un nuevo ciclo de vida con la germinación de la semilla.

En el proceso de floración, que dura entre 12 y 18 meses, la totalidad de las hojas caen y son sustituidas por flores. Se inicia con la aparición de las primeras flores en los extremos de las ramas y poco a poco éstas van reemplazando a las hojas hasta que el tallo se transforma, de arriba hacia abajo, en una gran inflorescencia (15. 20). Cuando las flores han madurado producen las semillas, estas semillas generalmente caen al suelo antes de madurar y finalmente el tallo comienza a secarse de arriba hacia abajo, hasta que muere al igual que el rizoma, en algunos casos los tallos se pueden recuperar rápidamente y no mueren. Existen dos tipos de floración, la primera denominada Gregaria y la segunda Esporádica.

Floración Gregaria. Se presenta al completar el ciclo de vida de una especie determinada, es decir, el lapso de tiempo comprendido entre la germinación de la semilla y su siguiente floración. Cada especie tiene un ciclo de vida definido, y puede variar entre los 3 y 120 años. Al presentarse la floración gregaria de una especie, florecen simultáneamente los tallos jóvenes y viejos que se encuentran en las regiones o región donde se desarrolla esta especie, incluyendo las plantaciones que se hubieran originado antes de la floración por reproducción vegetativa, o sea por secciones de tallos y rizomas obtenidos del primero (15. 19).

Vale la pena mencionar la experiencia del arquitecto Oscar Hidalgo, quien tuvo la oportunidad de presenciar y darle seguimiento al proceso de floración gregaria de tres grandes macollas de *Bambusa arundinacea*, en el mes de Octubre de 1976, en la Estación Agrícola Experimental del ICA en Palmira, Colombia. Estas macollas, al igual que otras de *Bambusa vulgaris*, fueron adquiridas en Panamá. La floración de las tres grandes macollas de *Bambusa arundinacea* duró aproximadamente 18 meses, en cambio la *Bambusa vulgaris*, que está localizada en el mismo lugar, no floreció. Luego se entera que los bambúes de esa especies existentes en Panamá, también fueron llevados a su

vez de Puerto Rico, lugar donde se produjo floración al mismo tiempo que el llevado a la Estación Agrícola Experimental de Palmira (15. 20).

Floración Esporádica. Es aquella que se presenta en época distinta a la del ciclo fisiológico y se manifiesta sólo en uno o varios tallos de la macolla o de la plantación. Se estima que la floración esporádica es causada por factores climáticos, veranos o sequías muy prolongadas, o por cortes que se hacen continuamente en una misma área de la plantación. También puede ser provocada por insectos y enfermedades (1. II-24).

De acuerdo a registros llevados acabo en varias oportunidades, tanto en la India como en países asiáticos, se ha logrado establecer el ciclo de vida de varias especies (1. II-24), (15. 20), por ejemplo:

Bambusa arundinacea	30-45 años.
Bambusa polymorfa	55-60 años.
Dendrocalamus strictus	20-40 años.
Phyllostachys bambusoides	120 años.
Phyllostachys nigra	60 años
Phyllostachys reticulata	60-100 años.

Por lo general el bambú florece en los últimos meses del año y la maduración de las semillas se produce en los primeros meses de año siguiente. Existen dos tipos de frutos en el bambú: el primero de tipo pequeño, un poco alargado y seco, se parece mucho al arroz, el segundo de tipo carnoso, parecido a la pera, algunas veces muy grandes. Todos los frutos del bambú son comestibles, por ejemplo, el primero se cocina en igual forma que el arroz. En la mayoría de los casos, los frutos caen al suelo antes de madurar, igualmente la posibilidad de germinación de la semilla es muy baja (1. II-24).

2. APROVECHAMIENTO DEL BAMBÚ

Para el aprovechamiento eficiente del bambú es fundamental tomar en cuenta este capítulo. Un tallo aprovechado correctamente de acuerdo a su uso, produce productos de alta resistencia y calidad. Para poder lograr un buen material es indispensable que el tallo tenga un bajo contenido de almidón y humedad, ambos varían con la edad, especialmente en los dos primeros años.

"El almidón atrae a insectos xilófagos como el *Dinoderus minutus* que se deposita en su pared y construye largas galerías dejando inservible el tallo" (16. 2). La humedad se conoce comúnmente como savia, ella es la conductora de los alimentos de la planta obtenidos del suelo por medio de los rizomas, de la cual toman las células las substancias necesarias para su nutrición. La savia por contener glucosa, también atrae a los insectos. Es importante señalar que las zonas más vulnerables al ataque de insectos son los extremos, los nudos y las partes blandas de las capas internas del tallo.

Aunque los tallos de algunas especies de bambú parecen tener mayor resistencia a los insectos y a los hongos, todos están propensos bajo ciertas condiciones. En los experimentos efectuados en la Estación Experimental de Mayagüez, Puerto Rico, se determina una relación entre el contenido de humedad y la susceptibilidad al ataque de insectos. Posiblemente se mantenga esta relación entre el contenido de humedad y los hongos (20. 22).

Una vez cortados los tallos se alteran, se pudren y finalmente se reducen a polvo, si no se tiene un cuidado especial, por eso es importante que todos los elementos novicios no se desarrollen y propaguen. Esto se logra sometiendo los tallos a un proceso de conservación, desde el momento mismo de ser cortado hasta su utilización, el cual consiste en la aplicación de una serie

de cuidados, como lo son: el corte, curado, secado y tratamientos con preservativos contra hongos e insectos.

2.1 Corte

La preparación del bambú como material se inicia con el corte. Para poder realizar el corte de los tallos de bambú en la macolla, es indispensable conocer las fases de desarrollo de la planta, además tener claro el uso que se le va a dar. Es importante mencionar que la luna tiene influencia en el corte del bambú. Mario Rodolfo Paiz, en 1,986, estudia la influencia de la luna en el corte del bambú, bajo las mismas condiciones encuentra, que la cantidad de insectos presentes en los tallos de bambú cortado durante la luna tierna es dos veces mayor que la encontrada en los tallos que se cortaron en luna sazona o cuarto menguante. Los insectos más comunes fueron gorgojos y polillas.

2.1.1 Corte del tallo según su edad o grado de sazónamiento

La preparación del tallo como material se inicia con el corte, pero se tiene que tomar muy en cuenta su edad o grado de sazónamiento, del cual depende su resistencia y su trabajabilidad. Los cambios ascendentes en sus características físicas o mecánicas que se presentan en el bambú durante su desarrollo, permiten aplicarlo en un sin número de productos. Cuya utilización final y grado de dureza requeridos para elaborarlos, determinan la edad o madurez que debe tener el bambú para emplearlo (14.91)

Los tallos que tengan entre 6 meses y 1 año de edad se emplean en la elaboración de artesanías. Durante esta edad los tallos de bambú tienen la pared muy blanda, flexible, muy baja resistencia y contienen un promedio del 95% de agua, lo que le permite ser tabajable.

Entre 2 y 3 años de edad, se utilizan en la elaboración de tableros de esterillas, tablillas y cables elaborados con cintas de bambú. En esta edad es cuando el tallo inicia el período de madurez o sazónamiento, fortaleciendo las paredes rápidamente hasta alcanzar su máxima resistencia.

Alcanzada la edad óptima, que se da entre los 3 y 6 años, los tallos están listos para su uso en la construcción. Normalmente la parte basal se emplea en: vigas y columnas, es decir, como elemento estructural, la parte intermedia se emplea en: tijeras, parales, soleras, andamios, soportes, esterilla y tablillas, la parte apical se emplea en: tendales de techos con teja de barro o paja y como tutores en cultivos, esta parte es la menos utilizada.

Y finalmente entre los 4 y 8 años, se emplean en la elaboración de productos que van a estar sometidos al desgaste, como parquet. Después de los 8 años el uso del tallo queda limitado para leña.

2.1.2 Recomendaciones para el corte

1. El corte de los tallos se deben efectuar **en época seca, en menguante y por la madrugada**, con el fin de obtener tallos con menor contenido de humedad y menor concentración de almidón, logrando tallos más resistentes a los ataques de agentes xilófagos.
2. El machete o la sierra de hoja ancha, son las herramientas adecuadas y económicas para efectuar el corte de los tallos de bambú en los rodales. Cuando el uso es industrializado se puede usar motosierra.
3. Antes de hacer el corte del tallo se debe tener claro el uso que se le va a dar, para identificar el tallo de acuerdo a su madurez o grado de sazónamiento en el rodal.

4. El corte debe ser realizado a ras y sobre el primer nudo respecto del nivel del suelo, evitando dejar concavidades para el almacenamiento del agua, lo cual provoca pudrición en la sección de corte de la macolla y por ende en el rizoma.

2.2 Curado

Inmediatamente después de que los tallos de bambú se cortan en los rodales, deben someterse a un tratamiento de curado con el fin de hacerlos menos propensos al ataque de agentes xilófagos, que son atraídos por la concentración de almidón o la glucosa que contiene la savia en los tallos de bambú. Se puede reducir el ataque de insectos xilófagos, expulsando la savia o la reducción de almidón y ello puede hacerse mediante un curado apropiado, en una de las formas siguientes:

2.2.1 Curado en mata

Este método consiste en colocar los tallos una vez cortados, recostados lo más verticalmente posible en la macolla, sin remover ni las ramas ni las hojas, aislándolos del suelo, colocándolos sobre piedras o soportes, en algunos casos son colocados sobre otro elemento corto de bambú de menor diámetro, el cual se introduce en el entrenudo cortado. Esto se hace con el fin de protegerlo de la humedad y hongos.

En esta posición deben permanecer de 4 a 8 semanas de acuerdo a las condiciones climáticas. Este método tiene la ventaja de que el bambú conserva su color natural, no se raja, ni son atacados por hongos. Al finalizar el período de curado se cortan sus ramas y hojas.

2.2.2 Curado por inmersión

Este método consiste en sumergir los tallos recién cortados en agua, por un tiempo no mayor de 4 semanas, hay que recordar que la savia contiene glucosa y esta última es soluble, luego se deja secar por un tiempo. Oscar Hidalgo (1981), menciona que este método ha sido hasta ahora el más utilizado, pero es el menos recomendable por ser poco efectivo. Aun cuando se reduce considerablemente el ataque de insectos, el tallo se vuelve más liviano y quebradizo.

2.2.3 Curado por calentamiento

Este método consiste en colocar los tallos horizontalmente después de cortados sobre fuego abierto. El tallo se coloca a una distancia prudente y se gira constantemente para evitar que se queme. Con ello se logra matar cualquier insecto que se encuentre en su interior, por otro lado el fuego endurece la pared exterior haciéndola menos propensa al ataque de insectos. Este método se emplea para secar o enderezar tallos torcidos (32. 9). Normalmente este sistema se realiza en el fondo de una excavación de 30 a 40 cm de profundidad. En el Japón el sistema ha sido industrializado y se emplean cámaras donde los tallos son sometidos durante 20 minutos a una temperatura de 120 a 150 grados centígrados. Este método es efectivo, pero se corre el riesgo de que el calor produzca contracciones y por ende agrietamientos en los tallos (16. 3).

2.2.4 Curado al humo

Se ha observado que los techos con estructura de bambú, contruidos empíricamente, expuestos al humo, pueden durar hasta 30 años. El humo seca al bambú y lo protege al ataque de insectos. El método consiste en colocar los tallos horizontalmente en un ambiente cerrado, a una distancia entre 40 y 60 cm por

encima del fogón u hoguera. El fogón se calienta con carbón y el humo se produce cuando se colocan hojas, pasto o ramas encima del carbón encendido. Hay que tener cuidado que las llamas no suban más de 5 cm. El período de curado oscila entre 6 y 18 horas, dependiendo del contenido de humedad de los tallos. Es importante hacer mención que el ambiente cerrado tenga un sistema de chimenea para que salga el humo (41. 33).

2.3 Secado

Los tallos de bambú en su macolla contienen una cantidad considerable de humedad. Cuando los tallos de bambú se utilizan como material para diversos productos y en especial para la construcción, los mismos están expuestos a diversos factores físicos y climáticos. Es por ello que se debe eliminar la humedad a través del secado, entre otras, por las razones siguientes (33. 19):

1. Un tallo húmedo se contrae con la pérdida y se dilata cuando ésta aumenta. Para reducir al mínimo los cambios de dimensión de los tallos se deben secar, hasta lograr un contenido de humedad alrededor del 15%.
2. El secado disminuye el peso de los tallos y por ende su costo de transporte. Cuando el contenido de humedad está por debajo del 15%, los organismos que normalmente ocasionan pudrición y manchas no viven en los tallos.
3. Una de las razones del secado, es el de obtener un producto con sus mejores condiciones físicas y mecánicas. Las propiedades de resistencia del bambú se incrementan con un bajo contenido de humedad.
4. En los elementos de bambú secos actúan mejor los pegantes.
5. Para poder inmunizar los tallos de bambú, éstos deben estar secos, en algunos casos, para que la penetración del preservante sea más efectiva.

6. Del tallo de bambú seco se pueden lograr obtener productos con mejor apariencia, acabados de mejor calidad y más fácil de elaborar.

El mal estado de los tallos de bambú que se va a secar y la excesiva contracción que sufre el material durante el secado, son las dos principales causas que desarrollan defectos en los mismos durante el período de secado. Por lo general, la presencia de huecos, zonas defectuosas y los daños causados por el ataque de insectos contribuyen a los defectos originados por la contracción excesiva (14. 97). Los defectos que se presentan en el secado son: agrietamiento en la superficie, rajaduras, colapso, deformaciones y cambios de color.

Agrietamientos en la superficie. Todas las especies de bambú están propensas al agrietamiento durante el período de secado, normalmente se originan en los nudos o zonas dañadas. Las grietas o rajaduras que se presentan en la superficie se originan cuando los esfuerzos que se crean durante el secado exceden a la resistencia a tensión perpendicular a la fibra de los tallos. También cuando la pared se contrae en su espesor no tiene libertad para moverse hacia adentro, en la zona de los nudos como lo hace en los entrenudos. Esto se debe a los tabiques de los nudos, por esta causa los agrietamientos se originan en los nudos (14. 97).

Rajaduras. Se presentan en los extremos abiertos de los entrenudos de los tallos del bambú. Esta forma de agrietamiento no es tan común. La porción extrema que está unida a un nudo, se raja por las mismas causas que se mencionaron en el párrafo anterior (14. 97).

Colapso. Se presenta en los tallos, causado por la excesiva contracción que produce la ruptura longitudinal de la pared. El colapso se presenta en los tallos durante el proceso de secado tanto en horno como secado al aire. La pared de los tallos se contrae en su espesor mientras se seca. Al contraerse la pared las capas externas, formadas por fuertes haces fibrovasculares, se comprimen, mientras que las partes blandas de las capas internas se tensionan. La longitud de la falla depende de la especie, del contenido de humedad y del grado de sazónamiento

que tenga el tallo. A menudo las grietas que se presentan en la etapa inicial de secado se convierten luego en colapso. Los tallos inmaduros son más propensos al colapso por la poca resistencia que tienen sus paredes. Generalmente se presenta en las porciones inferiores donde las paredes son más gruesas. (14. 97).

Deformaciones. La sección circular de los tallos se deforma con el secado, adquiriendo forma ovalada u otras formas irregulares, especialmente en los tallos inmaduros. Al mismo tiempo en los tallos de paredes gruesas, la superficie exterior deja de ser pareja, formando concavidades. Cuando la deformación es tan grande, las paredes de los entrenudos se doblan hacia adentro, haciendo cóncava esta zona, esto se nota especialmente en tallos inmaduros (14. 97).

Cambios de color. Los tallos de bambú recién cortados tienen por lo general su color natural, dependiendo de la especie varían entre: verdes profundos, amarillos con rayas verdes, amarillos, blancos, rojos o negros. Durante el secado, su color original va desapareciendo lentamente hasta alcanzar un color amarillo pálido. Los tallos secados al aire tienen una apariencia más amarillenta que los secados al horno. Los tallos secados sobre fuego abierto se tornan de color café claro.

2.4.1 Secado al aire

El lugar del secado tiene que ser un área cubierta y bien ventilada, y de ser posible, localizada en un terreno elevado para tomar las mejores ventajas de los vientos, no debe estar próximo a edificios, árboles o alguna otra barrera que disminuya su exposición al viento, no es conveniente ubicar el área de secado cerca de un depósito grande de agua, en donde la tierra se mantenga mojada o donde el aire permanezca estancado y húmedo (33. 25). El secado al aire o natural se debe de realizar de la manera siguiente:

1. Colocar los tallos horizontalmente en capas paralelas o perpendicularmente, es decir, que depende del área que se tenga.

2. Separar los tallos de cada capa aproximadamente medio diámetro, para que exista circulación de aire entre los tallos.
3. Utilizar separadores de bambú perpendicularmente, si las capas van a ser colocadas paralelas.
4. La primera capa debe estar separada del nivel de piso por lo menos 30 cm para evitar la humedad del suelo.
5. Mantener en esta posición el tiempo necesario para lograr estabilizar el contenido de humedad. Normalmente desde el momento del corte, el contenido de humedad tiende a estabilizarse en un tiempo mínimo de 8 semanas, o dependiendo de las condiciones climáticas.
6. En este período de tiempo se deben realizar controles de peso en piezas testigo, para obtener su contenido de humedad óptimo.

2.3.2 Secado al horno

El secado al horno o artificial, se realiza con cámaras de metal o de ladrillo y concreto, equipadas de tal manera que se pueda ejercer cierto control de la temperatura, la humedad relativa y la velocidad del aire en contacto con los tallos. Este método es más eficiente y rápido que el secado al aire, ya que se puede controlar la temperatura, además permite el procesamiento de gran cantidad de tallos en poco tiempo. El costo del equipo para secado, es muy elevado debido a las instalaciones que se necesitan, sin embargo, es justificable, si se desea industrializar en algunos de los múltiples usos que tiene el bambú (33 .24). El inconveniente que tiene este método es que produce contracciones en los tallos y por ende rajaduras. En el Japón se ha industrializado y durante 20 minutos son sometidos los tallos a una temperatura entre los 120 y 150 grados centígrados (16. 3).

2.4 Tratamientos químicos contra hongos e insectos

Frecuentemente el curado y secado no son suficientes para asegurar una larga vida al bambú, haciendo inevitable el tratamiento con productos químicos para prevenir el ataque de insectos y la aparición de hongos. Para inmunizar los tallos de bambú se emplean varios métodos. Algunos de ellos hacen penetrar el preservante, ya que las áreas más vulnerables al ataque de insectos son los extremos y los nudos, debido a la dureza y impermeabilidad de la capa externa del entrenudo. Los métodos existentes son los siguientes:

2.4.1 Tratamiento por transpiración de hojas

Este método consiste en colocar los tallos, una vez cortados, recostados lo más verticalmente posible en el grupo, sin remover ni las ramas ni las hojas, aislandolos del suelo. Se espera que fluya por el extremo inferior la mayor cantidad de savia, para luego sumergir la base del tallo en un recipiente que contiene el preservante. En esta posición deben permanecer hasta cumplir el período de curado. Finalmente se cortan sus ramas y hojas (36. 9)

2.4.2 Método Boucherie

Este método, también es llamado Boucherie simple o por gravedad, consiste en colocar un tanque abierto en la parte superior y en la parte inferior un tubo galvanizado con una llave, conectada con un manguera plástica flexible que tiene en su otro extremo una boca de hule, la cual es adaptada a uno de los extremos del tallo y fijada con una abrazadera, considerándose esta parte del sistema como crítica. Se recomienda colocar el tanque en un nivel más alto que el bambú, para que el preservante baje por gravedad, una vez abierta la llave (16. 5).

2.4.3 Método Boucherie modificado

Este método consiste en introducir por uno de los extremos del tallo de bambú el preservante, mediante la presión ejercida por una bomba centrífuga, desplazando la savia que contiene el tallo.

El equipo está compuesto de una bomba, que se conecta a un recipiente, el cual almacena el líquido preservante. De ahí el preservante es bombeado a un tanque neumático. Del tanque neumático el líquido preservante es desplazado a presión y luego se distribuye a través de mangueras plásticas flexibles a varias salidas. Cada una de las mangueras cuenta con su llave de bola para abrir o cerrar el paso hacia la correspondiente boca de hule, en la que se conecta uno de los extremos del tallo, sujetándose por medio de una abrazadera, considerándose esta parte del equipo como crítica (9. 77).

Los líquidos recogidos en la sección de entrada y salida de los tallos se almacenan en otro tanque, para luego ser filtrados y mezclados con solución fresca. De esta forma se logra reciclar el total del producto utilizado como preservante. Se detecta el desplazamiento total de la savia en los tallos, midiendo la acidez del líquido que brota en el extremo inferior del tallo. El tiempo que se tarda en desplazar el líquido preservante a la savia es variable.

Recomendaciones para el uso de este sistema:

1. Antes de aplicarle preservante a el tallo, cortarle una sección pequeña en ambos extremos, para tener una superficie limpia.
2. Una vez colocado uno de los tallos en posición, se introduce en la boca del hule y se sujeta con abrazaderas.
3. Se purga el aire y luego se abre la válvula del líquido preservante.
4. Para obtener mejores resultados en cuanto a la penetración y retención

del líquido preservante, utilizar tallos recién cortados o mantenerlos frescos bajo agua.

5. Secar los tallos al aire después del tratamiento.

Es importante hacer mención, que el aire es un factor que influye en la retención, penetración y distribución del preservante en las paredes de los tallos. El aire bloquea los conductos donde el líquido puede fluir dentro del bambú. En algunos casos el bambú recién cortado se sumerge en agua para evitar que el aire bloquee el flujo del preservante, es probable que durante el período de inmersión en agua, parte del aire atrapado en los elementos conductores de las paredes de los tallos se difundan hacia el agua utilizada para la inmersión, aumentando el número de conductos viables para el flujo de la savia como el líquido preservante. Por otra parte en los tallos almacenados al aire por más de un día la permeabilidad disminuye significativamente como consecuencia de la obstrucción producida por el aire en los elementos conductores (9. 79).

2.4.4 Método por inmersión

Para obtener buenos resultados al emplear este método es necesario que el bambú a tratar, se encuentre seco, debe tener un contenido de humedad por debajo del 20% . Este método es muy usado para tratar los tableros de esterillas y tablillas de bambú, eso no significa que no se pueda usar en los tallos.

Para tratar tallos o cualquier otro derivado de éste es indispensable contar con un tanque que tenga la capacidad de acuerdo a la cantidad, longitud y la forma (pueden ser tallos, esterillas o tablillas) que tenga el material. Cuando el uso es masivo e industrializado, normalmente el tanque se funde con hormigón armado y se impermeabilizan las paredes internas. En cambio, cuando se desea tratar en obra el bambú, generalmente se excava una fosa en la tierra y se cubre

con plástico o se ensavietan las paredes, en otros casos se corta un tonel transversalmente al centro y se unen las dos partes obtenidas del corte dando como resultado un canal.

Para el tratamiento del bambú rollizo, previo a ser sumergidos en el tanque que contiene el preservante, se deben efectuar dos orificios enfrentados en cada entrenudo con una broca de 1/16", con el fin que penetre el preservante en el interior del tallo, debido a la dureza e impermeabilidad de la capa externa. Otro método es perforar levemente los tabiques internos con una varilla de 1/2", la cual se acondiciona en uno de sus extremos, para que tome forma puntiaguda y permita romper fácilmente dichos tabiques, buscando que el orificio sea lo más pequeño posible y que cause el menor daño posible (32. 1).

Después de haber llenado el tanque con agua y el líquido preservante, se sumergen las tablillas, esterillas o tallos, en el caso de estos últimos tienen que tener abiertos los orificios en los entrenudos o en los tabiques. Al finalizar el tiempo de inmersión se deja en escurrimiento de 1 a 2 horas. La solución aplicada puede estar a temperatura ambiente (baño frío), o temperatura más alta (baño caliente). El tiempo de inmersión y temperatura están en relación con la solución aplicada.

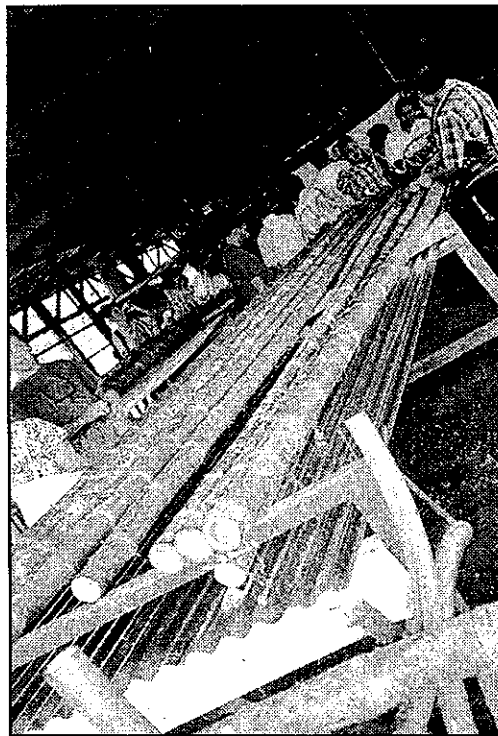
2.4.5 Método de vacío-presión

"De común utilización para las maderas, el sistema está compuesto por un cilindro con puntos de alimentación y salida de solución. Para la aplicación de ésta se requiere, de una parte, que exista vacío en el interior del autoclave y de otra, un manómetro para poder ejercer el control mecánico en la aplicación del preservante" (36. 10). La aplicación de este método consiste en, una vez seco el tallo se introduce en el autoclave, en donde se realiza un vacío inicial de aproximadamente 600 mm de mercurio y luego se van introduciendo las sales a pre-

si3n de 8 a 14 kg/cm² hasta que el material no absorba m1s preservante (36. 13). Al aplicar este m3todo, se requiere que el bamb3 se encuentre en 3ptimas condiciones, porque generalmente el bamb3 que tiene grietas colapsa sobre la direcci3n de las mismas, adem1s es el m3todo m1s costoso por metro c3bico de material preservado (13. 17).

2.4.6 M3todo de aplicaci3n externa

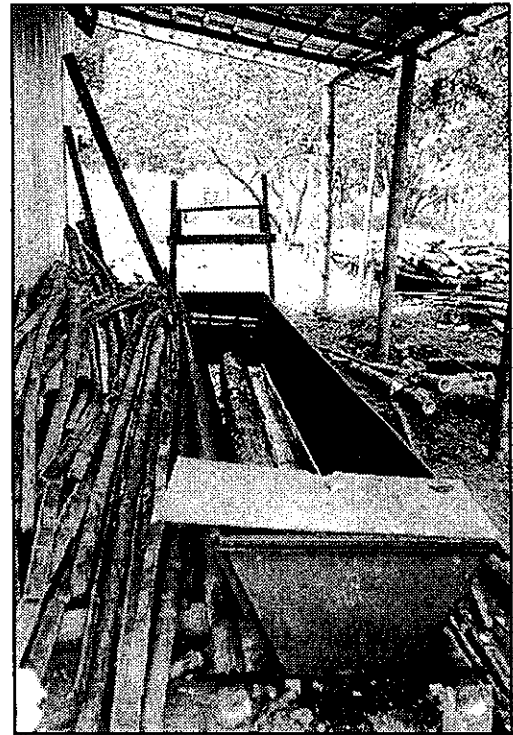
Este tipo de tratamiento consiste en aplicar el preservativo sobre la superficie del tallo con una brocha o un atomizador. Este m3todo resulta ser el menos efectivo de todos, ya que la capa externa del tallo es impermeable, lo que impide que el preservativo penetre al interior del tallo, que es la parte m1s vulnerable al ataque de insectos. Tambi3n puede lavarse f1cilmente con la lluvia, si queda expuesto a la intemperie.



Preservado de bambú rollizo, por el método Buocherie.



Preservado de bambú rollizo, por el método por inmersión.



Preservado de canales de bambú, por el método por inmersión.

3. EL BAMBÚ COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN

Después de conocer cómo se puede llegar a obtener un material con buenas características físicas, resistente y de mayor durabilidad, también es indispensable conocer el potencial que tiene este recurso natural al aplicarlo en la construcción, desde viviendas de interés social hasta estructuras arquitectónicas.

3.1 Ventajas y desventajas

3.1.1 Ventajas

El bambú es un material conveniente y económico para la construcción de viviendas, estructuras arquitectónicas y otras aplicaciones en el campo de la construcción porque cuenta con las características siguientes (22. 3), (33. 14):

1. Es un recurso natural renovable, que puede sustituir en parte a la madera como material de construcción.
2. Puede ser combinado con otros materiales de construcción como la madera, concreto, tierra, hierro y otros.
3. Su forma circular y su sección, por lo general hueca, lo hacen un material liviano, fácil de transportar y almacenar en forma conveniente y económica.
4. Los tallos tienen una estructura física que les proporciona alta resistencia en relación a su peso. En cada nudo del mismo, se ubica un tabique transver-

sal rígido, estratégicamente colocado y sus fibras que corren en dirección longitudinal al tallo contribuyen a evitar la ruptura al curvarse.

5. El comportamiento del bambú bajo cargas flexionantes, demuestra ser un material ideal para la construcción en zonas sísmicas.
6. La superficie natural del bambú generalmente es limpia, dura y de textura lisa, a menudo muestra atractivos colores, cuando los tallos han sido manejados convenientemente. Proporciona a las construcciones elegancia y belleza
7. Los tallos no tienen corteza que puedan considerarse como desperdicios.
8. La estructura de las paredes de los tallos permite que puedan ser cortadas transversalmente o rajadas longitudinalmente, con herramientas simples.
9. El bambú es el recurso natural más sobresaliente en altura, resistencia y peso, lo cual permite su empleo en todo tipo de miembros estructurales.
10. La utilización del bambú en una construcción rural, además de resistente y económica, armoniza con el medio ambiente.
11. El bambú se puede usar desde el cimiento hasta la cubierta de una vivienda.

3.1.2 Desventajas

Desde el punto de vista de la construcción, los tallos de bambú tienen ciertas características que limitan o reducen su calidad o empleo como material de construcción. No obstante hay maneras de superar o reducir esas limitaciones, que a continuación se describen (20. 22), (21. 172), (22. 38):

1. Dimensiones variables. Es difícil obtener tallos de longitud y diámetro uniformes, por eso su proceso no puede ser mecanizado y su uso puede caer dentro de las actividades artesanales. Cuando hay un número amplio de tallos, esa variabilidad puede superarse en cierto grado aplicando una selección y una clasificación cuidadosa
2. Superficies desuniformes. El uso de ciertos bambúes se hace difícil debido a la curvatura que presentan los tallos, lo resaltado de los nudos, la desigualdad de tamaño y forma de entrenudos. La desigualdad y conicidad en la forma apical del tallo. Todo lo anterior evita obtener una construcción ajustada, a prueba de la intemperie y de los insectos. Para poder superar los efectos de desigualdad, se tienen que seleccionar los tallos, pensando en la exigencia de su empleo. Además las diferentes partes del tallo pueden ser cortadas de acuerdo a sus características dominantes y a la aplicación que va a tener en la construcción. Los tallos que presentan curvaciones o en forma de zig-zag, pueden ser empleados para fines en los que la forma no tiene importancia o donde se logre un efecto decorativo.
3. Muy rajadizo. Los bambúes tienden a rajarse fácilmente, con excepción de los de pared gruesa como el *Bambusa Tulda* y el *Dendrocalamus strictus* o los de pared relativamente suave como ciertas especies de *Bambú guadua*. Esta desventaja impide el uso de clavos y limita el número de técnicas para formar armazones y uniones en elementos estructurales. Se recomienda usar los tallos de pared más gruesa y menos propensa a rajarse para fines en lo que este aspecto es una desventaja. Cuando sea posible, cortar los extremos inmediatamente detrás de un nudo, pues tiene un coeficiente de resistencia al esfuerzo de corte, mayor que los entrenudos. Para las uniones es importante usar cintas de ratán u otro material de amarre y perforar agujeros para el uso de clavos, tornillos o pernos.
4. Poca duración. Algunas especies de bambú son muy susceptibles a la invasión y destrucción parcial por insectos xilófagos. Pueden seleccionarse especies de bambú con poca susceptibilidad y preservarlos para hacerlos

menos vulnerables al ataque de insectos. Generalmente las superficies cortadas de los extremos de los tallos son los lugares por donde entran los insectos, por lo que debe tratarse con más cuidado. La mayoría de los bambúes también muestran gran susceptibilidad a hongos que causan pudrición, especialmente en condiciones húmedas y en contacto con el suelo húmedo. Además de preservar el tallo de bambú, se debe darle la protección adecuada para evitar estos contactos a través de un buen diseño.

5. Defectos presentados durante el secado. El bambú al secarse se contrae y su diámetro se reduce, provocando en algunos casos agrietamientos, rajaduras, colapso o deformaciones; en los tres primeros casos no se debe usar el tallo estructuralmente y en el último se pierde la longitud en mal estado. Para reducir estos defectos es importante conocer las recomendaciones sobre el corte y secado del bambú, que se mencionan en el capítulo 2 del presente trabajo.
6. El bambú es un material combustible cuando está seco, por ello debe recubrirse con un material a prueba de fuego o por un tratamiento con una sustancia como el ácido bórico, que también es un fungicida e insecticida efectivo, y fosfato de amonio.
7. El bambú es conocido por su efecto sobre la pérdida de filo de las herramientas. Esto se puede minimizar si se trabaja con herramientas de acero al molibdeno u otras aleaciones duras.

3.2 Formas de utilizar el bambú

Una de las ventajas que tiene el bambú, es permitir que puedan ser cortados los tallos transversalmente o rajados longitudinalmente, con herramientas simples. Esto ha permitido derivar del tallo muchas formas de utilizar el bambú como material de construcción, particularmente por la gente de escasos recursos económicos, tanto en algunos países de latinoamérica como en países asiáticos.

De hecho muchas de las casas de bambú han sido construidas con la herramienta más común y simple como lo es el machete, aunque se sabe que esta herramienta no es la adecuada para realizar cortes transversales. En algunos países el uso del bambú se ha industrializado, para esto se requieren herramientas y maquinarias adicionales. Generalmente el bambú como la madera pueden ser usadas en forma natural y en forma procesada.

3.2.1 En forma natural

En esta forma se ha venido usando el bambú desde la antigüedad, es decir en forma rolliza y sus derivados como tableros de esterilla, canales, tablillas (latas), cintas y cables de bambú.

Tableros de esterilla. Se le llama a un sector del tallo convertido en forma plana. Con la ayuda de una hachuela o machete, se hacen incisiones longitudinales profundas en cada uno de los nudos y perpendiculares a ellos. Con una separación entre 1 y 3 cm. En seguida, con la ayuda de una pala de madera se abre longitudinalmente por uno de los lados, partiendo al mismo tiempo los tabiques de los nudos. Luego se abre con la mano o parándose sobre sus bordes a la vez que se camina sobre ellos hasta dejarlo plano. Posteriormente con un machete o la misma pala se elimina la capa blanda de la pared interna de tallo para evitar que sea atacada por los insectos, hasta dejarlo más o menos de un mismo espesor (16. 7)

El bambú transformado en tableros de esterilla tiene varias aplicaciones como material en el campo de la construcción, en algunos casos lo utilizan en la construcción de pisos, como cerramientos, como soporte de la teja de barro y para cielo falso. En construcciones de concreto, normalmente se utiliza en cimbras, formaletas o cajones para losas nervadas (16. 7).

Canales. Se le llama al sector del tallo de bambú partido transversalmente en dos partes iguales. Normalmente se utiliza un machete o hacha para partir en

dos partes la sección transversal de uno de los extremos del tallo, y por la facilidad que tiene el bambú en rajarse longitudinalmente, solo se tiene que empujar la herramienta hacia el otro extremo.

Los canales se utilizan para acueductos aéreos rurales, en la construcción de pisos, en recubrimientos de paredes, para cubiertas teniendo la misma función de las tejas y para la recolección de las aguas pluviales.

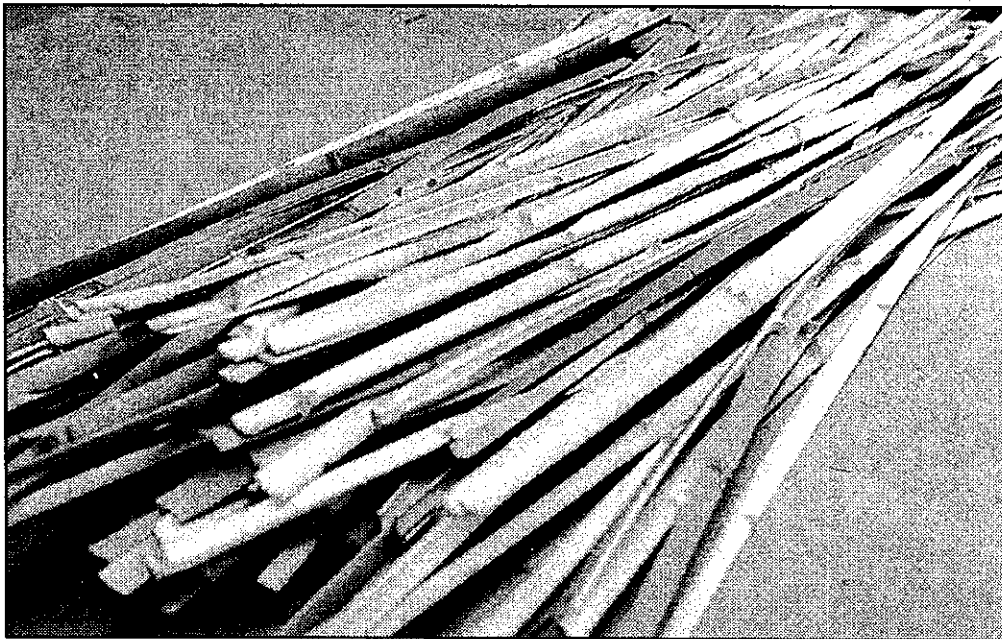
Tablillas o latas. Se le llama como máximo a la cuarta parte que se obtiene al dividir un tallo de bambú en su sección transversal. Para obtener las tablillas, se divide la sección transversal de bambú en 4 o más partes. Para dividirlo en cuatro partes, normalmente se utiliza una cruz de madera o metal que se introduce a golpes en la sección previamente rajada en su extremo. Para obtener un mayor número de tablillas, se pueden dividir los canales con machete o hacha, o utilizar un cortador radial metálico, con el cual se obtienen a un mismo tiempo varias tablillas según el número de cuchillas que tenga dicho cortador radial y se obtienen tablillas más uniformes en dimensión.

Las tablillas normalmente se utilizan en la construcción de paredes tipo bajareque, quinchá y como base para la aplicación de mortero, también se utilizan para el forro de puertas, ventanas o tabiques, pisos u otras aplicaciones en el campo de la construcción.

Cintas. Se obtienen de la pared exterior de los tallos de bambú y sus dimensiones pueden variar entre uno y 3mm de espesor y hasta 10 mm de ancho. Las cintas deben cortarse sólo de la parte externa del bambú y en ningún caso en la parte interna, debido a que la zona externa es casi tres veces más resistente que la zona interna. La zona interna es blanda, porosa y vulnerable al ataque de insectos y la externa es más oscura y compacta. La primera abarca el 70% de la pared y la segunda el 30%. Las cintas se utilizan en la fabricación de cables o como refuerzo en concreto para la fabricación de tanques, fosas sépticas, sanitarios, lavaderos y otros.



Una de las formas de utilizar el bambú en la construcción, son los tableros de esterilla.



Las tablillas o latas de bambú, tienen varias aplicaciones en la construcción.



Cables. Se le llama a la torsión de varias fibras o cintas de bambú. Para la obtención de los cables de bambú se utilizan 3 o más cintas y se emplea el mismo método que utilizan los campesinos para la fabricación de lazos o cuerdas, o sea torciendo al mismo tiempo y en el mismo sentido cada una de las cintas, solo que el número de vueltas no debe ser mayor de 3 por metro lineal (16. 9).

Los cables de bambú se utilizan como refuerzo de pequeñas estructuras de concreto de uso rural, como riostras de estructuras temporales y sin duda alguna la más relevante aplicación fue la construcción de gigantescos puentes colgantes con luces superiores a 100 metros (15. 111), (16. 9).

3.2.2 En forma procesada

En algunos países del Asia, donde su utilización ha sido por tradición, se ha desarrollado la industria del bambú y actualmente se busca darle al material un alto valor agregado, para colocarlo no como un material de tradición, sino como un material del siglo XXI aprovechando sus ventajas como vegetal renovable (44. 6).

"Durante la Segunda Guerra Mundial se desarrolla en China la industria de tableros aglomerados de bambú **Playbamboo**, para satisfacer la demanda de la industria aeronáutica" (1. II-155).

"Actualmente la industria del bambú laminado **playbamboo**, **Glu-Lam**, o **Lamboo**, está altamente tecnificada y se aplica en procesos de laminación mediante el empleo de colas sintéticas. El sistema consiste en un precocido de los elementos a través de un proceso de microondas, con lo cual se reducen considerablemente los esfuerzos internos del material, facilitando la flexibilidad y doblado de los elementos, permitiendo la fabricación de una destacada gama de productos derivados de las secciones longitudinales del culmo, de la chapa exterior, e inclusive de la fibra o aserrín del bambú en la fabricación de tableros aglomerados y contrachapados. Esta tecnología sirve de base para la producción de muebles, elementos de carpin-

tería, interiorismo, cielorosas, encofrados para hormigón, aspas para molinos de vientos, embalajes, y otros propósitos ornamentales. La industria de productos de bambú procesado es uno de los renglones de exportación más importantes de Taiwan, con un promedio anual de venta de 150 millones de dólares" (1. II-155).

3.3 Partes de la vivienda en que se utiliza el bambú

La ventaja que tiene el bambú es que permite aprovecharse en su totalidad y en diferentes formas, es por ello que se puede aplicar en cimientos, estructura, muros o cerramiento, cubiertas, pisos, puertas, ventanas, canales y otras aplicaciones en la construcción de viviendas de interés social.

3.3.1 Cimientos

El empleo de postes de bambú en forma rolliza, en lugar de cimiento convencional para viviendas económicas, pueden observarse en ambos hemisferios. Existen regiones donde la topografía es muy accidentada y se presenta la necesidad de apoyar los pisos sobre postes de bambú, logrando de esta manera un plano horizontal. En algunos casos se llegan a construir viviendas que tiene uno o dos pisos al frente de la calle, o la parte posterior, y según la pendiente del terreno llegan a tener hasta siete pisos. Es decir, las viviendas de bambú se adaptan a la topografía, siguiendo el contorno de ésta. Es importante mencionar que también se utilizan postes de bambú, para elevar el piso de las viviendas respecto del nivel del suelo, en regiones donde el clima es muy cálido.

Normalmente los postes de bambú se entierran en el suelo, preservados con pentaclorofenol o también los apoyan sobre bases de piedra. Cuando la situación económica es ligeramente mejor, entonces los apoyan sobre bases de concreto. Si se desean emplear postes de bambú es indispensable preservarlos y

apoyarlos sobre piedras o concreto, con el fin de prolongar su vida útil. Es indispensable usar tallos de mayor diámetro, paredes gruesas y nudos más próximos para obtener máxima resistencia.

3.3.2 Estructura

Para construir estructuras de vivienda el tallo se utiliza en forma rolliza de la siguiente manera; la parte basal en columnas y vigas maestras, la parte intermedia en armaduras o tijeras, parales y soleras, y la parte apical en tendales de techos como soporte de tejas de barro y en construcciones de techos de paja u hoja de manaque. Actualmente la Fundación del Bambú de Costa Rica (FUMBAMBU), está investigando la manera de hacer más eficiente este recurso natural en el campo de la construcción de cerchas o tijeras, a través de la sustitución del bambú en forma rolliza por tablillas.

3.3.3 Muros o cerramiento

Existen diversas variantes en la construcción de muros dependiendo del diseño y de la resistencia requerida para soportar el peso de la cubierta y las fuerzas naturales como sismos o huracanes. Además de darle protección contra la lluvia, el viento y lograr condiciones satisfactorias e higiénicas a través de la iluminación y ventilación natural. El bambú puede emplearse en muros tanto en forma rolliza, como en canales horizontales o verticales, dependiendo de la técnica constructiva a utilizar, también se utiliza tableros de esterilla y tablillas. Existen varias técnicas constructivas para muros de bambú, entre ellas se tienen tipo bajareque; quincha; tableros de esterilla a base de paneles prefabricado y esterilla tejida.

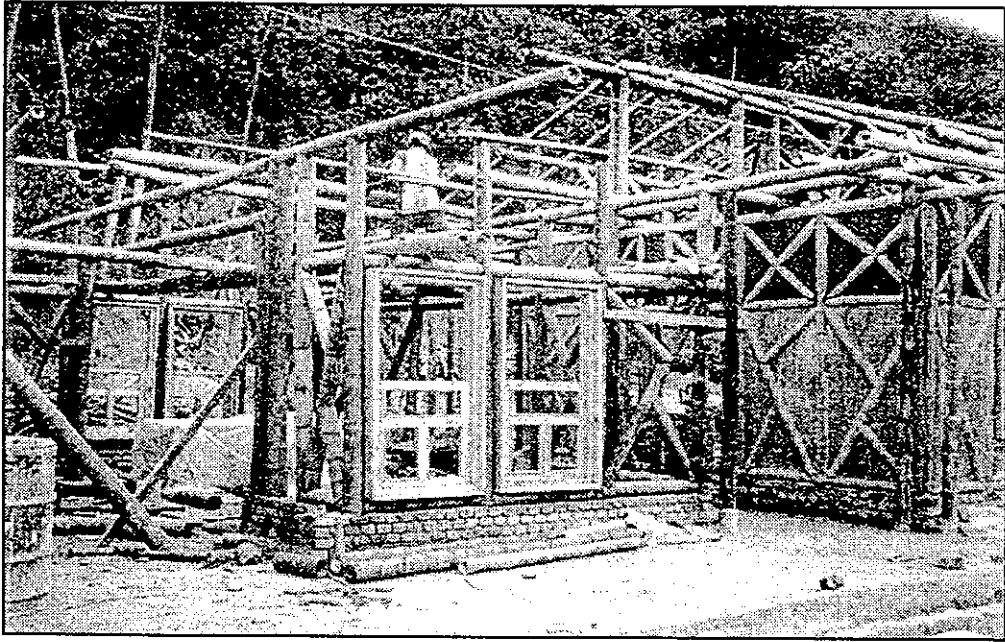
Muros de bajareque. Esta técnica constructiva es ampliamente conocida en América Latina en viviendas de bajo costo. Se construye mediante el clavado o

amarrado de los tallos, canales o tablillas horizontalmente separados a poca distancia, sobre ambos lados de las columnas o parales de bambú. El espacio entre los elementos horizontales se rellena con barro y generalmente se le agregan fibras vegetales como hoja de pino, pajón, raíces, paja, etc., lo que le da un mejor amarre al barro y evita que al secar se agriete exageradamente.

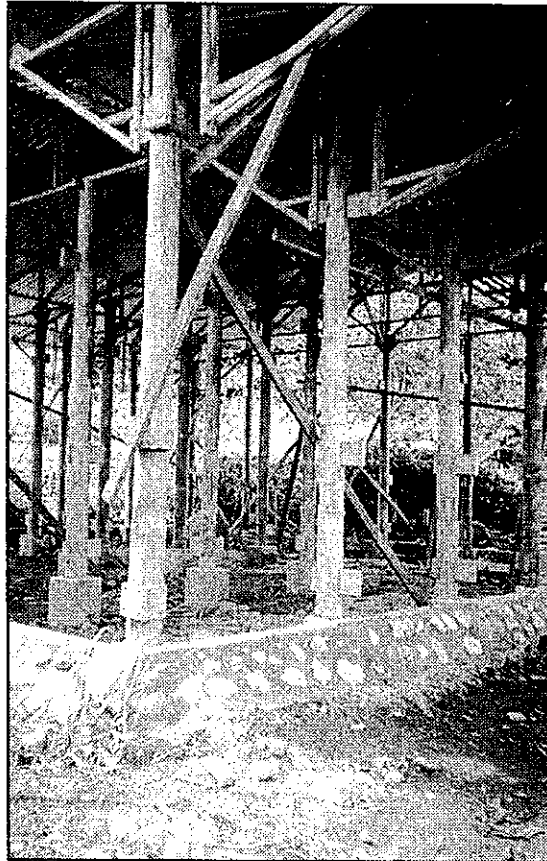
Muros de quincha. Esta técnica constructiva es muy utilizada en el Perú. La técnica permite tener muros delgados y resistentes. Consiste en dejar a la vista los marcos de bambú formados por parales y soleras o por columnas y vigas, dando un aspecto agradable a la vivienda. Los marcos se rellenan con un entramado de tablillas de bambú, las cuales pueden estar en el sentido vertical u horizontal. Cuando se entretrejen en el sentido vertical, se colocan soportes horizontales de bambú fijados previamente a la columna o paral con una separación uniforme que puede variar entre 50 y 70 cm. Si se entretrejen en el sentido horizontal los soportes van en el sentido vertical fijados previamente a la solera inferior y superior (16. 31).

Muros de tableros de esterilla. La estructura de la pared está formado por parales de bambú de 10 cm de diámetro promedio y separados a una distancia máxima de 40 cm. Una vez fijados los parales se cubren en algunos casos en ambos lados de los parales y en otros sólo en el lado exterior con tableros de esterilla de bambú. La fijación de los tableros a los parales se pueden hacer ya sea utilizando una tablilla de bambú de 2 cm de ancho cortada de la pared exterior del tallo, y se clava sobre la esterilla al centro de cada paral con clavos a una distancia máxima de 8 cm, o también empleando alambre galvanizado con el cual se unen las cabezas de los clavos, dándole una vuelta a cada una antes de clavarlas totalmente.

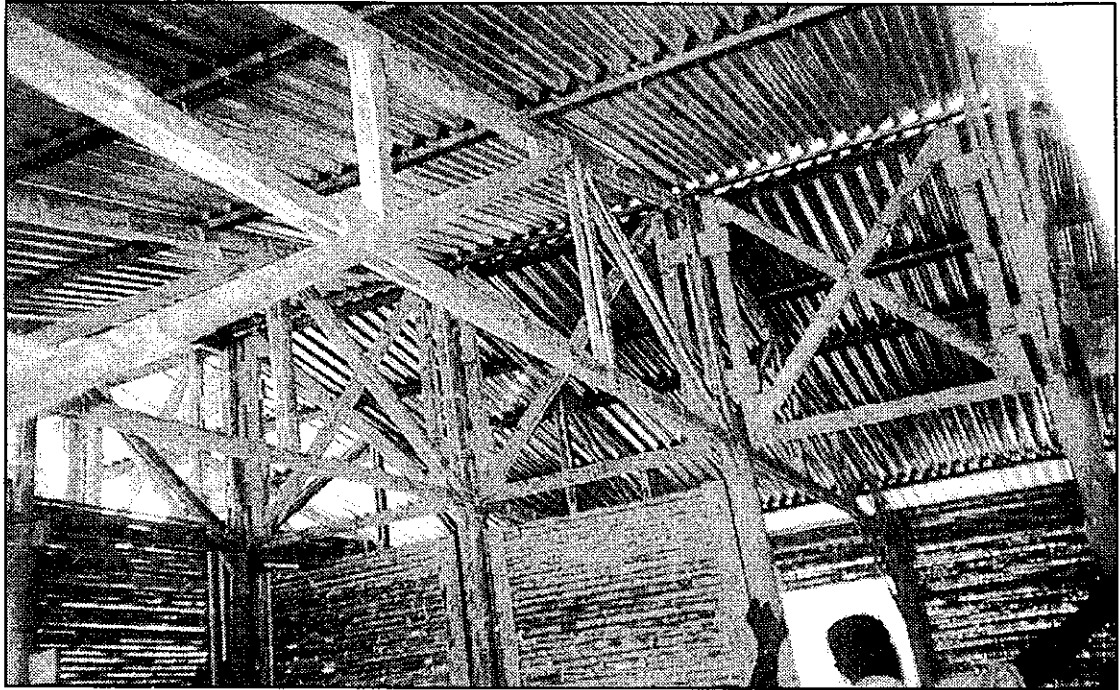
Muros a base de paneles prefabricados. Esta técnica es usada en Colombia, Ecuador y Costa Rica. Consiste en la elaboración de paneles modulares, formados por una estructura de madera y forro de tablillas de bambú o caña brava. La estructura de madera está formada por parales sección 2"x2" a una separación máxima de 90 cm y solera superior e inferior sección 1"x2". Sobre una de las caras de la estruc-



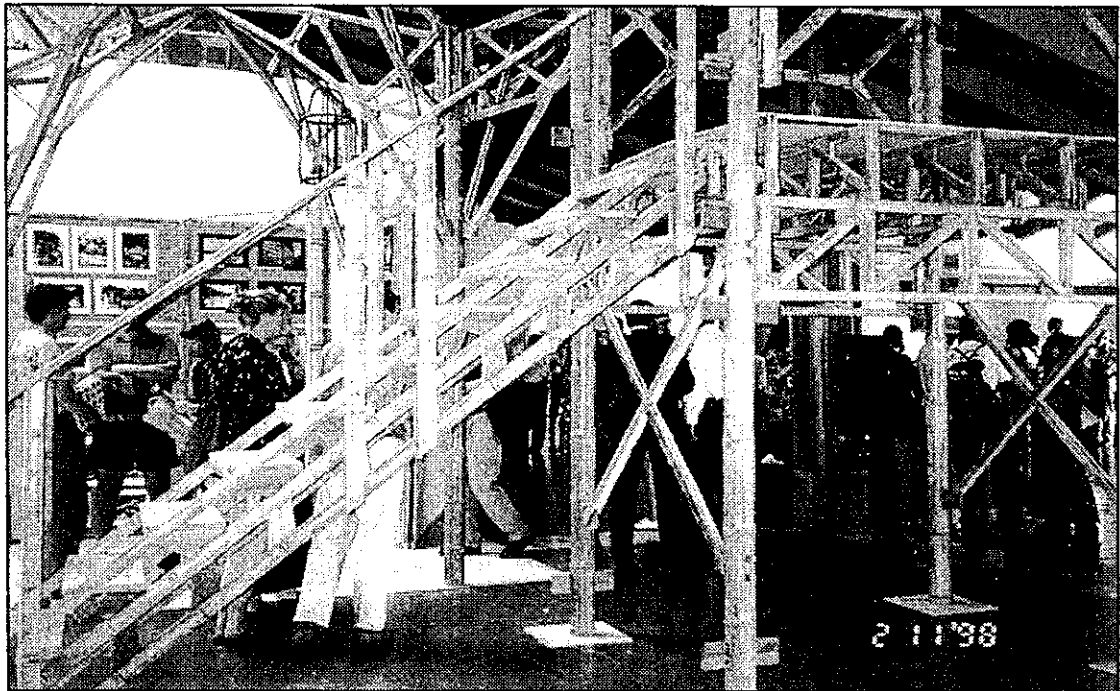
El bambú se aplica en diferentes partes de la estructura de una vivienda.



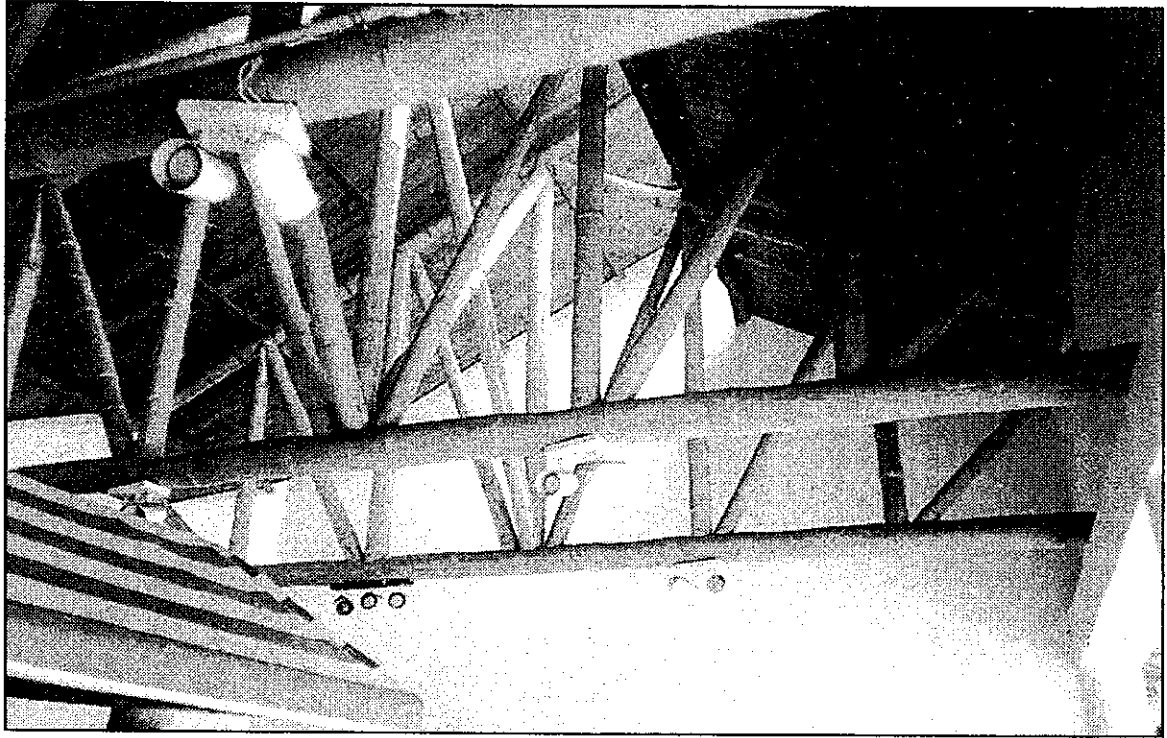
El bambú se aplica en la construcción de estructuras de viviendas, en diferentes formas, y puede combinarse con otros materiales.



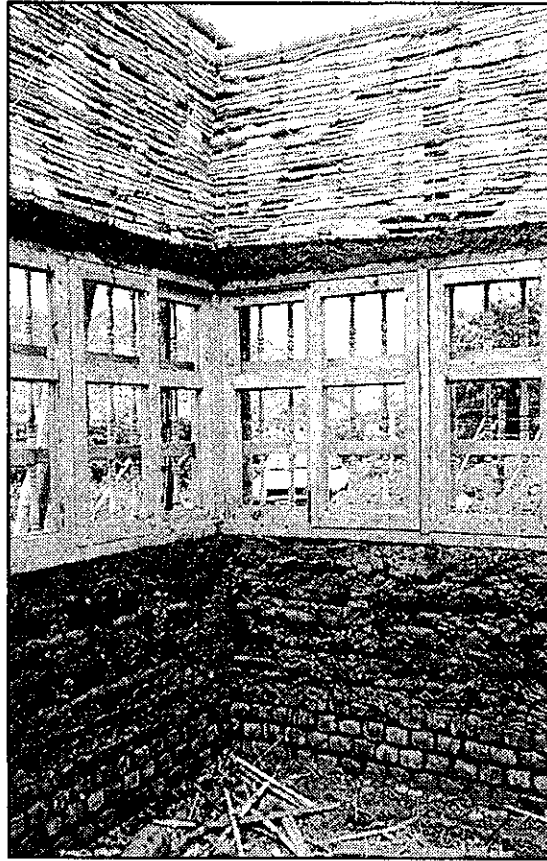
**Una de las aplicaciones más sobresalientes,
es la construcción de armaduras a través de tablillas.**



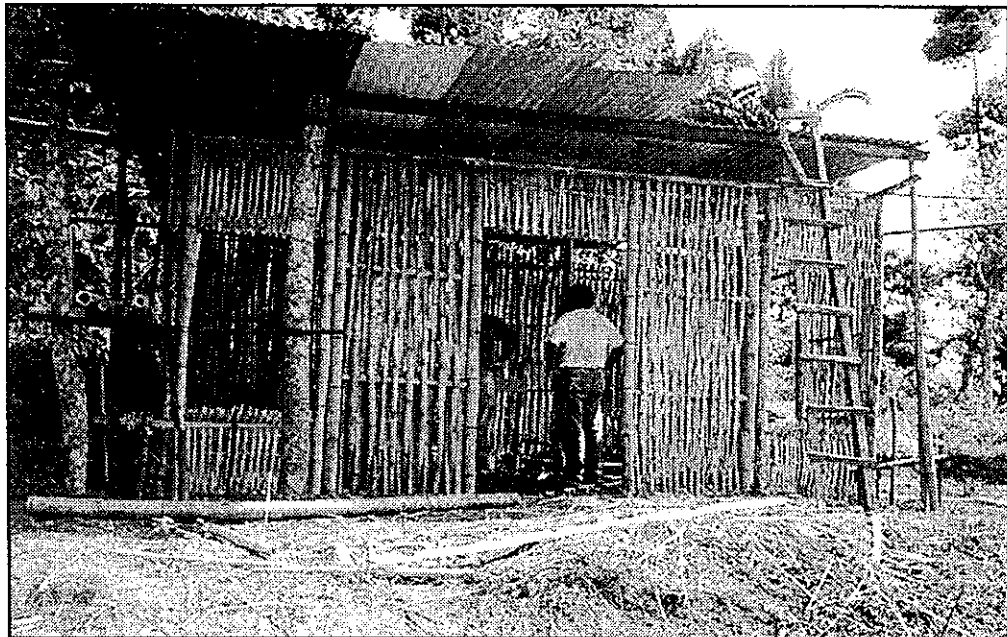
La aplicación de tablillas se ha diversificado en la construcción.



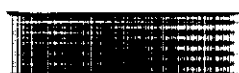
**Por sus excelentes propiedades físico-mecánicas,
el bambú es empleado en la construcción de tijeras.**

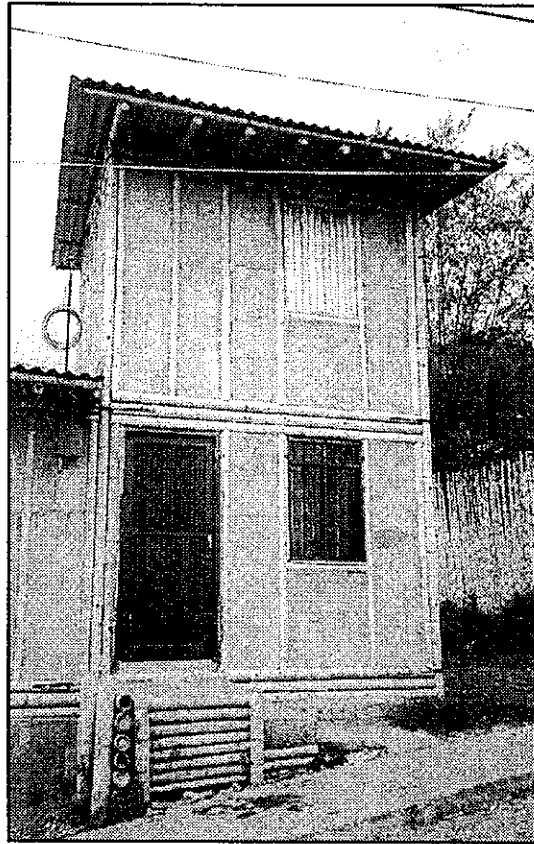


Se aplican canales de bambú en muros de bajareque.

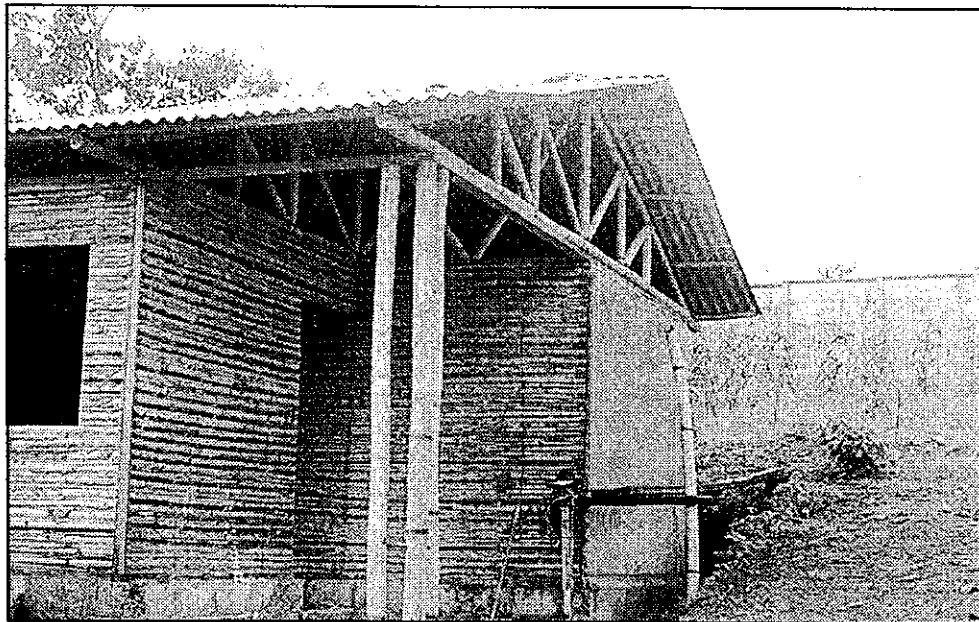


Muros tipo Quincha.





Los paneles que forman la vivienda están cubiertos con tableros de esterilla.



Vivienda de paneles prefabricados, bastidor de madera, tablillas de bambú en una cara y mortero de revestimiento.

tura se colocan las tablillas de bambú o caña brava horizontalmente sujetadas por grapas. Las tablillas o caña brava van separadas a una distancia similar al ancho o diámetro del material respectivamente. Posteriormente se montan los paneles sobre el cimientado y se sujetan entre sí con pernos, formando la estructura del cerramiento de la vivienda. En las juntas se coloca malla de gallinero para que se adhiera el mortero y finalmente se le aplica mortero en las dos caras de las tablillas o caña brava.

Muros con paneles de esterilla tejida. Los paneles están formados por una estructura de bambú y un fino tejido de esterilla de bambú. Los marcos están constituidos por parales y soleras tanto inferior, como intermedias y superior. Las esterillas para la elaboración del tejido, debe de ser muy delgada y flexible con este fin se remueve su capa interior o blanda, algunas veces se obtiene de tallos de pared delgada.

El tejido de esterilla se asegura al marco de bambú clavando una tablilla sobre ella en el centro del paral o de los soportes. Este sistema constructivo es muy liviano. El tejido de las esterillas varía localmente de acuerdo a la calidad deseada. Algunas veces se les clava alambre de púas en la superficie a fin de presentar mayor adherencia al mortero. En las islas Filipinas y generalmente en el Lejano Oriente, se utiliza mucho esta técnica porque los bambúes disponibles son enteramente satisfactorios (22. 6).

3.3.4 Cubierta

En viviendas económicas el bambú se utiliza para cubierta en dos formas; la primera a base de tejas (canales) y la segunda a base de tejamaniles de bambú.

Tejas de bambú. Consiste en colocar sobre los tendales de la estructura para el techo, la primera capa de canales cóncavos hacia arriba, separados a una distancia apropiada, de tal manera que la segunda capa de canales cóncavos

hacia abajo puedan cubrir muy bien el espacio dejado, es decir, que se sigue el mismo procedimiento en la colocación de tejas de barro. La longitud del canal es de acuerdo a el largo de la cubierta que se desea cubrir.

Para fijar los canales a la estructura del techo, se le hace una muesca de igual ancho y profundidad inmediatamente después de uno de los extremos del canal. Al colocar la primera capa se introduce en las muescas de los canales una tablilla y se amarran los canales con alambre galvanizado a la tablilla y ésta al tendal que se localiza en la parte superior de la pendiente de la cubierta. Luego se coloca la segunda capa, tratando de que coincidan las muescas a la tablilla anteriormente colocada, para amarrar los canales a la tablilla. Para evitar que el viento levante las tejas se coloca una tablilla perpendicularmente a los canales y se amarra a el tendal que se localiza en la parte inferior de la pendiente de la cubierta (16. 49).

Tejamaniles de bambú. Se obtiene al rajar un sector del tallo comprendido entre un nudo y un entrenudo completo en cuatro partes radiales iguales. En el extremo del entrenudo se cortan las dos esquinas para formar un triángulo y en el extremo del nudo, inmediatamente abajo de éste se levanta una cinta de aproximadamente 12 cm de largo, sirviendo de trabe al colocar los tejamaniles sobre los tendales, por lo corto que son los tejamaniles, normalmente se coloca tablillas para los tendales (16. 50).

3.3.5 Piso

Muchas de las viviendas rurales no tienen otro piso que la superficie de la tierra sobre la cual han sido construidas. En algunos casos suelen levantar una capa de la superficie de la tierra para sustituirla por un relleno que normalmente es estabilizado con cal o cemento y posteriormente compactado. Si el relleno es de arcilla, que es lo mejor, proporciona una superficie relativamente estable. El bambú se puede usar como material estabilizador o como piso sobrelevado.

Como material estabilizador. Cuando la superficie de un piso es muy polvoriento puede estabilizarse pavimentándolo con tablillas de bambú. El suelo debe ser nivelado pero no compactado con el fin de proporcionarle un drenaje natural, luego se colocan las tablillas de bambú. Éstas pueden ser entonces apisonadas con un apisonador de metal o madera, que los coloque en contacto con la superficie del suelo, el cual llega a compactarse simultáneamente (22. 4).

Como piso sobrelevantado. Se construye el piso de la vivienda a un nivel mayor que el del suelo. Esta técnica es más higiénica y provee debajo del piso un espacio vacío que puede tener múltiples usos. Entre ellos, destinados a la cría de animales domésticos, para el depósito de herramientas y equipos de la granja o productos agrícolas. Puede proveerse allí un espacio conveniente para los niños, aislándolos de la intemperie (22.5). Los pisos sobrelevantados se construyen con vigas de soportes y el piso de la cubierta, este último puede realizarse con tallos enteros, tableros de esterilla o tablillas de bambú.

3.3.6 Puertas y ventanas

La aplicación del bambú en la fabricación de puertas y ventanas genera una infinidad de diseños. Las puertas se constituyen con una estructura de madera o bambú y forro de tablillas o tableros de esterilla en la cara exterior o en ambas caras de la estructura. También se puede lograr una especie de robusto portón, construido con tallos enteros de bambú. Las puertas van colgadas por un costado y los cierres varían desde un tradicional cerrojo de cordel hasta la cerradura de cadena (22. 6).

Las ventanas. También pueden fabricarse con una estructura de madera o bambú. En muchas ventanas no se emplea el vidrio ni malla contra mosquitos. El cierre de éstas se realiza a través de tablillas de bambú. Las ventanas se cuelgan de un costado o de la parte superior (22. 6).

3.3. Canales y otros

Canales. Los tallos de bambú cortados transversalmente al centro y eliminado los tabique transversales de los nudos cumplen satisfactoriamente con la función de canal. Además los tallos enteros, una vez eliminado los tabiques transversales de los nudos, pueden utilizarse para las bajadas de agua pluvial. Cuando la lluvia es poca y el agua debe ser conservada, se emplea para recogerla y conducirla a toneles. Cuando la lluvia es fuerte se emplea para conducir el agua del techo hacia puntos alejados de la vivienda, para evitar que provoque humedad en la misma.

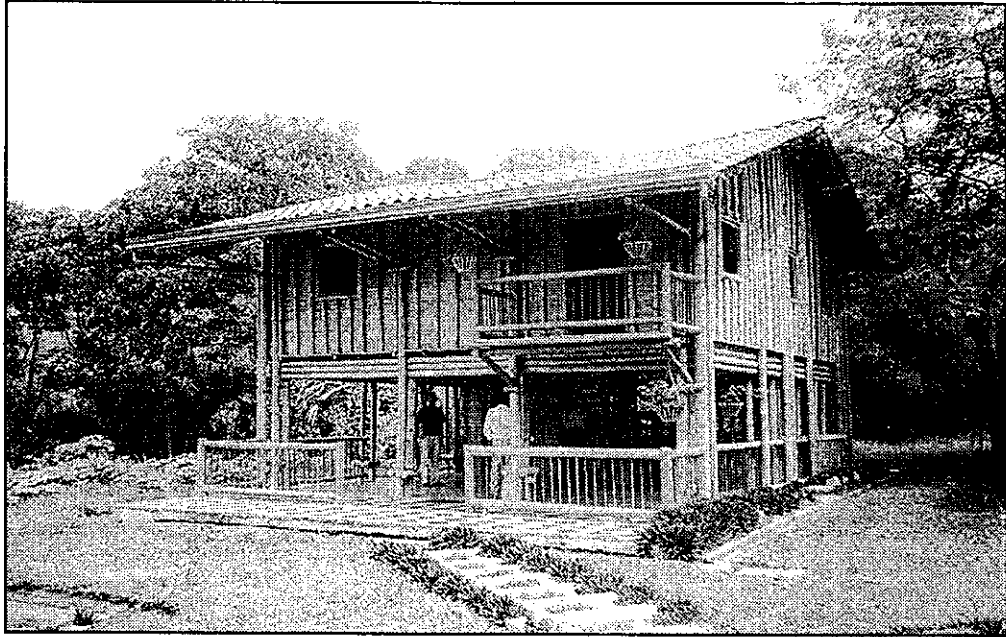
Desagües. El agua sucia proveniente de la cocina se puede conducir por un canal abierto con pendiente y no por uno cerrado, puesto que se instala fácilmente, si se obstruye, puede limpiarse con mayor facilidad (22. 7)

Cielos rasos. Los tableros de esterilla, son usados en algunas regiones para separar la estructura y la cubierta del techo, en algunos casos se deja la pared exterior visible dando un ambiente agradable y en otros se deja la pared blanda visible para que se adhiera con facilidad el mortero, dándole una apariencia de losa. También se utilizan tallos delgados o tablillas de bambú como cielo raso. En algunas zonas donde el clima es muy cálido se omite el cielo raso, permitiendo la libre circulación del aire.

3.4 Otros usos dentro de la construcción

3.4.1 Diseño estructural y arquitectura

En los últimos años se vienen investigando las propiedades físico-mecánicas del bambú, también la posibilidad de buscar una mejor solución para las uniones de elementos de bambú, con el fin de darle un uso eficiente y racional a esta bella planta. El bambú se ha integrado como material de construcción de majestuosas



Casa modelo de 2 niveles de la Corporación Autónoma Regional del Quindío, CRQ, Colombia.

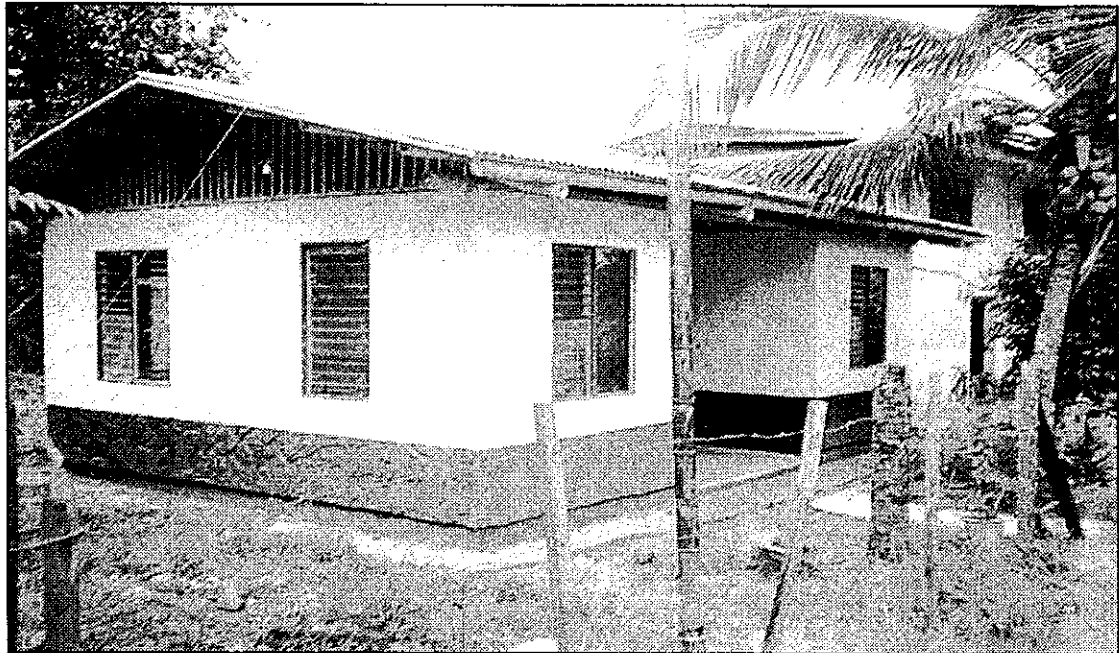


Proyecto habitacional en serie de viviendas económicas, donde el espacio es reducido y la topografía accidentada.





Vivienda modelo de la Corporación Autónoma Regional del Quindío, CRQ, estructura de bambú, cerramiento de tableros de esterilla en ambas caras de la estructura y mortero de revestimiento.



Casa modelo de la Fundación del Bambú, FUMBAMBU, de Costa Rica, a base de paneles prefabricados.

obras de la arquitectura moderna, es decir, que se encuentra a la altura de cualquier material convencional.

El bambú, al igual que en una vivienda, se puede usar para cualquier elemento estructural en la arquitectura moderna, porque sus características garantizan el cumplimiento adecuado para cualquier función deseada. Las dimensiones de los diversos elementos estructurales y su espaciamiento están determinados por la naturaleza de las funciones que deben desempeñar (22. 3).

3.4.2 Encofrados

El encofrado tiene como objetivo darle la forma final al concreto que se desea, como una viga, losa nervada o una losa plana. El encofrado tiene que ser diseñado de acuerdo a la cargas bajo las cuales va a estar sometido en obra y no debe permitir deformaciones visibles, además debe ser fácilmente desarmado una vez que el concreto alcance una resistencia apropiada (14. 134).

El encofrado construido con bambú para losas de concreto, está formado por dos elementos; el apuntalado o soporte de bambú y la formaleta.

Apuntalado y soporte. Está constituido por una base o plataforma de tableros de esterilla de bambú, sostenida por viguetas de bambú colocadas paralelamente, separadas a cada 40 cm. Estas viguetas regularmente descansan sobre vigas de bambú separadas entre 60 y 80 cm, según el diámetro y espesor de la pared del tallo. Las vigas se apoyan sobre puntales o parales de bambú, colocados entre 60 cm y 1 m. Para que los parales tengan un apoyo fijo y estable se usan tablonces o tablas de madera, sobre las cuales se pueden colocar tacos de madera para ajustar a la altura deseada. Es importante mencionar que los parales deben tener un nudo próximo al extremo inferior para que soporten los golpes en el momento de introducir la cuña con el martillo (14. 134).

Formaletas o moldes. Las formaletas sirven para darle forma a las vigas o viguetas. En Colombia es muy usual ver viviendas de bajo costo donde utilizan los casetones para aligerar el peso de las losas, es decir, que vienen a sustituir a la bovedilla. Estos casetones están formados por tabiques de madera, sobre los cuales se clavan los tableros de esterilla de bambú. El casetón puede tener sus cuatro lados longitudinales cubiertos con esterilla, si su parte inferior se va a utilizar como soporte del repello del cielo, en caso contrario solo se cubren 3 de sus lados (14. 137).

3.4.3 Andamios

Es una de las aplicaciones de mayor uso que tiene el bambú en Colombia y Ecuador, como en algunos países asiáticos. El bambú se utiliza en la construcción de andamios provisionales destinados a sostener obreros y materiales para la construcción de estructuras, acabados de fachadas y para la reparación de edificios de todo tipo. Los andamios que frecuentemente se usan son: el andamio sencillo de un solo par, que se emplea en el levantado de todo tipo de muros y el andamio doble, de dos parales que se utiliza por lo general en construcciones de estructuras y en el acabado de fachadas y reparaciones de edificios (14. 138).

Los andamios sencillos. Los tendales de bambú que sirven de apoyo a los tablonés se apoyan de un extremo en orificios que se van dejando al levantar los muros, y del otro en una viga de bambú sostenida por una hilada de parales separados a una distancia entre 1.2 y 2 m. En algunos casos el extremo inferior de los parales se entierran entre el suelo, en otros se apoyan sobre zapatas de madera o se introducen en toneles de metal que luego se rellenan con arena (14. 138).

Los andamios dobles. Se diferencian de los primeros porque los tendales son apoyados sobre vigas de bambú sostenidas por dos hiladas de parales. En la actualidad los andamios metálicos están desplazando el empleo del bambú en Colombia solo en la construcción de andamios muy altos (14. 138).

3.4.4 El bambú como refuerzo en el concreto

El bambú es el único material de origen vegetal que puede ser utilizado como refuerzo en el concreto, en reemplazo de las varillas de acero, que comúnmente se utilizan. Su aplicación como refuerzo en el concreto es una de las muchas ventajas que tiene el bambú sobre la madera.

Las primeras investigaciones y aplicaciones del bambú como refuerzo en el concreto se realizaron en China. Después se realizaron varias investigaciones particularmente en la India, Japón, Filipinas, Alemania, Italia, Egipto, Estados Unidos, México y Colombia con resultados poco satisfactorios, debido a que tanto los tallos de bambú delgados como las tablillas, que son las formas como hasta ahora se ha utilizado en bambú como refuerzo, aumentan de volumen con la humedad al aplicársele el concreto y posteriormente se contraen al secarse, provocando; agrietamientos en la superficie del concreto y pérdida casi total de adherencia de los materiales (15. 106).

En experimentos realizados en Colombia al utilizar secciones de tallos y tablillas de bambú (*Bambusa guadua*) que se han dejado sumergidas en agua por espacio de ocho días, se ha observado que el diámetro de las secciones aumentan en un 2.5% en las primeras 24 horas y en 5% al cabo de ocho días. En las tablillas, el espesor de su pared aumentan en un 8% en 24 horas y un 15% en ocho días. Estos cambios de volumen se pueden reducir cuanto mayor sea su edad (15.109).

"Una de las conclusiones a las cuales llegó Datta (1935) en sus experimentos dice que cuando se utilice bambú (ya sean cañas o tablillas) como sustituto del acero en la zona de tensión de una viga de concreto, el área de la sección transversal del bambú, debido a su bajo módulo de elasticidad a la tensión, debe ser por lo menos doce veces mayor que el área de la sección transversal del acero" (15. 111).

" por otra parte, Glenn (1944) dice que la capacidad de carga de una viga de concreto reforzada con bambú se incrementa con el aumento del porcentaje de

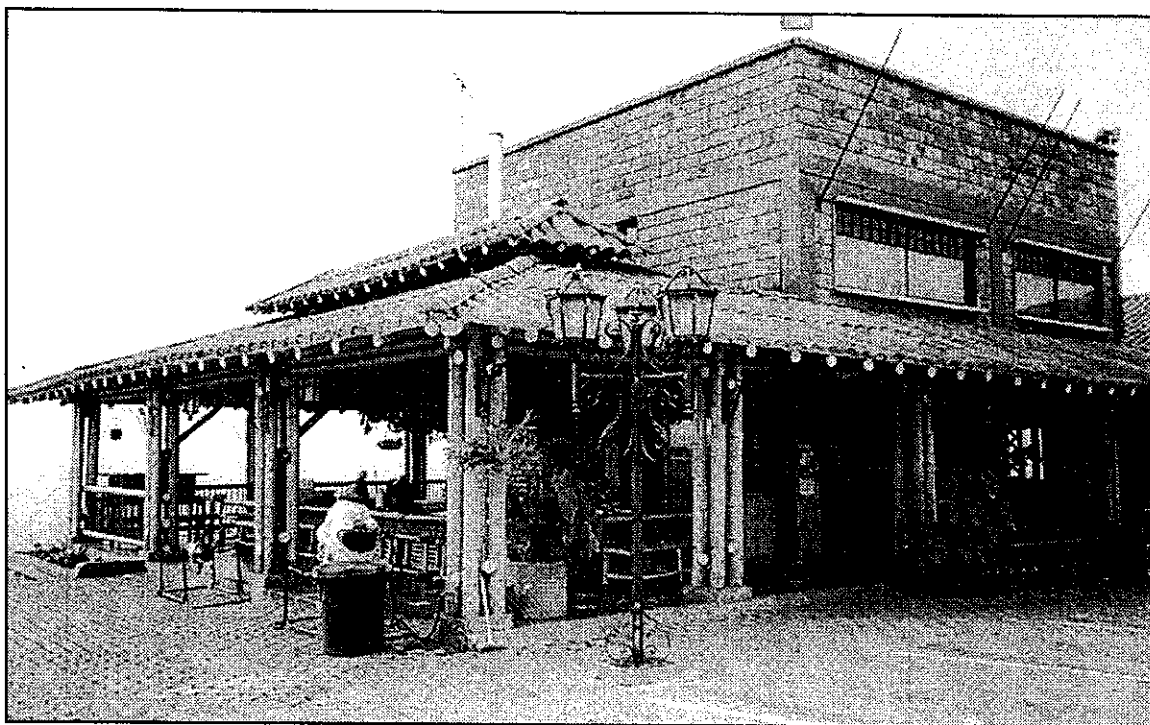
refuerzo hasta un valor óptimo, el cual se logra cuando el área transversal del refuerzo longitudinal del bambú es del 3 al 4% del área de la sección transversal de la viga de concreto" (15. 11).

Para superar los efectos en el concreto, producido por cambio de volumen y la limitación del área de refuerzo de bambú, los investigadores recomiendan utilizar como refuerzo cables delgados hechos por torsión de varias cintas de bambú, tomadas de la zona exterior de la pared del tallo. También, si se desea utilizar el bambú en forma rolliza, éstos deben tener nudos de las ramas, diámetro pequeño, paredes de gran espesor y recubrirse con un impermeabilizante para evitar la absorción de humedad.

Las cintas de bambú tienen una variedad de usos como refuerzo en el concreto. Con ellas se pueden elaborar estribos, diferentes tipos de armaduras, diferentes tipos de mallas y otros. El bambú como refuerzo en el concreto puede ser desde el cimiento hasta la losa de una vivienda.

En Colombia las cintas son usadas en la construcción de losas prefabricadas para mesas de cocina, en la construcción de pequeños tanques para almacenar agua, sanitarios, fosas sépticas, lavaderos y otros usos de tipo rural, dada las extraordinarias cualidades físicas y mecánicas que presenta este material, además de las habilidades que tiene el campesino para la elaboración de tejidos con bambú.

Una de las múltiples aplicaciones que puede tener el concreto reforzado con cables de bambú, es en la fabricación de postes de concreto para cercas. Las ventajas de utilizar cables de bambú son mayor resistencia a la tensión, mayor adherencia con el concreto, menores cambios dimensionales y aumenta la capacidad de refuerzo.



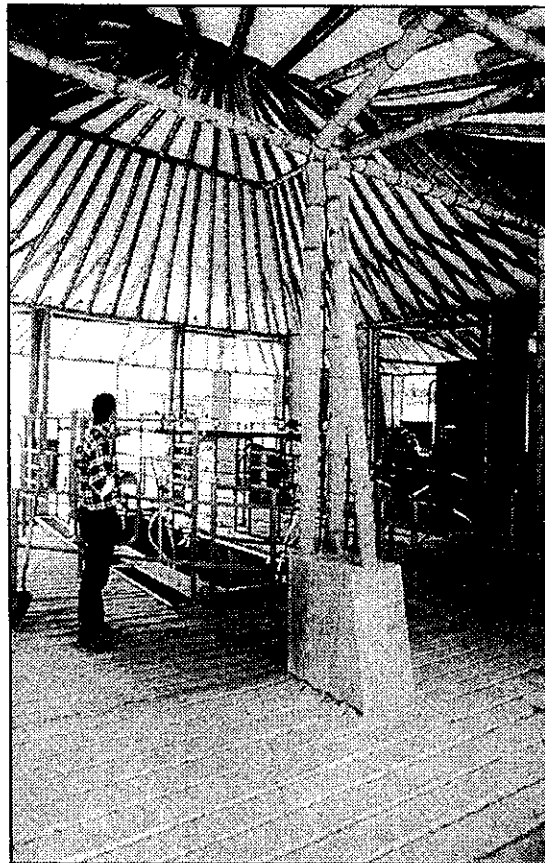
Aplicación del bambú en la estructura de un restaurante.



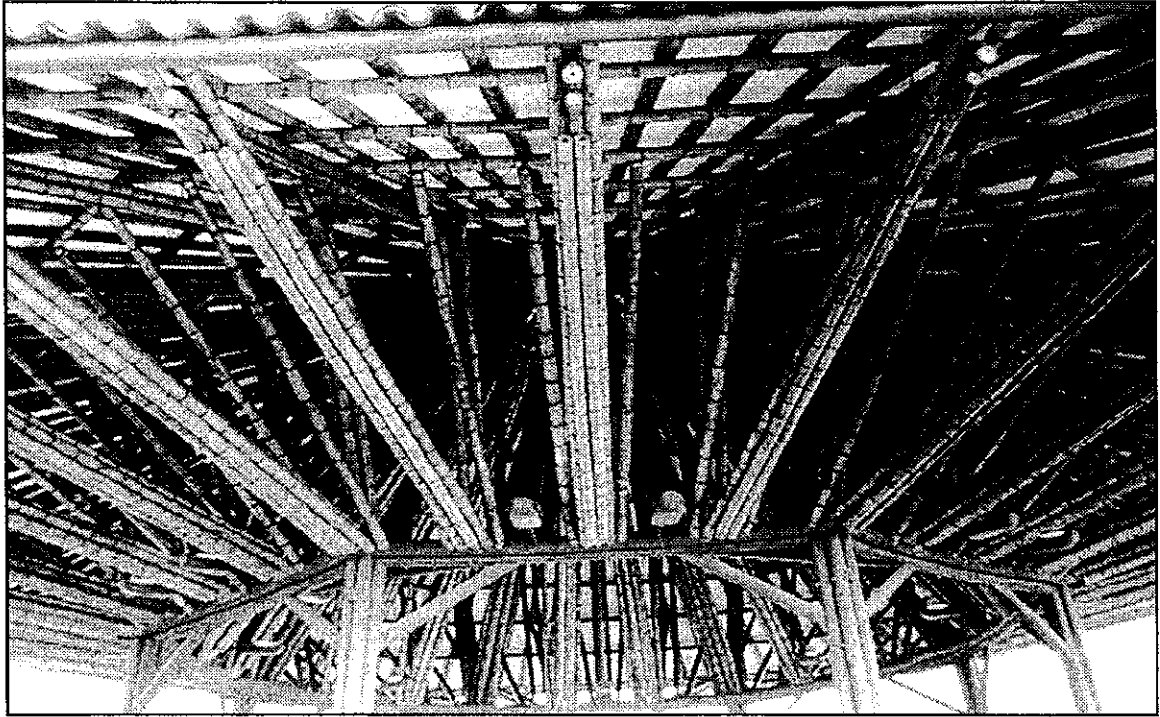
Por su textura, color y forma el bambú combina con otros materiales.



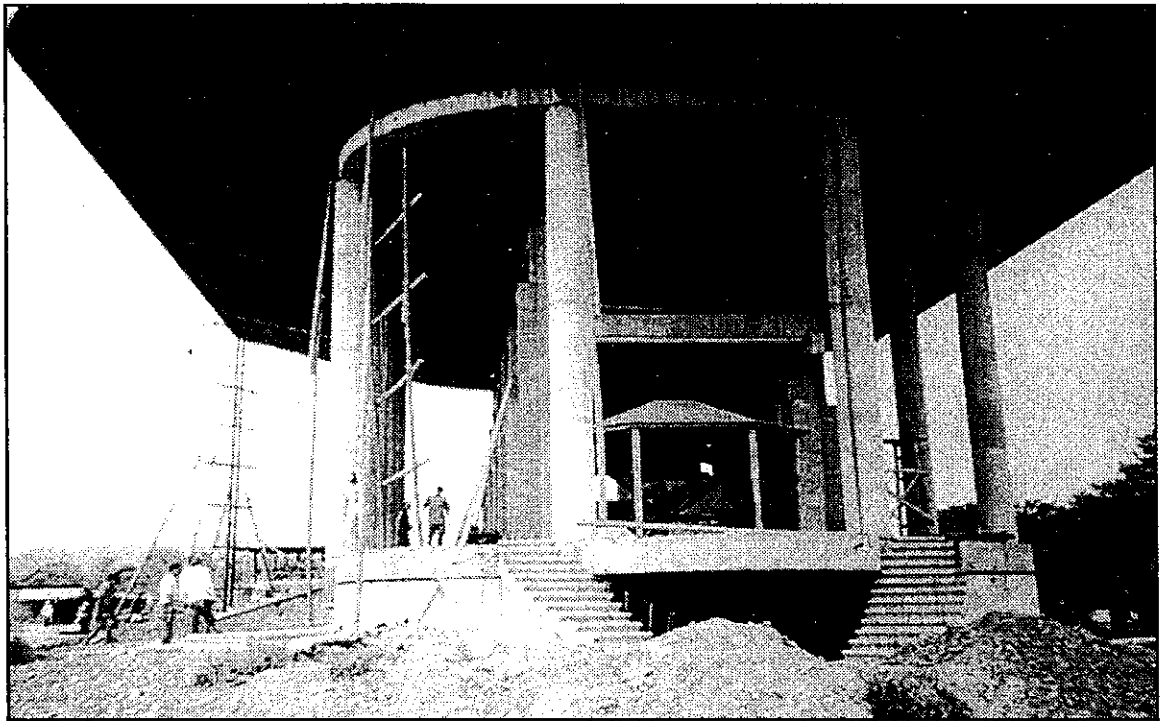
El bambú se aplica en el campo y la ciudad.



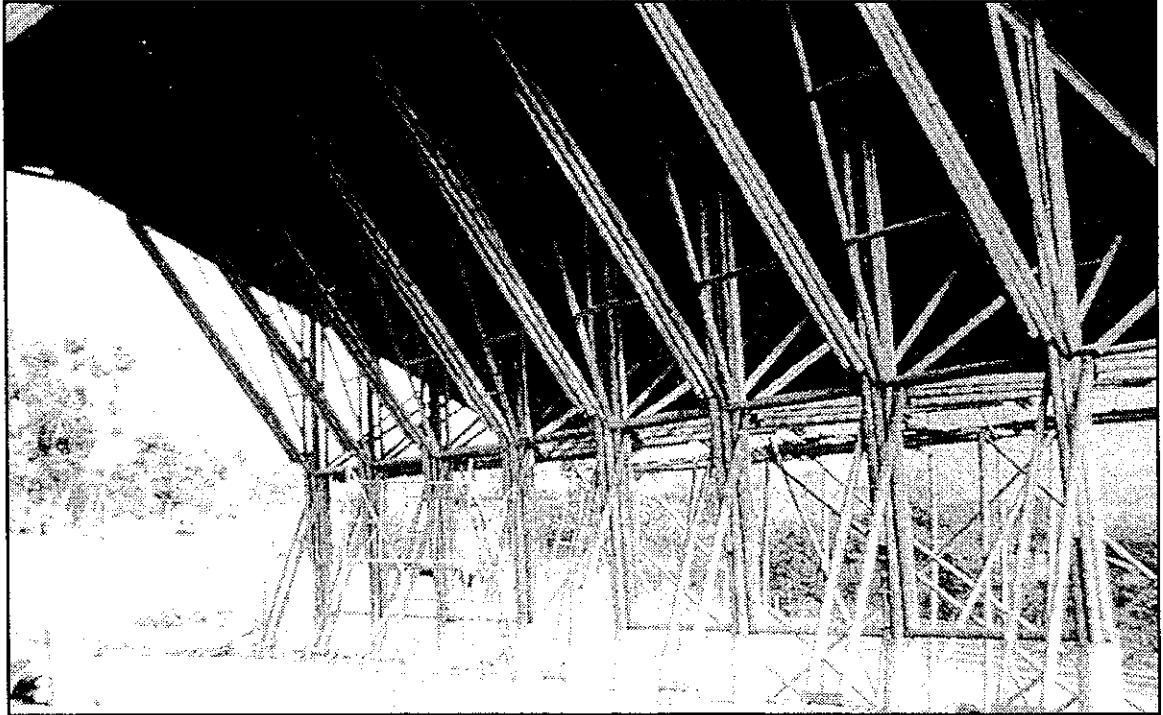
La parte basal se emplea en columnas y vigas principales, la parte intermedia en parales, soleras y la parte apical en tendales de techos.



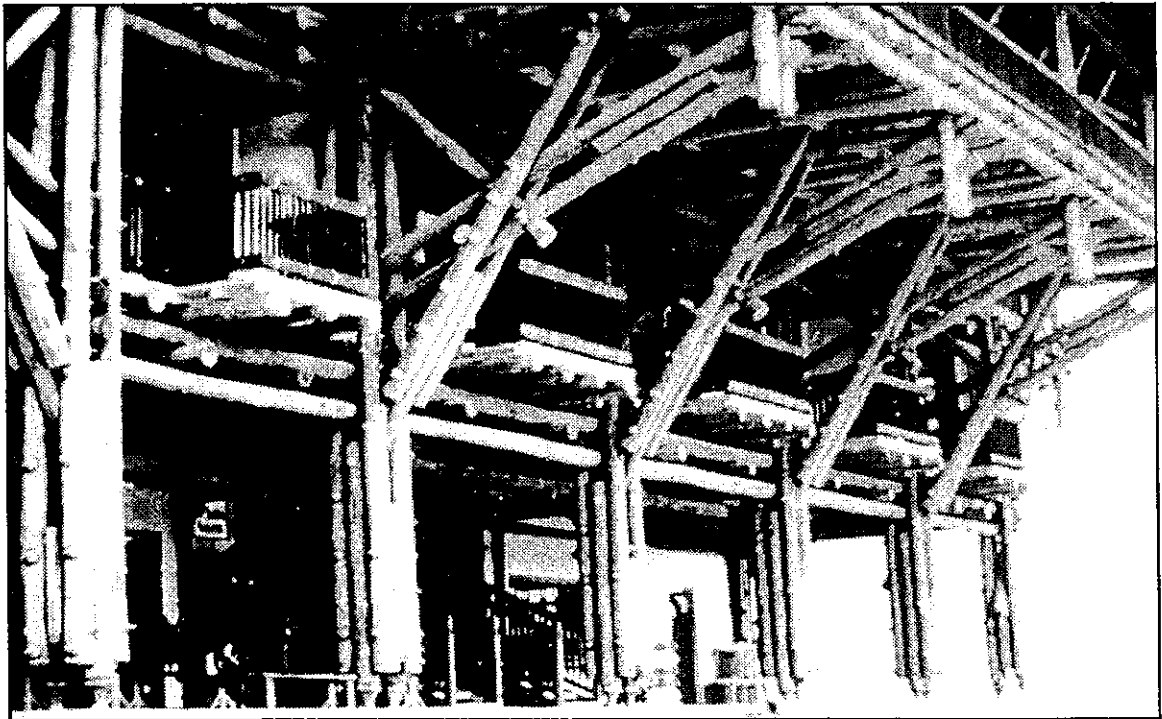
Solución estructural para una edificación.



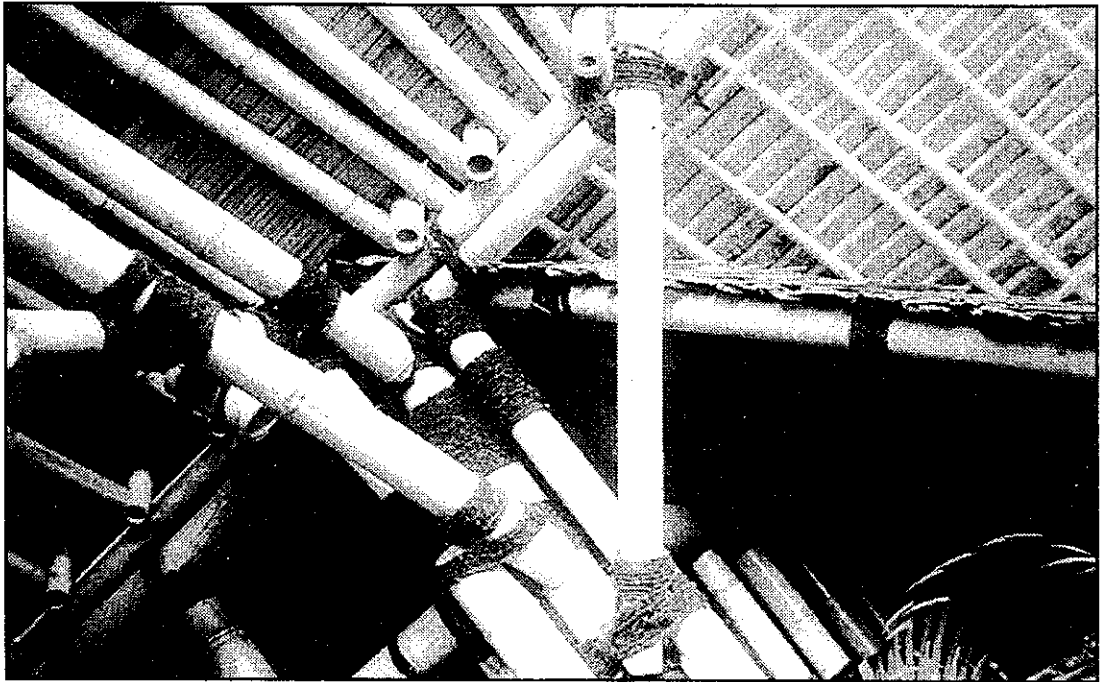
El bambú se encuentra a la altura de cualquier material de construcción.



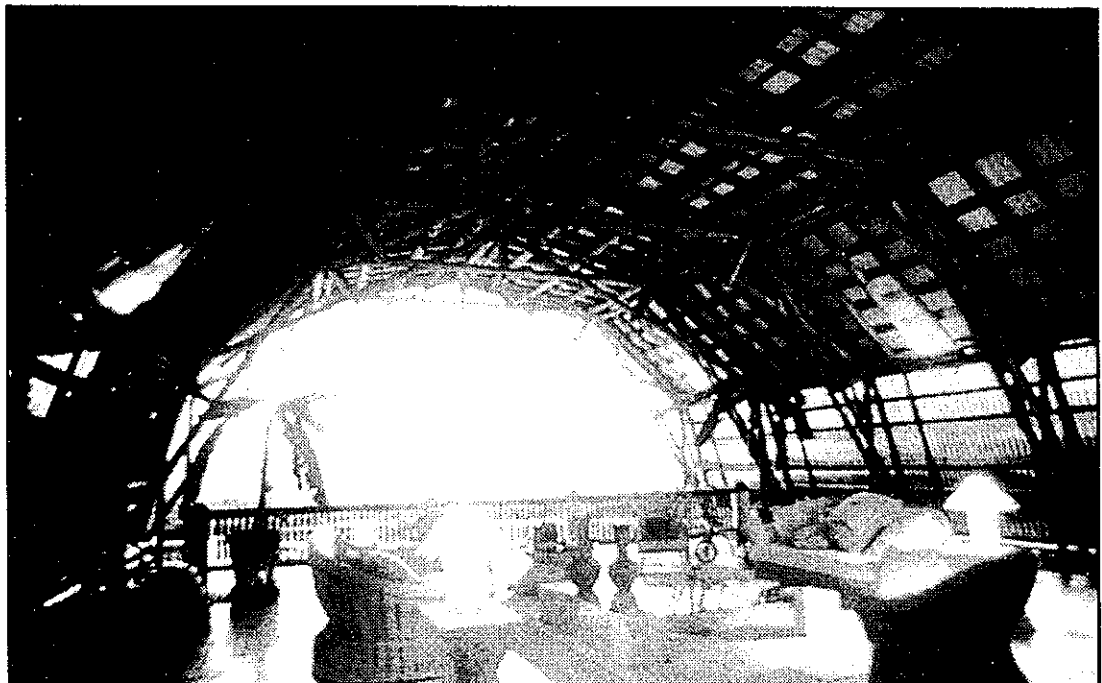
La especie *Bambusa guadua* se aplica en estructuras de grandes luces.



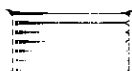
El bambú es el único recurso natural que puede reemplazar al hormigón o al acero.



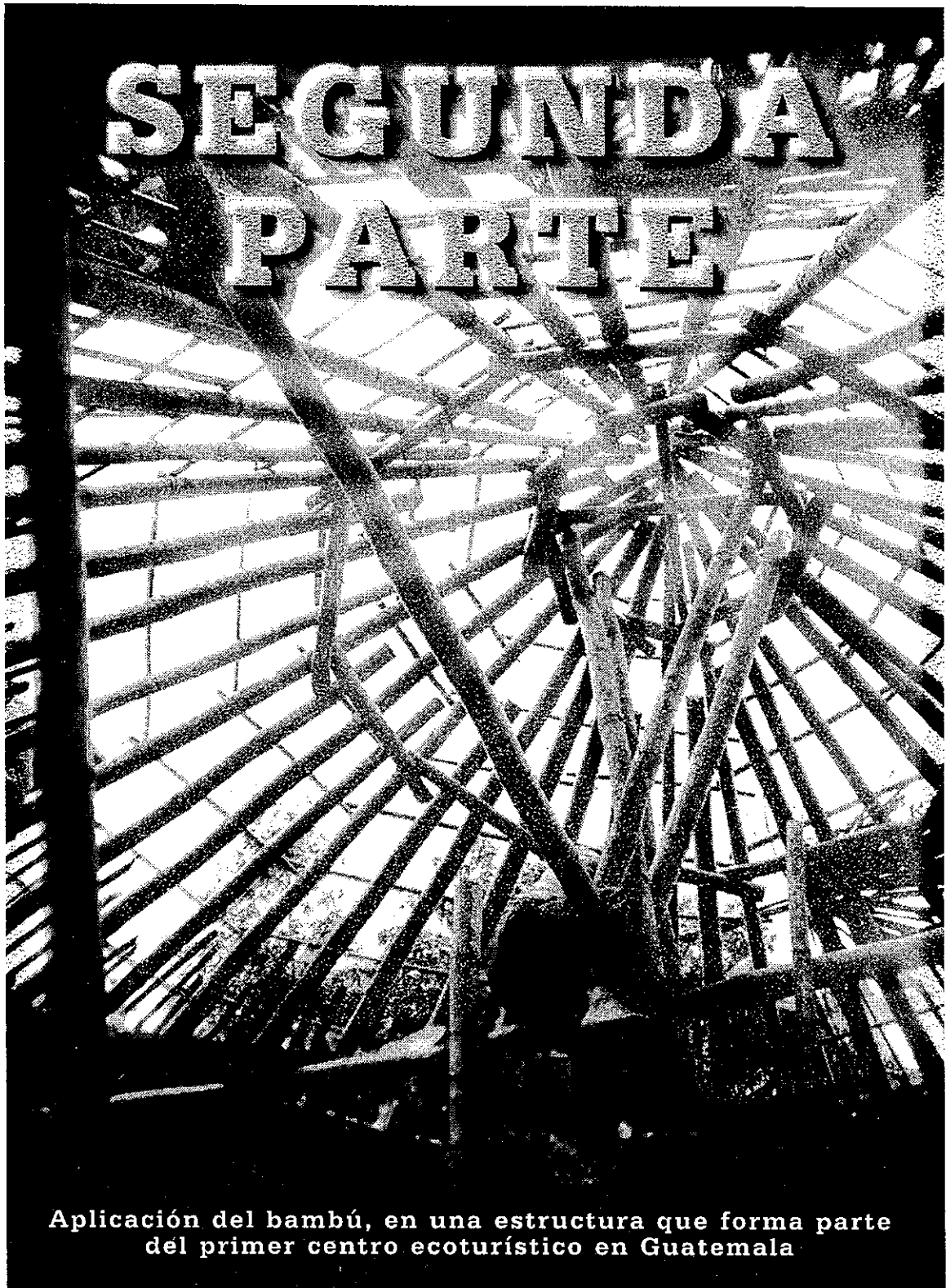
**Las uniones son el mayor problema con que cuenta el bambú,
es por ello que investigadores le están dedicando tiempo.**



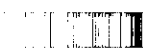
**El arquitecto colombiano Simón Vélez, ha logrado construir modernas estructuras
arquitectónicas, capaces de cubrir grandes exigencias.**



SEGUNDA PARTE



Aplicación del bambú, en una estructura que forma parte
del primer centro ecoturístico en Guatemala



4. PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE 13 ESPECIES DE BAMBÚ LOCAL

Para poder utilizar técnicamente el bambú como material de construcción en Guatemala es indispensable conocer las propiedades físico-mecánicas que permitan determinar los esfuerzos permisibles, con el fin de desarrollar un análisis estructural adecuado y poder utilizar racionalmente el bambú y hacer más económica la práctica constructiva.

Las Facultades de Agronomía e Ingeniería de la USAC, por medio del Laboratorio del Centro de Investigaciones de Ingeniería, han realizado varios ensayos para determinar las propiedades físico-mecánicas de varias especies de bambú local. El ingeniero Juan Francisco Urrutia sienta las bases para poder ejecutar los ensayos y crea un modelo para la realización de los mismos, con el fin de unificar criterios y tener valores comparativos con los ensayos posteriores. Este capítulo reúne los valores obtenidos en los diferentes ensayos realizados sobre las propiedades físico-mecánicas de varias especies de bambú. Para la obtención de los valores, se adoptaron en lo posible las Normas de la American Society for Testing and Materials (ASTM-143) de pruebas en maderas.

El material usado en los diferentes ensayos se obtiene en su mayoría de la vertiente del pacífico, área en donde existe la mayor cantidad de variedades de bambú y es accesible para los estudiantes. Específicamente en los Departamentos de Guatemala, Santa Rosa, Jutiapa y Suchitepéquez. En la tabla 1, se presentan las características cuantitativas más importantes de las 13 especies de bambú.

4.1 Características de las especies.

4.1.1 *Bambusa arundinacea* Schreder

De esta especie, se ha evaluado material extraído de dos localidades diferentes; la primera en la finca Chocolá en el Municipio de San Pablo Jocopilas y la segunda en la finca Bulbuxyá en el Municipio de San Miguel Panám, ambos Municipios del Departamento de Suchitepéquez.

En la finca Chocolá se obtuvo *bambusa arundinacea* Schreber. Esta especie (25. 22) es nativa de la India, su rizoma es del tipo paquimorfo, se encuentra en macollas de tallos compactos y arqueados apicalmente. Los tallos son de color verde pálido, semilustrosos, semifinos, con entrenudos de longitud moderada, huecos, los basales poco inflados, con nudos prominentes y de pared gruesa. Las hojas caulinares copulal, beige, ligera cantidad de setas orales exteriormente, lisa en el interior, con una franja café oscura en la parte superior, con pubescencia fina, lígula triangular, café oscura. Las ramas solitarias en la parte baja del tallo, con hojas reducidas a espinas en gran cantidad. En la parte media y apical del tallo se encuentran tres ramas principales y dos secundarias con hojas reducidas a espinas en ángulo de 70° y filotaxia alterna opuesta. Las hojas verdes, lineal-lanceoladas de 12.6 cm de largo y 1.9 cm de ancho, ligera pubescencia en el haz, ligera en el envés, veneración deprimida en el haz.

En la finca Bulbuxyá, esta especie (27. 18) tiene algunas diferencias con relación a la anterior. Los tallos son de color verde con manchas amarillas, opacos ásperos, con presencia de raíces adventicias, con presencia de garfios de tipo caulinar, ligeramente inflados alrededor de 11.0 a 16.0 cm. Hoja caulinar decidua o tardíamente decidua, ampliamente triangular, cuando seca es quebradiza, presenta manchas cafés; lígula ondulada. Con ramas principales no compacta, con espinas, no decumbente, con presencia de ramas secundarias y terciarias reducidas a espinas. Hoja funcional de 13.6 cm de largo y 1.8 cm de ancho, filotaxia alterna (180°), forma lineal-lanceolada, venación en el lado inferior, la vena media y secundaria visible.

4.1.2 *Bambusa guadua* Humboldt y Bonpland. (*Guadua angustifolia* Kunth)

De esta especie se ha evaluado material extraído de la finca Chicolá del Departamento de Suchitepéquez. Esta especie (42. 29) es nativa del sureste suramericano, particularmente de Colombia y Ecuador. Su rizoma es de tipo paquimorfo o simpodial, se encuentra en grupos de tallos abiertos, arqueados apicalmente. Los tallos de color verde oscuro, una banda pubescente arriba de los nudos, blanquecina, de 1 a 1.5 cm de ancho. Entrenudos cortos en la parte inferior (17 cm), longitud de 43.0 cm en la media, deprimidos en las axila de la rama, lisos, lustrosos y finos. La hoja caulinar grande ampliamente triangular café oscuro, por la fuerte cantidad de setas orales en su exterior y lisa en el interior. Las ramas basalmente solitarias, en la parte media 2 a 3, ángulo de 60° respecto al tallo. Hojas verde pálido, oblongo-lanceolada, de 11.0 cm de largo y 9.0 cm de ancho, lisas en el haz, ligeramente pubescentes en el envés. Espinas en gran cantidad, principalmente en las ramas basales.

4.1.3 *Bambusa textilis* McClure

Se ha evaluado material extraído de la finca Chicolá, del Departamento de Suchitepéquez. Esta especie (24. 39) es nativa de la India, su rizoma es de tipo paquimorfo, se encuentra en macollas de tallos muy compactos y arqueados apicalmente. Los tallos de color verde musgo, con pelucilla blanca en los entrenudos, con entrenudos largos, huecos, no inflados, semilustrosos y finos. La hoja caulinar es angostamente triangular, café claro, con ligera cantidad de setas orales (pubescencia punzante) en el exterior y lisa en el interior, la lígula cónica. Las ramas en número de 10-12 forman un abanico en los nudos superiores en ángulo de 45° y filotaxia alterna-opuesta. Las hojas verdes, lineal-lanceoladas, de 13.0 cm de largo y 2.2 cm de ancho, lisas en el haz, ligeramente pubescente en el envés.

4.1.4 *Bambusa tulda* Roxburg

De esta especie se ha evaluado material extraído de dos localidades diferentes; la primera en la finca Chocolá y la segunda en la finca Bulbuxyá, ambas fincas en el Departamento de Suchitepéquez.

En la finca Clocolá, se obtuvo *Bambusa tulda* Roxburg, misma que se obtuvo en la finca Bulbuxyá, esta especie (42.28) es nativa de la India, su rizoma es de tipo paquimorfo, se encuentran en macollas de tallos compactos, arqueados apicalmente. Los tallos son de color verde musgo, con entrenudos huecos, opacos, semifinos. La hoja caulinar triangular, lígula esférica acumulada, aurículas esféricas, dicitua, café claro, cubierta de setas orales en la parte exterior. Las ramas desiguales en número de 3 a 5, ángulo de 60° respecto a el tallo. Las hojas verdes, lineal lanceoladas, 28.0 cm de largo y 3.6 cm de ancho, ligera pubescencia blanca azulosa en el envés, lisas en el haz.

4.1.5 *Bambusa tuldoides* Munro

De esta especie se ha evaluado material extraído de tres localidades diferentes; la primera en la finca Chocolá, la segunda en una parcela propiedad privada en el Municipio de Jutiapa, del Departamento de Jutiapa y la tercera en aldea Las Cabezas en el Municipio de Oratorio, del Departamento de Santa Rosa.

La *Bambusa tuldoides* Munro (25. 22) es considerada nativa del sureste de China, su rizoma es de tipo paquimorfo, se encuentra en macollas de tallos semi compactas casi erectos. Los tallos son de color verde oscuro, pelucilla blanca azulosa en los entrenudos, huecos, lisos, semilustroso y finos. La hoja caulinar de forma triangular, color beige, ligera cantidad de setas orales, finas en el exterior y corrugaciones en el interior, lígula aguda. Las ramas, una principal y dos secundarias, presentes desde la parte baja de los tallos, formando un ángulo de 45° respecto al tallo, en filotaxia alterna-opuesta. Las

hojas verdes lineal-lanceoladas de 13.1 cm de largo y 1.8 cm de ancho, lisas en el haz, ligera pubescencia en el envés.

4.1.6 *Bambusa vulgaris* (Var striata) Schreder

De esta especie se ha evaluado material extraído de cuatro localidades diferentes; la primera en la finca Chocolá, la segunda en la parcela propiedad privada del Municipio de Jutiapa, Departamento de Jutiapa, la tercera en la finca Bulbuxyá y la cuarta en la finca Rancho Alegre del Municipio Río Bravo, del Departamento de Suchitepéquez.

La *Bambusa vulgaris* var. *striata*, esta especie (24. 69) es nativa de Madagascar y la India, su rizoma es del tipo paquimorfo, se encuentran en grupos de tallos abiertos, arqueados apicalmente, amarillo-verde, generalmente el verde se encuentra formado de una a tres vetas de diferentes anchos, presentan pubescencia dura y fina en algunos entrenudos. Los entrenudos son cortos, huecos, poco inflados, lustrosos y finos, principalmente los basales. Las hojas caulinar copulal, café claro, fuerte cantidad de setas orales en el exterior, lisa en el interior, la lígula triangular. Las ramas en número de tres, una principal y dos secundarias, presentes desde la parte baja del tallo en ángulo de 70° y filotaxia alterna-opuesta. Las hojas verdes, lineal-lanceoladas de 27.3 cm de largo y 2.9 cm de ancho, ligeramente pubescentes en el haz y envés, la venación deprimida en el haz.

4.1.7 *Chusquea pittieri* Hack

Se ha evaluado material extraído de dos localidades del Municipio de Santa Elena Barillas en el Departamento de Guatemala; una de ellas en la finca Milagro.

Esta especie (25. 25) tiene rizoma tipo paquimorfo, se encuentra en macollas, de tallos relativamente abiertos, erectos o suberectos apicalmente. Los tallos son compactos, opacos, semilisos, oscuramente, arqueados arriba de la intersección de las ramas y nudos ligeramente inflados. Hoja caulinar decidua, mucho más grande que el entrenudo, parecida a papel fino cuando seca, oblonga triangular, con venación estriada, de color café. Rama primaria, trepadora alterna opuesta, con varias ramas complementarias, más pequeñas y delgadas que la principal. Vaina de la hoja funcional estriada, poco compresada en el ápice y poco traslapada, setas orales blancas, numerosas, transparentes, hoja funcional de 11.3 cm de largo y 1.0 cm de ancho, filotaxia alterna-opuesta, lanceolada o linear lanceolada, textura áspera, hispida sobre un lado de la vena central en la base de la hoja, sobre el envés, venación, la vena media visible en el haz y envés sobre el lado inferior.

4.1.8 *Gigantochloa apus* (Schult.) Kurz

Se ha evaluado material extraído de la finca Chicolá, Departamento de Suchitepéquez, esta especie (38. 21) es originaria de Malasia, muy difundida en Java, Surinam y Tailandia. Su rizoma es de tipo paquimorfo, crece en macollas con tallos compactos, arqueados apicalmente. Sus entrenudos de color verde musgo, semilustrosos, opacos y con pubescencia en los nudos.

4.1.9 *Gigantochloa aspera* (Schult.) Kurz

De esta especie se ha evaluado material extraído en el kilómetro 120 Río Bravo, Municipio de Santa Bárbara, Departamento de Suchitepéquez. Su rizoma es de tipo paquimorfo, forman macollas, de tallos compactos erectos. Los tallos son de color verde, huecos y con pubescencia a todo lo largo (38.22).

4.1.10 *Gigantochloa verticillata* Munro

De esta especie se ha evaluado material extraído de dos localidades diferentes; la primera de la finca Chocolá y segunda de la finca Bulbuxyá, ambas fincas en el Departamento Suchitepéquez.

Esta especie (24. 77) es nativa de Java, su rizoma es de tipo paquimorfo, se encuentra en macollas de tallos con crecimiento compacto, arqueados apicalmente. Los tallos son de color verde oscuro, los entrenudos largos, lisos, semilustrosos y semifinos. La hoja caulinar ampliamente copulal, café, fuerte cantidad de setas orales en el exterior, lisa en el interior, la lígula en forma triangular. Las ramas, una principal y de 2-6 secundarias, presente en la parte superior de los tallos, en ángulo de 45° y filotaxia alterna-apuesta. Las hojas verdes, lineal-lanceolada de 36.4 cm de largo y 6.2 cm de ancho, presenta ligera y fina pubescencia en el haz y envés, la venación deprimida en el haz.

4.1.11 *Melocanna baccifera* Trinius

De esta especie, se ha evaluado material extraído de la finca Chocolá, Departamento de Suchitepéquez. Esta especie (24. 72) es nativa de Birmania, Paquistán oriental y la India, su rizoma es de tipo paquimorfo, se encuentra en grupos de tallos delgados y abiertos, arqueados apicalmente. El tallo es de color verde pálido y jóvenes, por lo que no han alcanzado su máximo desarrollo. Los entrenudos largos, huecos, lisos, lustrosos, finos, color anaranjado en la parte próxima superior al nudo y se presentan algunos tallos con moteado blanco. La hoja caulinar cuneiforme, beige, lisa de setas orales en el exterior, lisa en el interior, lígula larga, lanceolada. Las ramas, tres principales y 12 - 15 secundarias, presentes desde la parte baja del tallo, en ángulo de 30° y filotaxia alterna-opuesta. Las hojas verdes, oblongo-lanceoladas, 33.1 cm de largo y 5.4 cm de ancho, lisas en el haz, ligera pubescencia azulada en el envés, venación deprimida en el haz.

4.1.12 *Phyllostachys bambusoides* Siebold y Zuccarini

De esta especie se ha evaluado material extraído de la finca Chicolá, Departamento de Suchitepéquez. Esta especie (24. 83) es nativa de la China, su rizoma es de tipo leptomorfo, se presenta en grupo de tallos bastante abiertos erectos. Los tallos de color verde oscuro, pelucilla blanca en los entrenudos. Los entrenudos cortos, huecos, poco inflados, opacos, semifinos, algunos tallos presentan entrenudos arqueados, nudos poco inflados. La hoja caulinar triangular, café claro, con manchas café oscuro que guardan cierta simetría, delgada, quebradiza, ninguna pubescencia, la lígula pequeña, triangular y generalmente de color oscuro. Las ramas en número de dos, presentes en la parte superior de los tallos en ángulo de 40° y filotaxia alterna-opuesta. Las hojas verdes, oblongo-lanceoladas de 13.5 cm de largo y 4.0 cm de ancho, ligera pubescencia en el haz y envés, venación deprimida en el haz.

4.1.13 *Schizostachyum pseudolima* MrClure

De esta especie se ha evaluado material extraído de la finca Chicolá, Departamento de Suchitepéquez. Esta especie (38. 22) es nativa de las Filipinas, su rizoma es de tipo paquimorfo, se encuentran en macollas con tallos compactos, erectos. Los tallos de color verde musgo.

Tabla 1

Características cuantitativas más importantes de 13 especies de bambú				
Especie	Longitud del tallo a/s (m)	Longitud del 5to. entrenudo a/s (cm)	Diámetro del 5to. entrenudo a/s (cm)	Esp. de pared del 5to. entrenudo a/s (mm)
B. arundinacea	16.0	32.1	4.9	13.0
B. arundinacea*	20.0 - 24.0	15.0 - 18.0	10.0 - 15.0	20.0 - 35.0
B. guadua	20.3	19.3	13.5	30.0
B. textilis	16.3	57.0	6.2	7.0
B. tuida	17.8	58.0	7.2	10.0
B. tuldoides	13.0	46.0	4.9	9.0
B. vulgaris	11.5	23.0	6.0	14.0
C. pittieri	18.0	15.0 - 25.0	3.0 - 5.0	7.0
G. apus	18.0 - 22.0	56.0	8.5 - 9.0	12.0
G. aspera	20.0 - 30.0	27.0	20.0 - 25.0	20.0 - 30.0
G. verticillata	17.4	56.0	9.7	11.0
M. baccifera	12.5	57.3	4.4	4.0
P. bambusoides	8.6	23.4	2.7	5.0
S. pseudolima	10.4	66.0	2.0 - 4.0	6.0

Notas:
 B. = Bambusa, C. = Chusquea, G. = Gigantochloa, M. = Melacanna, P.= Phyllostachys,
 S. = Schizostacyum.
 a/s= a partir del suelo
 * Estas características pertenecen a la especie que se obtuvo en la finca Bulbuxyá.

4.2 Propiedades físicas

4.2.1 Contenido de humedad

El contenido de humedad varía en el interior del tallo y está influenciado por la edad, la época de corte y las características propias de la especie. Con un año de edad los cogollos tienen un contenido de humedad relativa de alrededor de 120 - 130%. Los nudos presentan valores más bajos que los entrenudos, con diferencias de contenido de agua hasta el 15%, siendo más significativa en la parte basal que en la apical. En los tallos maduros el contenido de humedad en la base es más alto que en la parte apical (1. II-121).

Es importante mencionar que la estructura de la pared es diferente en el interior del tallo, lo que conlleva a tener variación también en el contenido de humedad, siendo mayor en la parte interna y menor en la externa.

El período estacional tiene una gran influencia en el contenido de humedad en el tallo, con un mínimo en el período seco y seguido por un máximo en el período lluvioso, época durante la cual el tallo puede doblar el contenido de humedad. El contenido de humedad del bambú se expresa como un porcentaje de su peso seco al horno. Los datos que se mencionan en el presente trabajo se obtuvieron, cada uno, en el momento de realizar los ensayos físico-mecánicas.

4.2.2 Contracción

Las variaciones en el contenido de humedad producen cambios dimensionales en el bambú, estos cambios se deben a la pérdida o ganancia de agua higroscópica en la pared. El bambú sufre cambios en longitud, anchura y espesor de pared los cuales son aproximadamente proporcionales al contenido de agua del material por encima del punto de saturación de las fibras (1. II-122).

Cuando la humedad del bambú se equilibra con la del ambiente la contracción cesa. En los diferentes ensayos realizados en la USAC, sobre las propiedades mecánicas de varias especies de bambú, por lo general se logra estabilizar el contenido de humedad en un tiempo mínimo de 8 semanas a partir del corte, posteriormente la disminución en el contenido de humedad es mínima.

Para poder medir los cambios dimensionales del bambú, presentados durante el secado, se elaboraron dos tipos de probetas, en la primera se cortaron cuadros de 4 cm de lado y en la segunda anillos de 2.54 cm.

4.2.3 Peso específico

Esta propiedad física resulta útil para tener una idea del peso del bambú por unidad de volumen. El peso específico difiere en cada especie y también varía entre los tallos de una misma especie, en los diversos tramos del tallo, así como en las partes internas y externas del mismo.

Debido a la menor cantidad de parénquima en los nudos, el peso específico es generalmente más alto que en los entrenudos. En consecuencia y por la irregularidad en la disposición de la fibra, los nudos conducen a una importante reducción en la capacidad de resistencia a los diferentes esfuerzos (1. II-124). El valor del peso carece de significado a menos que se especifiquen las condiciones del cálculo. Los datos que se mencionan se obtienen de los cilindros de bambú utilizados en los ensayos a compresión.

4.3 Propiedades mecánicas

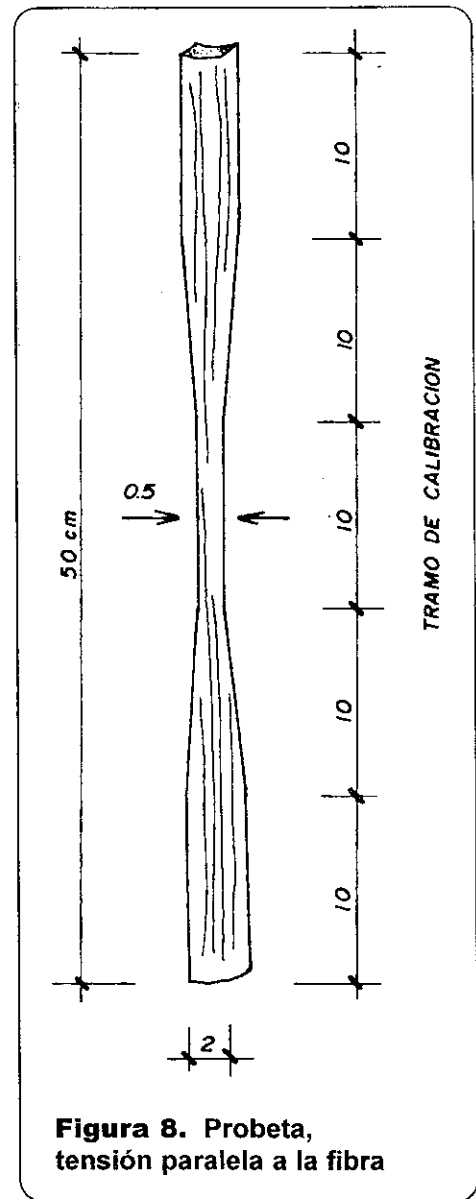
4.3.1 Tensión paralela a la fibra y módulo de elasticidad

La mayor propiedad mecánica que posee el bambú es su alta resistencia a la tensión paralela a la fibra, es por ello que en algunos países lo utilizan en cables, para sostener grandes puentes colgantes soportando éstos esfuerzos a tensión. Además ha sido aprovechado como material de refuerzo en el concreto.

El bambú posee una mayor capacidad de resistencia a los esfuerzos de tensión paralela a la fibra, en la parte exterior de la pared del tallo que en el interior. Con relación a la sección transversal los tallos delgados presentan más resistencia que los tallos gruesos.

En la práctica ejercer tensión longitudinal a una probeta de bambú o madera, es poco común. Esto radica en la dificultad de ajustar o agarrar suficientemente los extremos para poder desarrollar durante el ensayo un esfuerzo puramente tensivo al miembro. Esta dificultad se manifiesta por la baja capacidad de resistencia al esfuerzo cortante y al clivaje que posee el bambú y que se producen en los agarres de las probetas (42. 34).

En los ensayos realizados en el Laboratorio de la Facultad de Ingeniería de la USAC, por lo general muchas probetas fallaron primero en la parte correspondiente a la zona interna del tallo. En cuanto a las pro-

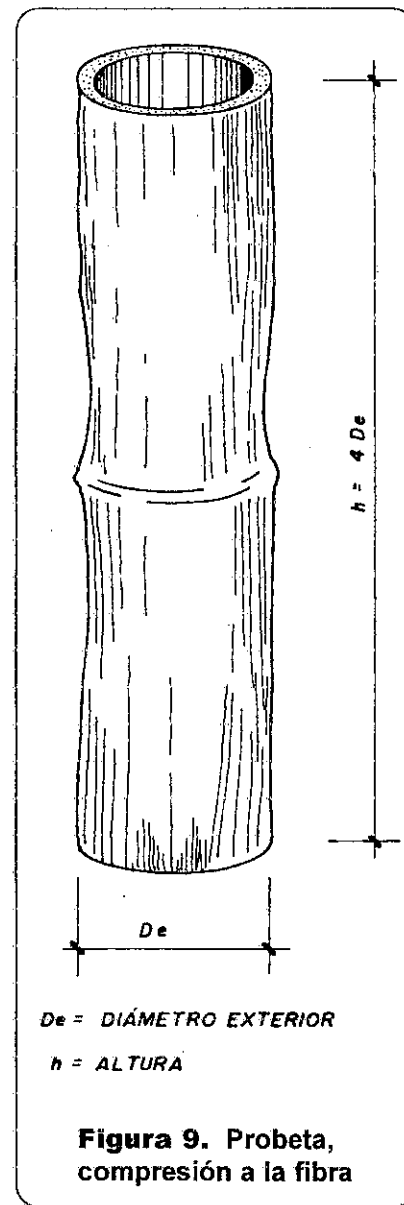


betas libres de nudos, el modo de falla de la mayoría fue ocasionado por deslizamiento o flujo de planos paralelos a las fibras en direcciones opuestas. El desplazamiento de los planos paralelos a la fibra ocurrió bajo la acción de esfuerzos cortantes. En cambio, más de la mitad de las probetas con nudo al centro fallaron por tensión en el mismo. Las muestras cuyos nudos coincidían con las mordazas de la máquina fallaron por tensión del nudo dentro del agarre (42. 34).

4.3.2 Compresión paralela a la fibra y módulo de elasticidad

Gran parte del bambú aplicado en la construcción está sometido a esfuerzos de compresión paralela a la fibra, por ejemplo; en columnas, parales, soportes y otros, los cuales están sujeto a cargas que tienden a aplastar o acortar los miembros longitudinalmente.

La resistencia a la compresión del bambú es relativamente alta, pero carece de significado sino se especifica el grado de sazonomiento y la relación entre la longitud y el diámetro del elemento. Es importante definir el grado de sazonomiento puesto que, como en la madera, la humedad disminuye la rigidez de las células fibrosas, trayendo consigo una disminución de las propiedades mecánicas, sobre todo en compresión y flexión. Si la longitud del tallo es suficientemente grande con relación a la sección transversal mínima, la resistencia bajo cargas compresivas disminuye considerablemente por efecto de flexión lateral o pandeo. Por ende, una



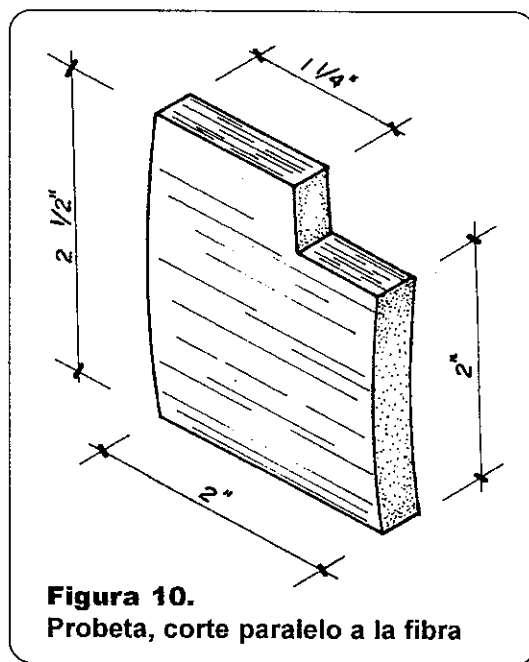
falla a flexión lateral se produce antes que se desarrolle por completo la resistencia a la compresión (42. 35).

No existe diferencia entre la zona del nudo y del entrenudo al evaluar probetas a compresión paralela a la fibra. La falla se puede presentar por aplastamiento, con el plano de ruptura aproximadamente horizontal o por rajadura paralela a la fibra, presentándose esta última principalmente en probetas sin nudos. Las probetas de ensayo tienen una altura equivalente a cuatro veces el diámetro exterior.

4.3.3 Corte paralelo a la fibra

El esfuerzo cortante es una medida de la capacidad que tiene el bambú en soportar fuerzas que tienden a producir deslizamiento de una porción del material con relación a otra porción adyacente. El corte es una fuerza que actúa paralelamente a un plano, todo lo contrario a la tensión y compresión paralela a la fibra que son perpendicularmente al área considerada. La fractura por corte es muy diferente de la tensión y compresión paralela a la fibra, puesto que no hay reducción localizada del área ni alargamiento (42. 36).

El empleo del bambú en la construcción involucra la presencia de esfuerzos cortantes en mayor o menor grado y las fuerzas que los producen pueden actuar a lo largo de la fibra, a través de la fibra y en forma inclinada o en diagonal a la misma. En tallos con paredes de 10 mm de espesor, el esfuerzo cor-

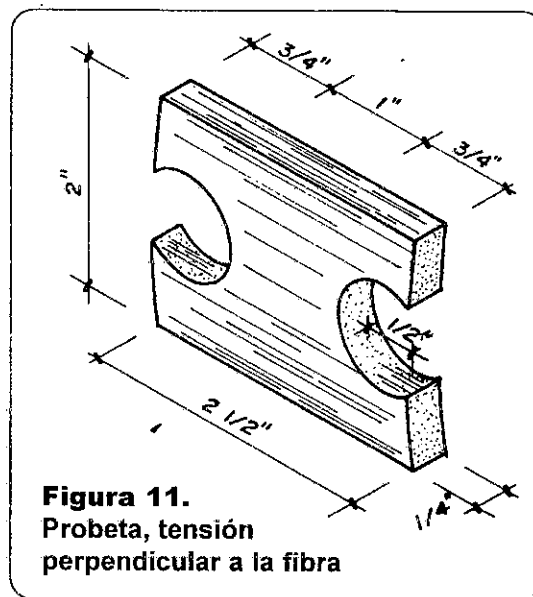


tante es aproximadamente un 11% más bajo que para tallos con paredes de 6mm de espesor, debido a la mayor distribución de fibras fuertes en la sección transversal. Estudios comparativos de resistencia a esfuerzos de tensión, flexión y cortante en maderas de roble, pino, abeto y bambú, demuestra que éste último es tan fuerte como las otras maderas en tensión y flexión, pero más débil al corte. El cortante de las maderas mencionadas oscila entre un 20 y 30% del esfuerzo a compresión, en tanto que el cortante en el bambú corresponde a un 8% del esfuerzo a compresión (1. II-138).

El esfuerzo de corte debe ser tomado muy en cuenta especialmente en diseños de uniones o juntas. La mayoría de estos elementos constructivos están sujetos a corte paralelo a la fibra. Para corte perpendicular a la fibra no ocurre falla directa en el plano de la sección transversal, en vista de que las otras propiedades hacen que la falla ocurra en alguna otra forma, causado por aplastamiento a través de la fibra. El efecto del corte diagonal se puede observar en los planos inclinados de falla en columnas cortas ensayadas a compresión. En los ensayos de corte paralelo a la fibra, el tipo de falla que generalmente ocurre es paralela a la fibra, de superficie plana y lisa.

4.3.4 Tensión perpendicular a la fibra

La tensión perpendicular a la fibra es la disgregación de las fibras por fuerzas que actúan perpendicularmente a las mismas, se relaciona estrechamente al clivaje por la acción de hender o separar el bambú a lo largo de la fibra. También está vinculado al fenómeno del agrietamiento



superficial, del que son más o menos propensas todas las especies de bambú durante el secado. Por lo general las grietas o rajaduras en la superficie se presentan cuando los esfuerzos que se crean durante el período de secado exceden a la resistencia del bambú en tensión perpendicular a la fibra. Es por ello que el bambú tiende a rajarse al uso de clavos o clavaje para asegurar las uniones (42. 37). En los ensayos de tensión perpendicular a la fibra todas las probetas fallaron por separación de las fibras, debido a la acción inducida por los esfuerzos a tensión.

4.3.5 Clivaje

La resistencia al clivaje se utiliza para medir la resistencia que ofrece el bambú al desgarramiento. Se expresa como la fuerza necesaria para provocar la falla por unidad de longitud (kg/cm). Una baja resistencia al clivaje favorece el corte longitudinal de los tallos, mientras que un alta resistencia es requerida para uniones con pernos, clavos y otros. En los ensayos, el tipo de falla fue por separación de la fibra.

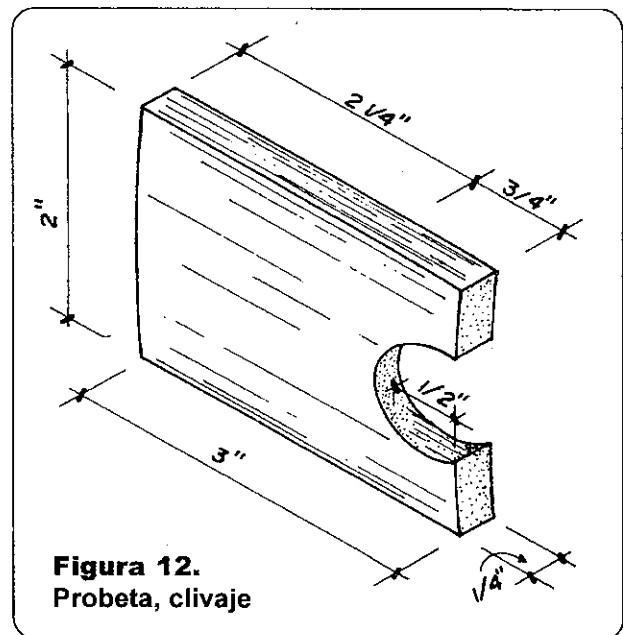


Tabla 2

Contenido de Humedad y peso específico aparente (Resumen de ensayos)					
Especie	Parte del tallo	Media muestral		Lugar	Fuente
		C.H. %	Peso específico (g/cm ³)		
B. arundinacea		14.90	0.56	Finca Chocolá	(25. 55)
B. arundinacea	Basal	17.60	0.34	Finca Bulbuxyá	(27. 84)
	Media	17.59	0.34		
	Apical	17.14	0.33		
B. guadua		14.30	0.62	Finca Chocolá	(42. 76)
B. textilis		15.60	0.77	Finca Chocolá	(42. 76)
B. tulda I		14.80	0.87	Finca Chocolá	(42. 76)
B. tulda II		14.70	0.90	Finca Chocolá	(42. 76)
B. tulda	Basal	17.16	1.38	Finca Bulbuxyá	(27. 84)
	Media	16.58	1.07		
	Apical	14.88	0.89		
B. tuldoides		14.20	0.78	Finca Chocolá	(42. 76)
B. tuldoides		14.60	0.64	Aldea Las Cabezas	(25. 55)
B. vulgaris		16.60	0.69	Finca Chocolá	(42. 76)
B. vulgaris		14.20	0.73	Finca Privada	(25. 55)
B. vulgaris			0.72	Finca Rancho Alegre	(10. 68)
B. vulgaris	Basal	16.78	0.35	Finca Bulbuxyá	(27. 84)
	Media	16.17	0.32		
	Apical	15.67	0.33		
C. pittieri		15.50	0.29	Finca Milagro	(25. 55)
C. pittieri	Basal	16.84	0.32	Santa Elena B.	(38. 37)
	Media	16.69	0.34		
	Apical	15.92	0.34		
G. apus	Basal	14.43	0.76	Finca Chocolá	(38. 37)
	Media	14.09	0.75		
	Apical	13.40	0.74		
G. aspera	Basal	16.20	0.76	Kilómetro 120	(38. 37)
	Media	15.96	0.76		
	Apical	15.52	0.58		
G. verticillata		16.20	0.63	Finca Chocolá	(42. 76)
G. verticillata	Basal	17.14	0.32	Finca Bulbuxyá	(27. 84)
	Media	17.28	0.35		
	Apical	15.51	0.34		
M. baccifera		14.40	0.73	Finca Chocolá	(25. 55)
P. bambusoides		14.60	0.60	Finca Chocolá	(25. 55)
S. pseudolima	Basal	16.65	0.36	Finca Chocolá	(38. 37)
	Media	16.39	0.36		
	Apical	16.13	0.33		

Tabla 3

Contracción en anillos (resumen de ensayos)							
Especie	Parte del tallo	C. H. %	Contracción%				Fuente
			Radial	Tang.	Long.	Vol.	
B. arundinacea	Basal	111.55	8.33		0.47	14.79	(25. 57)
	Media	127.95	7.59		0.47	13.90	
B. guadua	Media	71.10	19.30	6.70	0.60	24.50	(42. 74)
B. textilis	Basal	33.30	5.70	5.70	1.10	10.80	(42. 74)
	Apical	19.00	3.10	4.80	1.20	9.00	
B. tulda I	Basal	34.70	8.40	6.00	0.90	13.60	(42. 74)
	Apical	19.40	5.70		0.90		
B. tulda II	Media	24.50	3.70	4.50	0.50	8.60	(42. 74)
B. tuldoides	Basal	38.40	7.80	5.50	1.30	13.70	(42. 74)
	Apical	38.50	5.30	4.80	1.90	11.50	
B. tuldoides	Basal	34.75	8.37		0.38	17.84	(25. 57)
	Media	34.45	5.20		0.34	12.80	
B. vulgaris	Media	45.60	10.80	4.40	0.30	14.50	(42. 74)
B. vulgaris	Basal	75.80	7.98		0.38	14.70	(25. 57)
	Media	54.99	6.53		0.37	11.88	
C. pittieri	Basal	235.70	9.94		0.46	17.09	(25. 57)
	Media	268.06	10.89		0.40	17.44	
G. verticillata	Media	56.80	10.10	6.70	0.30	16.20	(42. 74)
M. baccifera	Basal	62.40	4.85		0.50	9.47	(25. 57)
	Media	58.69	4.72		0.48	8.17	
P. bambusoides	Basal	90.02	4.34			8.14	(25. 57)
	Media	83.08	3.53			7.11	

Tang. = Tangencial, Long. = Longitudinal, Vol.= Volumen

Tabla 4

Contracción en cuadros de 4 cm (Resumen de ensayos)							
Especie	Parte del tallo	C. H.	Contracción%				Fuente
			Radial	Tang.	Long.	Esp.	
B. arundinacea	Basal	100.94		10.31	0.25	15.11	(25. 56)
	Media	111.00		18.13	0.47	8.33	
B. guadua	Media	71.30	22.80	9.30	1.50		(42. 73)
B. textilis	Basal	30.00	6.80		0.90		(42. 73)
	Apical	18.40	3.30	3.40	0.80		
B. tulda I	Basal	35.90	11.90	5.70	1.00		(42. 73)
	Apical	19.80	5.70	3.10	0.90		
B. tulda II	Media	27.20	6.10	3.10	1.30		(42. 73)
B. tulda	Basal	45.39		7.44	1.40	8.60	(25. 56)
	Media	23.93		5.73	0.94	12.02	
B. tuldoides	Basal	40.30	9.10	3.80	1.10		(42. 73)
	Apical	34.90	8.30		1.10		
B. vulgaris	Media	41.60	13.00		1.10		(42. 73)
B. vulgaris	Basal	65.34		8.57	0.40	10.52	(25. 56)
	Media	43.66		11.22	0.34	10.21	
B. verticillata	Media	56.20	11.80	4.00	0.90		(42. 73)
C. pittieri	Basal	180.90		11.34	0.45	36.20	(25. 56)
	Media	157.45		12.85	0.49	36.44	
M. baccifera	Basal	58.06		8.45	0.50	15.90	(25. 56)
	Media			7.14	0.50	11.54	
P. bambusoides	Basal	55.41		6.78		5.57	(25. 56)
	Media	71.55		5.43		4.26	

Tabla 5

Tensión paralela a la fibra y módulo de elasticidad (Resumen de ensayos)							
Especie	Parte del tallo	Media muestral				Lugar	Fuente
		Tensión (kg/cm ²)		Módulo de elasticidad (kg/cm ² *10 ⁵)			
		C.N.	S.N.	C. N.	S. N.		
B. arundinacea	Basal	2019.05				Finca Bulbuxyá	(27. 85)
	Media	1951.48					
	Apical	1912.50					
B. guadua		1023.00	1670.00	1.54	2.31	Finca Chocolá	(42. 77)
B. textilis		1230.00	2844.00	2.64	2.70	Finca Chocolá	(42. 77)
B. tulda I		1554.00	2280.00	2.94	3.18	Finca Chocolá	(42. 77)
B. tulda II		1134.00	2022.00	2.36	3.06	Finca Chocolá	(42. 77)
B. tulda	Basal	2143.85				Finca Bulbuxyá	(27. 85)
	Media	2026.84					
	Apical	2265.48					
B. tuldoides		1506.00	2108.00	2.22	2.17	Finca Chocolá	(42. 77)
B. tuldoides		1062.00	1644.00	1.13	2.20	Aldea Las Cabezas	(25. 62)
B. vulgaris		1323.00	1872.00	1.58	1.75	Finca Chocolá	(42. 77)
B. vulgaris		1689.90	2377.60	1.90	2.50	Finca privada	(25. 63)
B. vulgaris		2023.00	1356.00	1.65	2.25	Finca Rancho Alegre	(10. 69)
B. vulgaris	Basal	1505.70				Finca Bulbuxyá	(27. 85)
	Media	1456.25					
	Apical	1566.90					
C. pittieri		1254.00	1436.80	1.90	2.28	Finca Milagro	(25. 61)
C. pittieri	Basal	1256.97				Santa Elena B.	(38. 49)
	Media	1282.43					
	Apical	1255.32					
G. apus	Basal	2121.65				Finca Chocolá	(38. 49)
	Media	2366.66					
	Apical	2350.21					
G. aspera	Basal	1732.13				Kilómetro 120	(38. 49)
	Media	1872.02					
	Apical	2292.94					
G. verticillata		1104.00	2172.00	1.40	2.52	Finca Chocolá	(42. 77)
G. verticillata	Basal	1531.91				Finca Bulbuxyá	(27. 85)
	Media	1513.28					
	Apical	1612.35					
M. baccifera		1079.80	2460.40	1.78	2.62	Finca Chocolá	(25. 64)
P. bambusoides		1398.00	2001.50	1.50	2.20	Finca Chocolá	(25. 59)
S. pseudolima	Basal	1516.66				Finca Chocolá	(38. 49)
	Media	1543.69					
	Apical	1480.96					

C.N. = Probetas con nudo al centro, S.N. = Probetas sin nudo al centro

Tabla 6

Compresión paralela a la fibra y módulo de elasticidad							
(Resumen de ensayos)							
Especie	Parte del tallo	Media muestral				Lugar	Fuente
		Tensión		Módulo de elasticidad			
		(kg/cm ²)		(kg/cm ² *10)			
		C.N.	S.N.	C. N.	S. N.		
B. arundinacea		829.00	478.80	1.80	1.40	Finca Chocolá	(25. 60)
B. arundinacea	Basal	816.04	775.22			Finca Bulbuxyá	(27. 85)
	Media	858.61	891.11				
	Apical	874.54	777.24				
B. guadua		594.00	509.00	1.83	1.46	Finca Chocolá	(42. 80)
B. textilis		645.00	701.00	1.98	2.44	Finca Chocolá	(42. 80)
B. tulda I		788.00	758.00	2.23	2.92	Finca Chocolá	(42. 80)
B. tulda II		662.00	678.00	2.27	2.73	Finca Chocolá	(42. 80)
B. tulda	Basal	882.74	951.58			Finca Bulbuxyá	(27. 85)
	Media	929.21	950.83				
	Apical	905.93	988.08				
B. tuldoides		601.00	554.00	2.03	1.86	Finca Chocolá	(42. 80)
B. tuldoides		652.00	608.00	2.34	2.01	Aldea Las Cabezas	(25. 62)
B. vulgaris		394.00	402.00			Finca Chocolá	(42. 80)
B. vulgaris		581.60	524.50	1.25	1.23	Finca Privada	(25. 63)
B. vulgaris		549.00	487.00	1.21	1.55	Finca Rancho Alegre	(10. 71)
B. vulgaris	Basal	539.08	510.45			Finca Bulbuxyá	(27. 85)
	Media	567.18	480.80				
	Apical	577.10	554.35				
C. pittieri		1173.00	1007.00	2.88	2.33	Finca Milagro	(25. 61)
C. pittieri	Basal	1135.86				Santa Elena B.	(38. 49)
	Media	1110.76					
	Apical	1137.01					
G. apus	Basal	950.46				Finca Chocolá	(38. 49)
	Media	1140.05					
	Apical	999.44					
G. aspera	Basal	1748.01				Kilómetro 120	(38. 49)
	Media	1863.13					
	Apical	1833.36					
G. verticillata		380.00	429.00	1.41	1.64	Finca Chocolá	(42. 80)
G. verticillata	Basal	633.46	581.56			Finca Bulbuxyá	(27. 85)
	Media	653.63	588.49				
	Apical	733.49	657.92				
M. baccifera		577.60	831.40	2.56	2.41	Finca Chocolá	(25. 64)
P. bambusoides		780.80	798.30	1.52	1.84	Finca Chocolá	(25. 59)
S. pseudolima	Basal	518.77				Finca Chocolá	(38. 49)
	Media	583.91					
	Apical	587.64					

C.N. = Con nudo al centro, S.N. = Del entrenudo

Tabla 7

Corte paralelo a la fibra (Resumen de ensayos)					
Especie	Parte del tallo	Media muestral		Lugar	Fuente
		Corte (kg/cm ²)			
		C.N.	S.N.		
B. arundinacea	Basal		339.87	Finca Bulbuxyá	(27. 85)
	Media		340.12		
	Apical		292.44		
B. guadua			100.00	Finca Cocolá	(42. 83)
B. textilis			124.00	Finca Cocolá	(42. 83)
B. tulda I			126.00	Finca Cocolá	(42. 83)
B. tulda II			128.00	Finca Cocolá	(42. 83)
B. tulda	Basal		397.54	Finca Bulbuxyá	(27. 85)
	Media		356.62		
	Apical		329.42		
B. tuldoidea			117.00	Finca Choccolá	(42. 83)
B. vulgaris			66.00	Finca Choccolá	(42. 83)
B. vulgaris			125.10	Finca Rancho Alegre	(10. 63)
B. vulgaris	Basal		273.95	Finca Bulbuxyá	(27. 85)
	Media		249.99		
	Apical		243.56		
C. pittieri	Basal		209.16		(38. 49)
	Media		186.63		
	Apical		186.35		
G. apus	Basal		183.86	Finca Choccolá	(38. 49)
	Media		274.85		
	Apical		280.95		
G. aspera	Basal		316.66	Kilómetro 120	(38. 49)
	Media		306.25		
	Apical		302.09		
G. verticillata			92.00	Finca Choccolá	(42. 83)
G. verticillata	Basal		241.43	Finca Bulbuxyá	(27. 85)
	Media		230.01		
	Apical		234.70		
S. pseudolima	Basal		115.63	Finca Choccolá	(38. 49)
	Media		109.42		
	Apical		121.68		

Tabla 8

Tensión perpendicular a la fibra (Resumen de ensayos)					
Especie	Parte del tallo	Media muestral		Lugar	Fuente
		Tensión (kg/cm ²)			
		C.N.	S.N.		
B. arundinacea	Basal		77.92	Finca Bulbuxyá	(27. 85)
	Media		62.08		
	Apical		46.14		
B. guadua			26.00	Finca Chocolá	(42. 84)
B. textilis			27.00	Finca Chocolá	(42. 84)
B. tulda I			40.00	Finca Chocolá	(42. 84)
B. tulda II			39.00	Finca Chocolá	(42. 84)
B. tulda	Basal		77.95	Finca Bulbuxyá	(27. 85)
	Media		69.89		
	Apical		50.14		
B. tuldoides			22.00	Finca Chocolá	(42. 84)
B. vulgaris			29.00	Finca Chocolá	(42. 84)
B. vulgaris			56.40	Finca Privada	(25. 63)
B. vulgaris	Basal		50.15	Finca Bulbuxyá	(27. 85)
	Media		48.54		
	Apical		37.09		
C. pittieri	Basal		64.31	Santa Elena B.	(38. 49)
	Media		59.08		
	Apical		57.25		
G. apus	Basal		49.87	Finca Chocolá	(38. 49)
	Media		52.85		
	Apical		48.23		
G. aspera	Basal		58.50	Kilómetro 120	(38. 49)
	Media		73.68		
	Apical		68.49		
G. verticillata			29.00	Finca Chocolá	(42. 84)
G. verticillata	Basal		51.20	Finca Bulbuxyá	(27. 85)
	Media		46.85		
	Apical		41.16		
S. pseudolima	Basal		41.23	Finca Chocolá	(38. 49)
	Media		39.07		
	Apical		36.69		

Tabla 9

Clivaje (Resumen de ensayos)					
Especie	Parte del tallo	Media muestral		Lugar	Fuente
		Clivaje (kg/cm ²)			
		C.N.	S.N.		
B. arundinacea	Basal		69.06	Finca Bulbuxyá	(27. 85)
	Media		68.07		
	Apical		71.79		
B. guadua			49.00	Finca Chocolá	(42. 85)
B. textilis			50.00	Finca Chocolá	(42. 85)
B. tulda I			48.00	Finca Chocclá	(42. 85)
B. tulda II			58.00	Finca Chocolá	(42. 85)
B. tulda	Basal		98.81	Finca Bulbuxyá	(27. 85)
	Media		88.93		
	Apical		81.58		
B. tuldoides			46.00	Finca Chocolá	(42. 85)
B. vulgaris			46.00	Finca Chocolá	(42. 85)
B. vulgaris			66.50	Finca Privada	(25. 63)
B. Vulgaris	Basal		67.02	Finca Bulbuxyá	(27. 85)
	Media		64.70		
	Apical		57.00		
C. pittieri	Basal		45.16	Santa Elena B.	(38. 49)
	Media		42.20		
	Apical		39.89		
G. apus	Basal		94.23	Finca Chocolá	(38. 49)
	Media		97.02		
	Apical		85.00		
G. aspera	Basal		96.17	Kilómetro 120	(38. 49)
	Media		97.56		
	Apical		87.98		
G. verticillata			53.00	Finca Chocolá	(42. 85)
G. verticillata	Basal		67.56	Finca Bulbuxyá	(27. 85)
	Media		63.27		
	Apical		62.53		
S. pseudolima	Basal		43.37	Finca Chocolá	(38. 49)
	Media		41.45		
	Apical		44.73		

5. APLICACIONES VARIAS Y EVALUACIONES REALIZADAS EN DIFERENTES SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

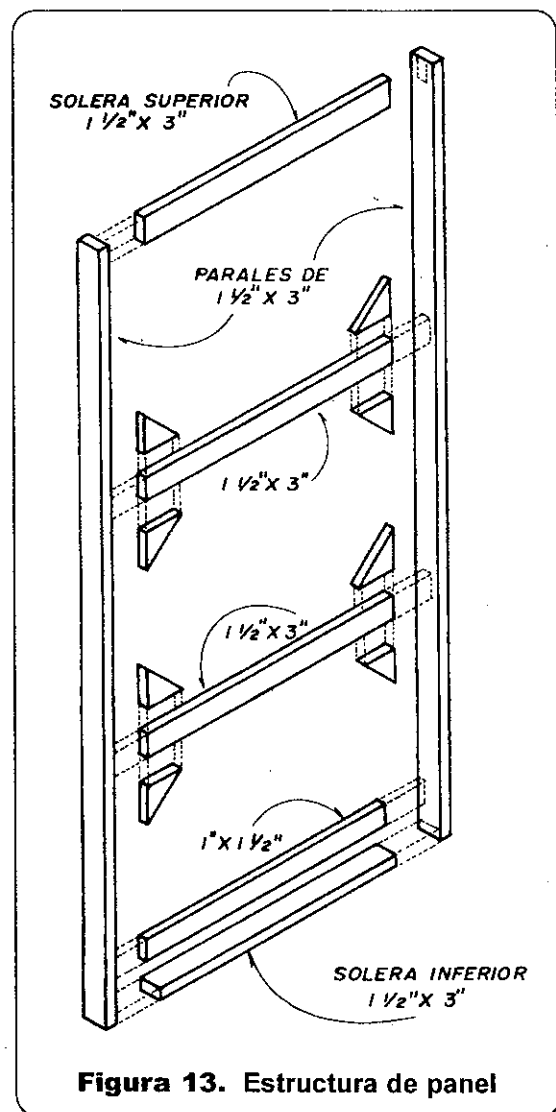
5.1 Aplicación del bambú como cerramiento

5.1.1 Descripción del sistema

El presente sistema plantea una opción para la construcción de muros mediante paneles prefabricados, tomando como referencia algunos estudios realizados en el Perú con el sistema Quincha Prefabricada y también contando con algunas experiencias sobre el sistema bajarque, que es muy empleado por los campesinos guatemaltecos del altiplano para la construcción de viviendas de interés social.

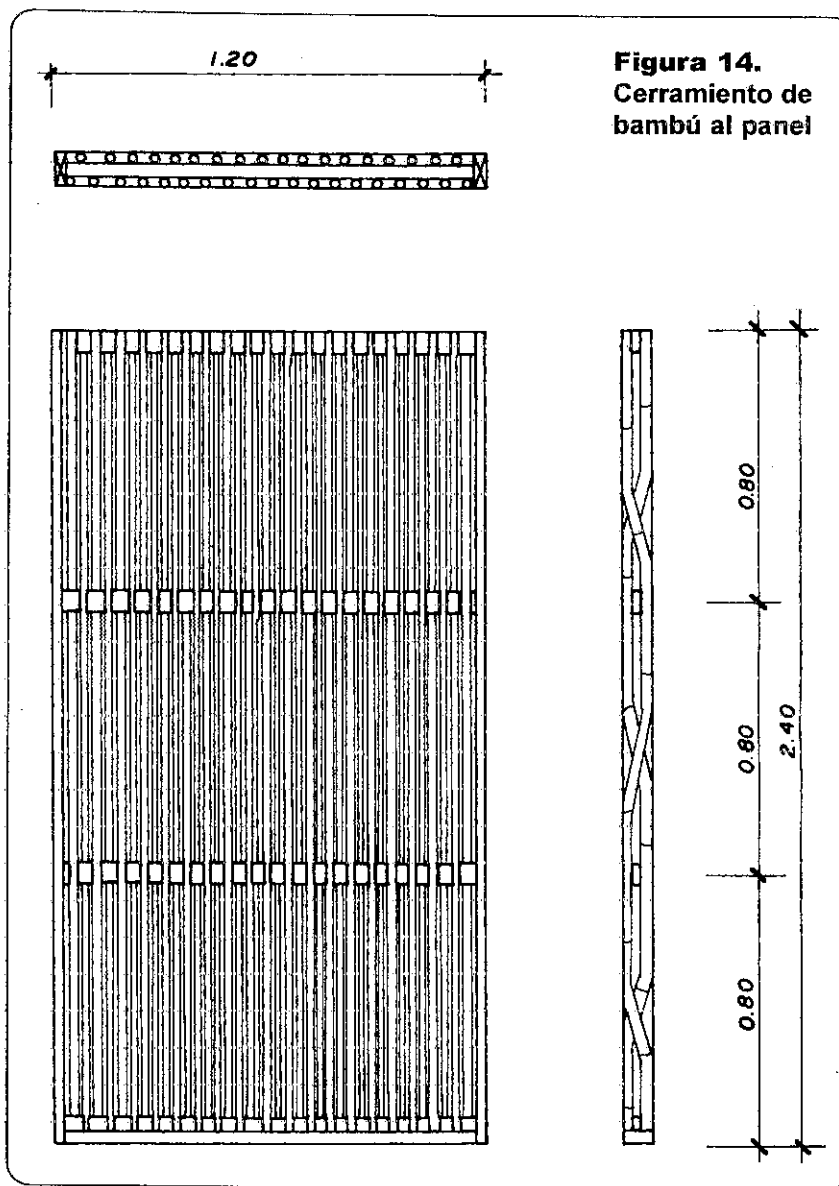
El panel está formado por un bastidor de madera que constituye la estructura del mismo, un cerramiento donde se emplea el bambú del género Chusquea y un mortero de revestimiento en ambas caras del cerramiento.

El bastidor está formado por 2 paraleles, 4 travesaños colocados de



canto, separados uniformemente a lo largo de los parales y 4 semidiagonales que le proporcionan cierto grado de indeformabilidad. Todos los elementos de madera de pino tienen sección de 1 1/2"x3" y el panel mide, 2.40 m de largo y 1.20 m de ancho. Todas las uniones del bastidor a tope fijados con clavos (8. 49).

El cerramiento está formado por bambú de la especie *Chusquea pittieri*, la cual es más conocida en Guatemala como Caña de carrizo, con un diámetro comprendido entre 1/2" y 1". Se cortan los tallos de una misma longitud pre-



viamente determinada, antes de proceder al trenzado, tratando de que las cañas cubran completamente el panel a tope en la parte inferior y a ras de la madera del borde superior. El bambú se coloca verticalmente trenzado y deben quedar en toda su longitud fuertemente presionados unos con otros para proporcionarle mayor rigidez al panel (8. 51).

El montaje de los paneles prefabricados se tiene que realizar en el sitio antes de aplicarle el revestimiento, ya que por su excesivo peso (solo el bastidor de madera y el cerramiento de bambú pesan aproximadamente 50 libras, contra 500 libras que pesa el mismo panel con su revestimiento) su manipulación resulta difícil y por el deterioro que sufre el revestimiento en el momento del traslado (8. 53).

Se pueden utilizar varios tipos de revestimiento, dependiendo del lugar o del acceso a los materiales y de su economía, tomando en cuenta factores como adherencia, resistencia al desgaste, aislamiento térmico y acústico, resistencia al impacto, durabilidad, habitabilidad y otros (8. 53).

Para poder contar con varios tipos de repellos en función de los factores arriba mencionados, se realizan varios ensayos (8. 53) y como resultado de los mismo se recomienda:

1) Revestimiento Primario: enrasado en el marco del panel.

Tipo I. De barro y paja (Fibra vegetal).

Proporción: 2 kg de paja por cada 100 kg de barro.

Tipo II Barro, arena y talpetate.

Proporción: 4 partes de barro, 1 parte de arena amarilla y 1 de talpetate.

Tipo III Cal y arena amarilla.

Proporción: 1 parte de cal y 2.5 partes de arena amarilla.

Tipo IV Cal, talpetate y arena amarilla.
Proporción: 1 parte de cal, 2.5 partes de talpetate y 7.5 partes de arena amarilla.

Tipo V Cal, talpetate y arena amarilla.
Proporción: 1 parte de cal, 1 parte de talpetate y 4 partes de arena amarilla (se obtiene mejores resultados).

2) Revestimiento secundario: máximo 1.5 cm sobre el revestimiento primario y cuando éste se encuentre completamente seco.

Tipo I Cal y arena amarilla.
Proporción: 1 parte de cal y 3 partes de arena amarilla (mezcla).

3) Revestimiento final: sobre el revestimiento secundario, para un acabado fino.

Tipo I. Lechada de cemento, aplicada con brocha a modo de pintura

Tipo II. Cernido fino, cal y arena blanca.
Proporción: 1 parte de cal y 1 de arena blanca.

Tipo III. Estucado final de yeso, con un espesor no mayor de 1.5 cm.
Éste se puede aplicar al panel sin el revestimiento secundario.

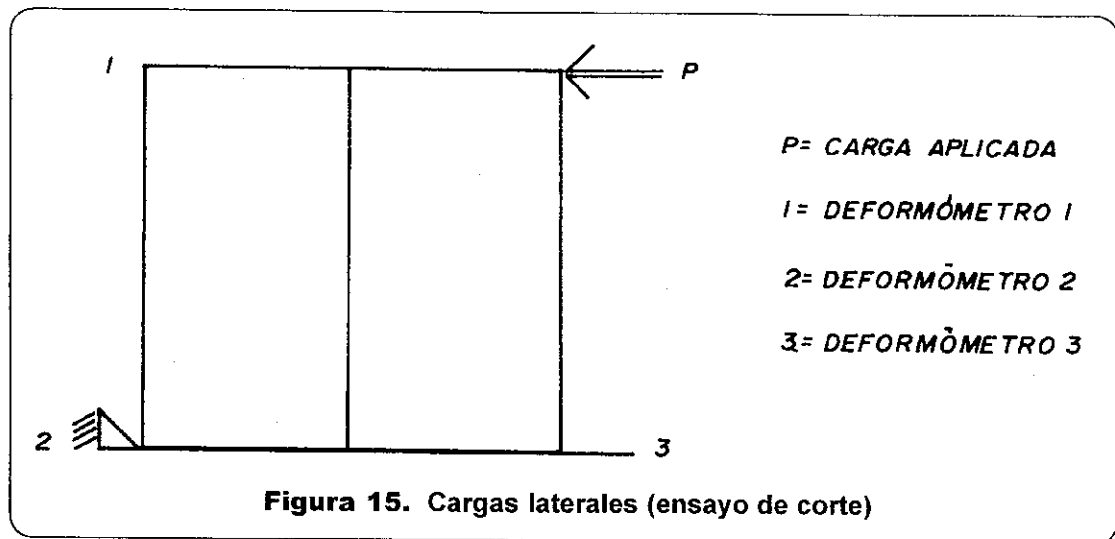
El revestimiento a los paneles se debe efectuar cuando todos los elementos se encuentran debidamente colocados en su lugar. Se aplica en dos capas como mínimo; la primera capa de revestimiento, enrasado en el marco del panel, debe ser aplicada en la superficie interior y exterior de los muros con la mano. Cuando la primera capa del revestimiento se encuentre seca, se aplica la segunda capa que cubre también la madera del bastidor. Para que la segunda capa tenga adherencia en la madera, se pueden clavar tapas metálicas, alambre de amarre en zig-zag o malla de gallinero a la madera. Y finalmente, se le aplica una tercera capa para lograr un mejor acabado, esto puede ser optativo (8. 79).

5.1.2 Evaluación técnica

Para evaluar el comportamiento del panel bajo cargas laterales, verticales, flexionantes y de impacto, se realizaron los ensayos bajo las especificaciones de la norma E-72 de ASTM (American Society for Testing and Materials).

5.1.2.1 Cargas laterales

La capacidad que tiene el panel para resistir cargas laterales es muy bueno, porque en el ensayo arroja valores aceptables y luego de producirse la falla, el panel se encuentra en condiciones generalmente aceptables para repararse. El módulo de rigidez a corte del panel es bajo en relación a un muro de mampostería, que tiene valores hasta 30 veces mayores; sin embargo, es importante señalar que al momento de aparecer la falla en el panel sólo el mortero de revestimiento se encuentra reventado, ya que la madera como el bambú se encuentran en buen estado (8. 73).



5.1.2.2 Cargas verticales

El panel bajo cargas verticales (8. 60) se comporta de la manera siguiente:

1. A los 7,200 kg/m se nota un ligero pandeo, aparecen algunas grietas y se empieza a reventar el mortero.
2. A los 8,700 kg/m se produce la falla al centro del marco de madera, el mortero se encuentra totalmente reventado y el bambú del cerramiento aún se encuentra en buen estado.
3. Luego de aparecer la falla en el marco del panel, se somete el mismo a una recarga, aguantando 1,890 kg/m. El panel se encuentra inservible en su totalidad.

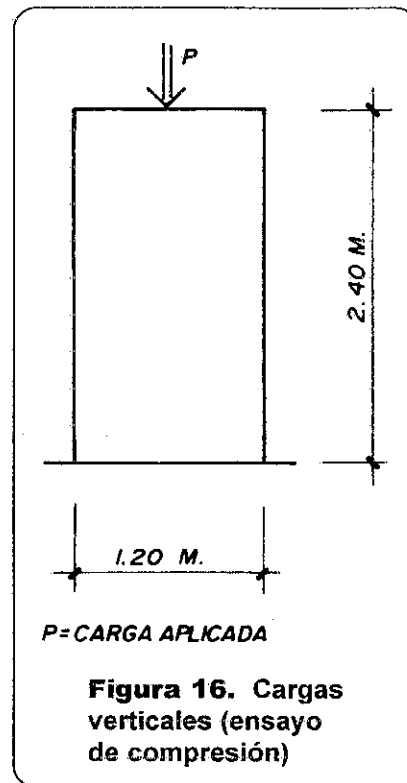


Tabla 10

Cargas laterales Paneles			
Carga (kg)	Deformómetro 1	Deformómetro 2	Deformómetro 3
314.25	490	55	100
628.50	980	125	200
942.75	1530	210	300
1257.00	2610	400	380
* 1508.40	4200	660	440

NOTAS.
 Las lecturas del deformómetro son x 10-2, expresadas en mm.
 * Aparece la falla

Fuente (8. 56)

Tabla 11

Cargas flexionantes Paneles			
Carga (kg/m2)	Deformómetro 1	Deformómetro 2	Deformómetro 3
32.22	14	14	5
248.14	246	274	203
371.17	360	400	345
* 494.19	550	612	588
617.22	750	852	840
740.25	950	1050	1115
863.28	1140	1270	1255
986.31	1350	1525	1410
1109.33	1580	1882	1688

NOTAS.
 Las lecturas del deformómetro son x 10-2, expresadas en mm.
 * Aparece una grieta en el mortero al centro de la luz

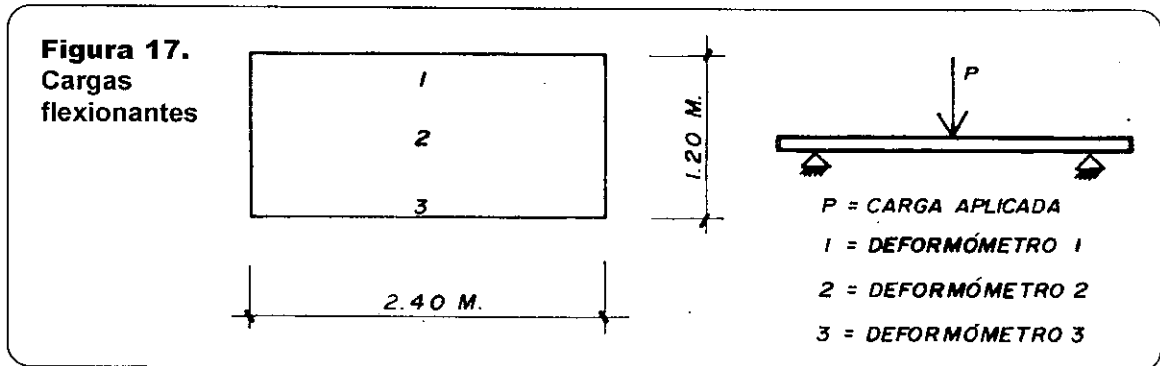
Fuente (8. 53)

Tabla 12

Cargas de impacto Paneles		
Altura "h" (metros)	Energía (Joules)	Observaciones
0.2	311.64	
0.4	434.22	Aparecen pequeñas grietas verticales.
0.6	523.68	Aparece una fisura al centro, se prolongan grietas verticales, el panel no denota deflexión remanente.
0.8	595.18	Grietas más pronunciadas, falla el mortero, la deflexión aún no es evidente.
1.0	654.62	Idem.
1.2	705.03	Se descascara la zona del golpe, no hay deflexiones aún.
1.4	748.26	Se revienta el mortero totalmente y aparecen grietas pronunciadas.
1.6	785.54	Se cae el mortero en la zona del golpe (lado posterior). El cerramiento no evidencia daño.
* 1.8	817.62	Se cae el mortero de ambos lados, aparecen grietas en todo el panel, algunas secciones de bambú aplastados y el marco intacto. No se evidencian deflexiones.
<p>NOTAS En ningún momento colapsa el panel * Aparece la falla</p>		
Fuente (8. 64)		

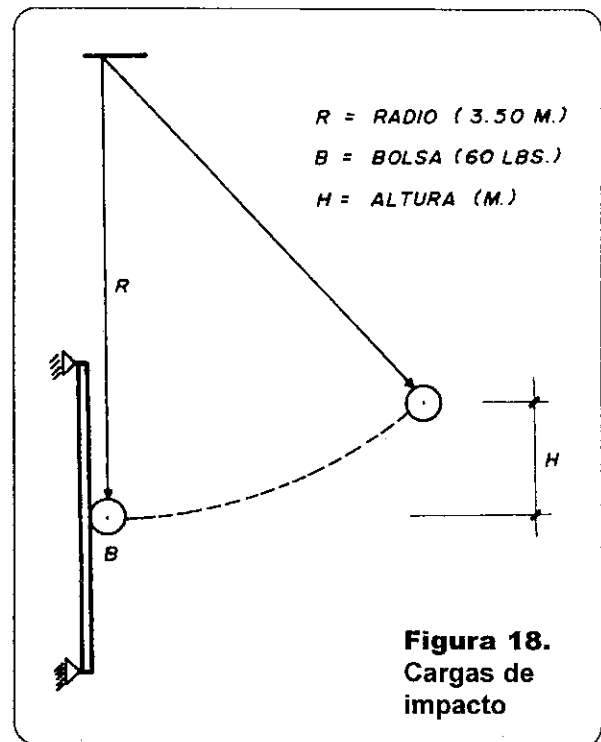
5.1.2.3 Cargas flexionantes

En el ensayo a flexión del panel, la primera grieta aparece cuando la deformación alcanza un valor de 6.12 mm y una capacidad de carga de 494.19 kg/m², lo que se puede considerar como excelente ($L/360=0.67\text{cm}$). El panel no falla, y no se siguieron aplicando cargas debido a que la deformación del panel alcanzaba casi 2 centímetros (8. 73).



5.1.2.4 Cargas de impacto

El comportamiento del panel en la prueba por impacto, refleja la enorme capacidad que posee para absorber energía. Al momento de reventarse completamente el mortero de revestimiento, el marco de madera se encontraba intacto y sólo algunos tallos de bambú aplastados, sin deflexiones visibles. Para medir la energía absorbida por el panel se utiliza una carga de 60 libras, la cual golpea al centro del mismo y a diferentes alturas (8. 74).



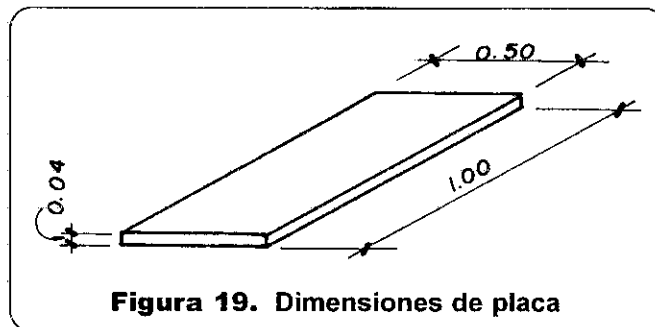
5.2 Aplicación del bambú como refuerzo en concreto

5.2.1 Placas de concreto liviano

En la USAC, además de evaluar las propiedades físico-mecánicas de varias especies de bambú, también se han evaluado aplicaciones del bambú como refuerzo en el concreto. Una de ellas es la aplicación como refuerzo en paneles o placas de concreto liviano.

5.2.1.1 Descripción

En esta aplicación se funden varias placas de concreto liviano reforzados con diferentes combinaciones de acero y bambú. El bambú que se emplea son de las especies *Bambusa tulda* y *Phyllostachys bambusoides*.



Las placas se someten a ensayos de flexión y corte y sus características geométricas son; 1.00 m de largo, 0.50 m de ancho y 0.04 m de espesor.

Combinaciones de refuerzo y nomenclatura para su identificación (6. 16).

SR	Sin refuerzo
H	Acero
BT	Bambusa tulda
HBT	Acero combinado con Bambusa tulda
PB	Phyllostachys bambusoides
HPB	Acero combinado con Phyllostachys bambusoides
5x5	Espaciamiento de refuerzo 5 cm en ambas direcciones perpendiculares
10x10	Espaciamiento de refuerzo 10 cm en ambas direcciones perpendiculares.

Características de la armadura de refuerzo (6. 17).

Espaciamiento 5 cm y 10 cm

Diámetro del acero 0.635 cm (1/4")

Área de acero 0.32 cm²

Peso por metro lineal de acero 0.249 kg/m

Diámetro promedio de tablillas de bambú 1 cm

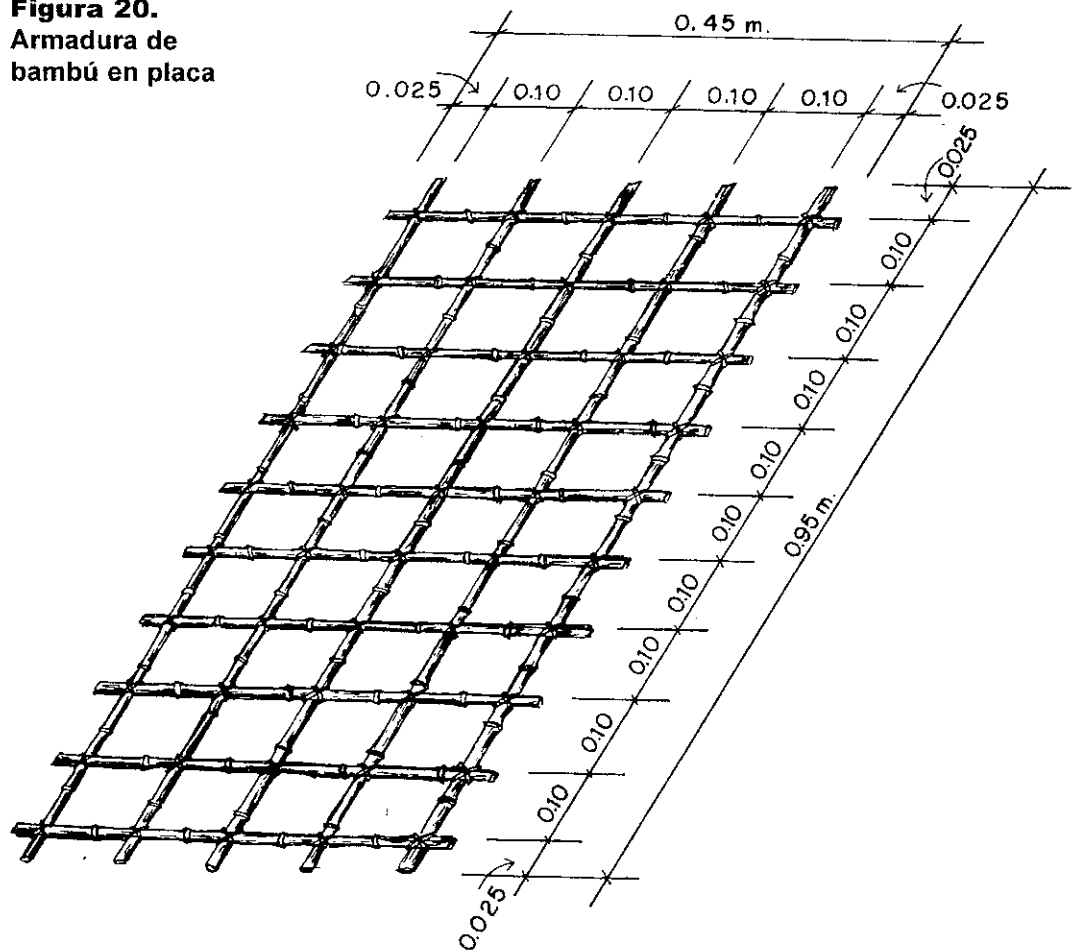
Largo del bambú y del acero sentido largo 0.95 m

Largo del bambú y del acero sentido corto 0.45 m

Alambre de amarre calibre 18 (para armaduras de acero o combinados)

Alambre de amarre calibre 22 (para armaduras solamente de bambú)

Figura 20.
Armadura de
bambú en placa



5.2.1.2 Propiedades físico-mecánicas de los materiales

Bambusa tulda (6. 10).	
Peso específico (gr/cm ³)	0.87
Contenido de humedad	14.80%
Tensión paralela a la fibra (kg/cm ²)	
con nudo	1554
Módulo de elasticidad	2.94x10
sin nudo	2280
Módulo de elasticidad	3.18x10
Tensión perpendicular (kg/cm ²)	40
Compresión paralela a la fibra (kg/cm ²)	
con nudo	788
Módulo de elasticidad	2.23x10
sin nudo	758
Módulo de elasticidad	2.92x10
Corte paralelo (kg/cm ²)	126
Clivaje (kg/cm)	48
Phyllostachys bambusoides (6. 10).	
Contenido de Humedad	17.30%
Tensión paralela a la fibra (kg/cm ²)	
con nudo	1842
sin nudo	2700
Módulo de elasticidad	0.185x10
Compresión paralela a la fibra (kg/cm ²)	
con nudo	370
sin nudo	410
Propiedades mecánicas del acero (6. 12).	

Una especificación para el acero al carbono es la ASTM A-7. No especifica un contenido de carbono sino estipula. "Esta especificación cubre perfiles, placas y barras de acero al carbono de calidad estructural para usarse en la construcción de puentes y edificios, con propósitos estructurales generales".

Resistencia a la tensión (kg/cm ²)	4200-5000
Punto de cedencia, mínimo (kg/cm ²)	2300
Porcentaje de alargamiento mínimo en 8 cm	21
Porcentaje de alargamiento mínimo en 2 cm	24
Módulo de elasticidad (kg/cm ²)	2160000

Tipo de mortero usado (6. 14).

El mortero usado es de una proporción, una parte de cemento por 3 partes de arena de río, en peso. La arena de río no contiene arcilla, ni sustancias orgánicas que pueden afectar el fraguado; y se pasa en un tamiz de 0.9525 cm (3/8").

El cemento Portland utilizado es el Tipo I, fabricado bajo la norma COGUANOR 41-005, la cual controla los ensayos, tanto físicos como químicos, de finura, bondad, tiempo de fraguado y resistencia de morteros elaborados con ese cemento. En general se obtienen los ensayos promedio de compresión a 7 días de 138.54 kg/cm² y para 28 días de 254.06 kg/cm².

5.2.1.3 Resultado de los ensayos

Las placas sin refuerzo previstos para ser ensayadas a flexión o corte mostraron su evidente fragilidad, algunas se fracturaron con el manipuleo y no fue posible utilizarlas para los ensayos, en cambio las pocas que se encontraban en condiciones para el ensayo mostraron capacidades similares a algunos reforzados con bambú, pero con una diferencia muy marcada que el tipo de falla es totalmente abrupto y peligroso (6. 50). El refuerzo de bambú no impide la fisuración en el concreto en las placas, pero si impide un colapso repentino, o fractura de tipo frágil.

Flexión. La capacidad de placas reforzadas con bambú resulta ser en promedio, aproximadamente 50% menor que la del acero. Las cargas resistidas por

éstas son aceptables con propósitos de uso práctico, en la construcción de viviendas de bajo costo (6. 50). De las dos especies evaluadas, la que proporciona resultados más positivos en el ensayo a flexión es la Bambusa tulda.

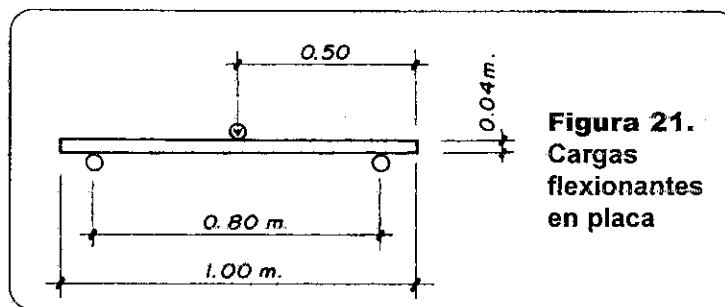


Figura 21.
Cargas flexionantes en placa

Corte. Comparativamente en relación a la capacidad, en cada una de las alternativas estudiadas, los resultados más positivos se obtuvieron en las placas que fueron reforzados con *Phyllostachys bambusoides*, superando a las placas reforzadas con acero en un 15 % en resistencia al corte (6. 50).

Tabla 13

Ensayo a flexión Placas (media muestral)						
Tipo de refuerzo	Espaciamiento					
	Carga máx. antes frac. (kg)	5x5 Deformac. máx. (x10-2 mm)	Carga máx. frac. (kg)	Carga máx. antes frac. (kg)	10x10 Deformac. máx. (x10-2 mm)	Carga máx. frac. (kg)
H	900	775	914	450	534	504
BT	315	760	376	450	659	585
HBT	575	670	594	450	682	464
PB	210	160	242	180		235
HPB	450	482	551	325	522	345

Fuente (6. 43)

Tabla 14

Ensayo a corte Placas (media muestral)						
Tipo de refuerzo	Espaciamiento					
	Carga máx. antes frac. (kg)	5x5 Deformac. máx. (x10-2 mm)	Carga máx. frac. (kg)	Carga máx. antes frac. (kg)	10x10 Deformac. máx. (x10-2 mm)	Carga máx. frac. (kg)
H	6000	273	6833	6500	239	6865
BT	5600	208	6473	6000	193	6063
HBT	3250	226	3673	4500	232	4473
PB	7600	219	7850	6800	262	7253
HPB	5750	286	6898	6000	278	7500

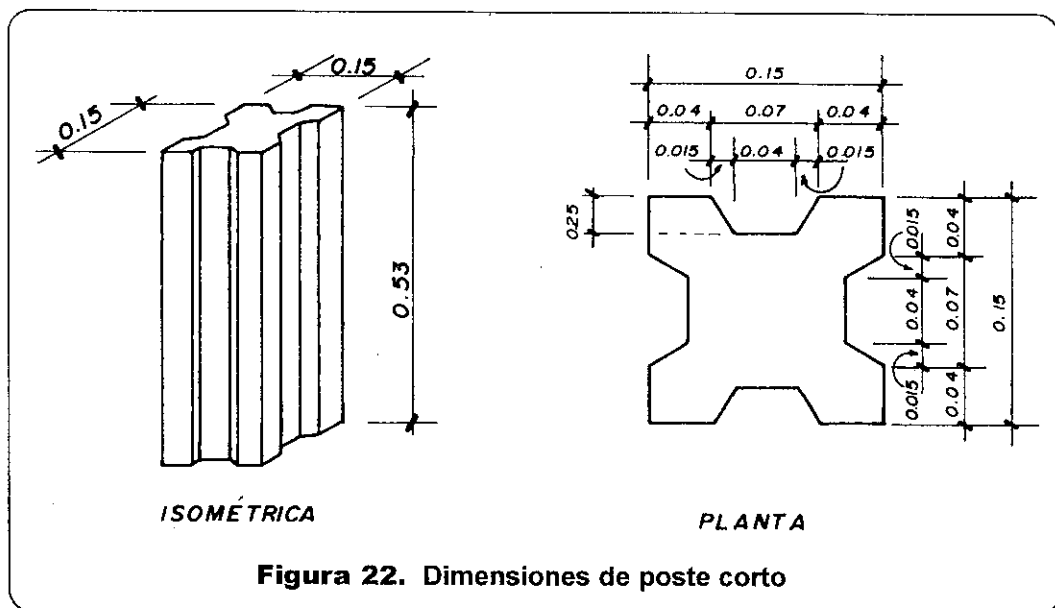
Fuente (6. 44)

5.2.2 Postes cortos y largos de concreto

5.2.2.1 Descripción

También se ha evaluado la aplicación de cintas de bambú como refuerzo en postes usados en el sistema placa-poste, el cual consiste en determinar la capacidad resistente de los elementos estructurales ensayados a flexión, compresión y corte. *Bambusa vulgaris* y *Chusquea pittieri*, son las dos especies de bambú que se utilizaron como refuerzo en postes de concreto liviano y normal, porque son las especies más propagadas y de fácil obtención en Guatemala. Además se ensayaron postes sin refuerzo y con refuerzo de acero, para poder comparar la capacidad resistente de elementos reforzados con bambú.

Dimensionamiento de los elementos. Se dimensionaron dos tipos de postes, cortos y largos. Los postes cortos se dimensionaron tomando en cuenta: facilidad de transporte, longitud máxima entre elementos aplicantes de carga en máquina de ensayo y la longitud indispensable para desarrollar adherencia del concreto con el elemento de refuerzo. Postes largos, poseen las dimensiones que por lo general se aplica en un módulo habitacional.



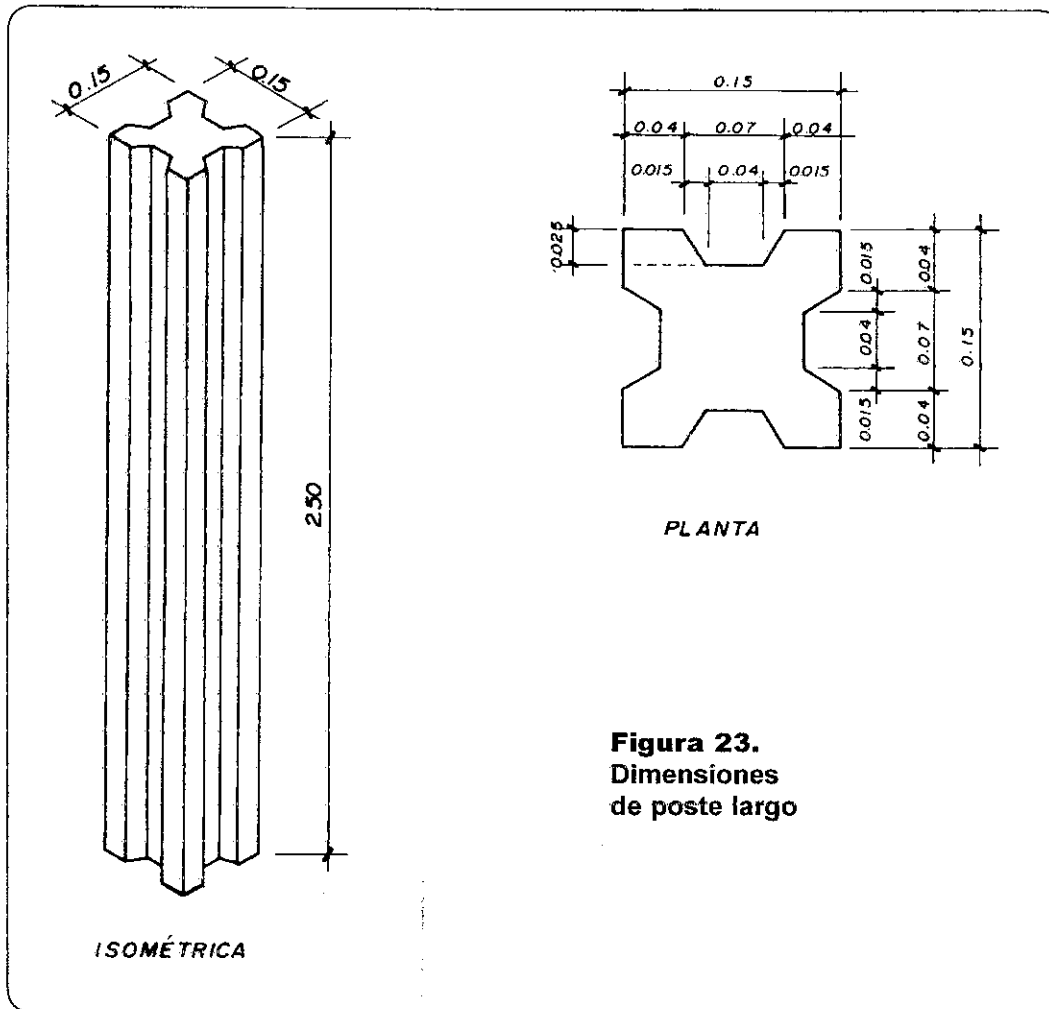


Figura 23.
Dimensiones
de poste largo

Combinación de refuerzo en postes y nomenclatura para su identificación (19. 27).

- SRL Sin refuerzo, concreto liviano
- SRN Sin refuerzo, concreto normal
- HL Refuerzo acero, concreto liviano
- HN Refuerzo acero, concreto normal
- BVL Refuerzo Bambusa vulgaris, concreto liviano
- BVN Refuerzo Bambusa vulgaris, concreto normal
- CPL Refuerzo Chusquea pittieri, concreto liviano
- CPN Refuerzo Chusquea pittieri, concreto normal

Características del refuerzo longitudinal en postes (19. 27).

4 varillas de acero de diámetro 0.635 cm (1/4")

Área de acero 0.32 cm²

4 cintas de bambú, de un espesor de 3 mm y un ancho de 1.5 cm

Longitud del acero o bambú en postes cortos 0.50 m

Longitud del acero o bambú en postes largos 2.45 m

Características del refuerzo transversal en postes (19. 28).

Dimensión de estribos para postes cortos y largos 5x5 cm

Diámetro del acero para estribos 0.635 cm (1/4")

Área de acero 0.32 cm²

Dimensiones de la sección transversal de estribos de bambú, 3 mm de espesor y 1.5 cm de ancho

Cantidad de estribos para postes cortos 5 unidades

Cantidad de estribos para postes largos 24 unidades

Alambre galvanizado calibre 18, para fijar estribos

5.2.2.2 Propiedades físico-mecánicas de los materiales

Bambusa vulgaris (19. 17).

Contenido de humedad 16.6%

Tensión paralela a la fibra (kg/cm²)

con nudo 1323

Módulo de elasticidad 2.22

sin nudo 1872

Módulo de elasticidad 2.17

Compresión paralela a la fibra (kg/cm²)

con nudo 394

sin nudo 402

Chusquea pittieri (19. 18).

Tensión paralela a la fibra (kg/cm²)

con nudo	1254
Módulo de elasticidad	1.90x10
sin nudo	1436
Módulo de elasticidad	2.28x10

Compresión paralela a la fibra (kg/cm²)

con nudo	1173
Módulo de elasticidad	2.88x10
sin nudo	1007
Módulo de elasticidad	2.33x10

Las propiedades del acero y del cemento es la misma que se indicaron en la aplicación de bambú como refuerzo en paneles de concreto liviano.

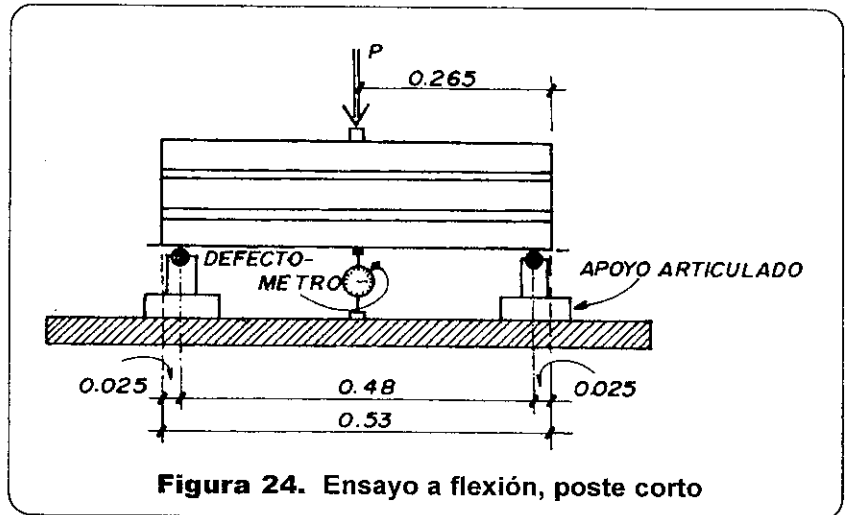
Concreto. Es una mezcla dosificada de agregados inertes, cemento y agua. La mezcla de cemento portland está formada de una parte activa (cementante), pasta agua-cemento y una parte inerte (agregado).

Para efectos de investigación se realizaron dos tipos de concreto; el primero un concreto liviano con una proporción de 1:3 (cemento : arena de río) en volumen y el segundo un concreto normal con una proporción 1:2.5:3.5 (cemento: arena: piedrín de 1/4") también en volumen (19. 21).

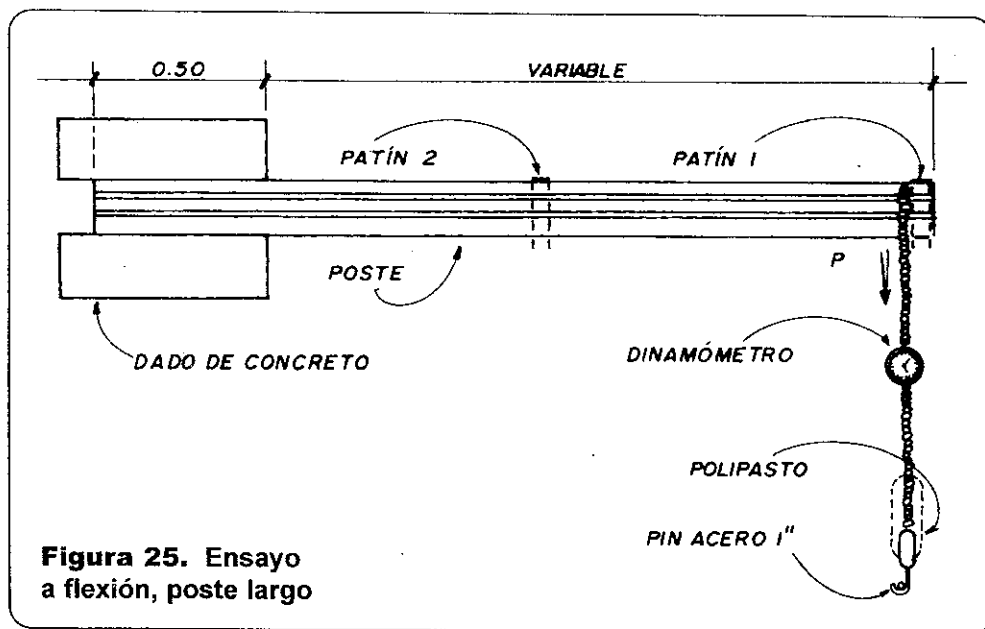
5.2.2.3 Resultado de los ensayos

Flexión. Un problema fundamental en los ensayos a flexión de postes cortos, es la mala adherencia, lo cual puede atribuirse a los factores siguientes: el cambio volumétrico que sufre el bambú en las etapas de fundido, fraguado y curado, al tamaño del espécimen y finalmente a la textura de las cintas de bambú. Para evaluar mejor el caso se colocaron ganchos anclados en la zona de compresión,

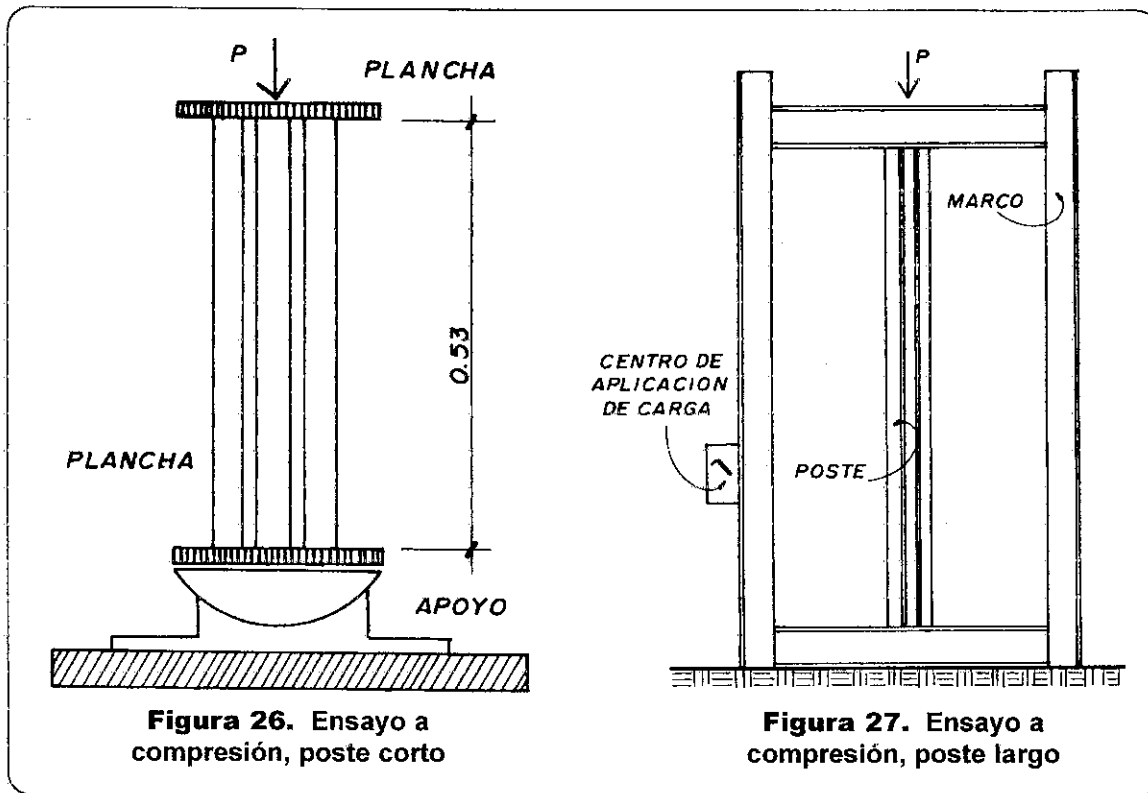
consiguiendo así que en los extremos se genera un bloque compresivo que impida el deslizamiento del refuerzo longitudinal en la zona de tensión. Los resultados obtenidos con el nuevo armado (BVL*) confirmaron lo aseverado, ya que la resistencia se incremento en un 85% al caso (BVL) inicialmente estudiado ver tabla No 15 (19. 54).



En los postes largos, se presentaron dos tipos de falla, la primera por adherencia y la segunda en los nudos, pudo determinarse que ésta última se debió a la discontinuidad de la fibra por brotes en los nudos, sin embargo, al llegar a ese punto, su capacidad resistente superó el 70% de similar probeta con refuerzo de acero. La falla por adherencia se presentó con menor frecuencia que la anterior (19. 55).



Compresión. "En ambos postes la falla se caracteriza por uno o varios agrietamientos longitudinales, localizados sobre las aristas entrantes producidas por el cambio de sección transversal, así como la falla por aplastamiento en los extremos de cada probeta. La resistencia máxima de los elementos reforzados con cintas de bambú es similar a los elementos reforzados con acero" (19. 56).



Corte. Al ensayar las probetas sin refuerzo, pudo observarse que la falla era de tipo frágil. Al ensayar las probetas reforzadas con acero o bambú a carga, se produjeron grietas al centro de la luz y se pudo observar que al acercarse al 20%

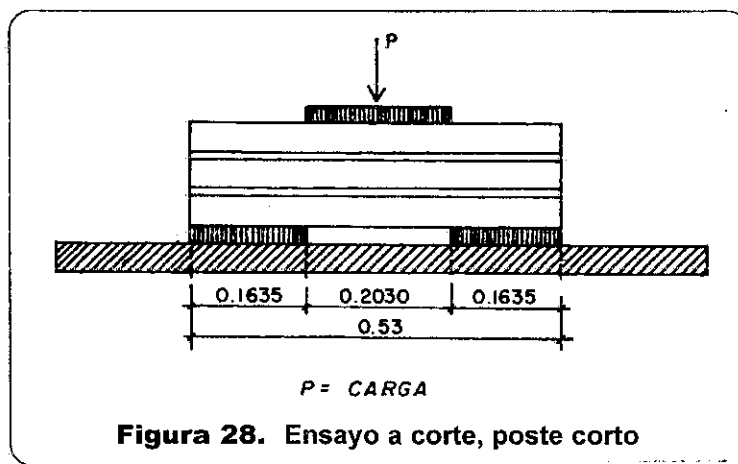


Tabla 15

Ensayo a flexión Postes (media muestral)				
Tipo de refuerzo	Postes cortos Carga máxima (kg)	Esfuerzo máximo (kg/cm ²)	Postes largos Carga máxima (kg)	Esfuerzo máximo (kg/cm ²)
SRL	850	61.2	56.7	63.45
SRN	885	63.72		
HL	910	65.52	102.06	114.36
HN	1057.5	76.14	119.07	133.09
BVL	615	44.28	74.85	84.14
BVL*	1140	82.08		
BVN	925	66.6	85.05	95.48
CPL	915	65.88	68.04	75.15
CPN	525	37.8	38.56	43.53

NOTA
* Nuevo armado

Fuente (19. 49)

Tabla 16

Ensayo a compresión Postes (media muestral)				
Tipo de refuerzo	Postes cortos Carga máxima (kg)	Esfuerzo máximo (kg/cm ²)	Postes largos Carga máxima (kg)	Esfuerzo máximo (kg/cm ²)
SRL	22150	221.5		
SRN	17100	171		
HL	44850	448.5	13041	130.41
HN	18900	189	12958	129.58
BVL	36650	366.5	15989	159.89
BVN	24400	244	10206	102.06
CPL	32800	328	15309	153.09
CPN	18400	184	10433	104.33

Fuente (19. 51)

Tabla 17

Ensayo a corte Postes (media muestral)		
Tipo de refuerzo	Postes cortos Carga máxima (kg)	Esfuerzo máximo (kg/cm ²)
SRL	2180	32.70
SRN	5030	75.45
HL	10330	154.95
HN	8294	124.41
BVL	7660	114.90
BVN	7490	112.35
CPL	5820	87.30
CPN	5630	84.45

Fuente (19. 50)

de su capacidad máxima, la probeta comenzaba a agrietarse al centro de la luz y al continuar incrementando la carga, la probeta principió a fallar en los puntos de apoyo con grietas a 45 grados, las cuales se interrumpían en los lugares donde existían estribos, los cuales cumplieron muy bien sus funciones. Es decir, que el tipo de falla presentada fue por corte flexionante (19. 55).

5.2.3 Sistema placa-poste

5.2.3.1 Descripción del sistema

Conscientes del problema habitacional y el alto coste de vida en Guatemala, surge como una alternativa el sistema placa-poste, ampliamente conocido en nuestro medio, en el cual juega un papel preponderante el concreto reforzado, que utiliza como refuerzo longitudinal o transversal el hierro, este último constituye un material importado, encareciendo el costo del sistema constructivo, situación que hace buscar el empleo de tecnologías adecuadas, tales como la utilización en la construcción de materiales no tradicionales como el bambú, sin salirse de los cánones técnicos de seguridad.

Para el sistema placa-poste se toma como base los resultados obtenidos en las dos últimas aplicaciones (el bambú como refuerzo en placas y en postes largos). Las placas se fundieron con concreto tipo liviano y se reforzaron con *Bambusa vulgaris*, con un separación de 10 cm en ambos sentidos. En el empleo de postes largos para evaluar el sistema no se especifica que especie de bambú se utilizó ni tampoco el tipo de concreto.

Características del refuerzo en placas (19. 28).

Tiras de bambú de 3 mm de espesor y 1 cm de ancho
Cantidad de cintas en el sentido largo, 5 unidades
Cantidad de cintas en el sentido corto 10 unidades

Largo del refuerzo en el sentido longitudinal 0.95 m

Largo del refuerzo en el sentido corto 0.45 m

5.2.3.2 Conformación del sistema

Para poder ensayar el sistema combinado, se emplean 3 postes largos y 8 placas, también es necesaria la conformación previa de sus elementos, como se indican a continuación (19. 45):

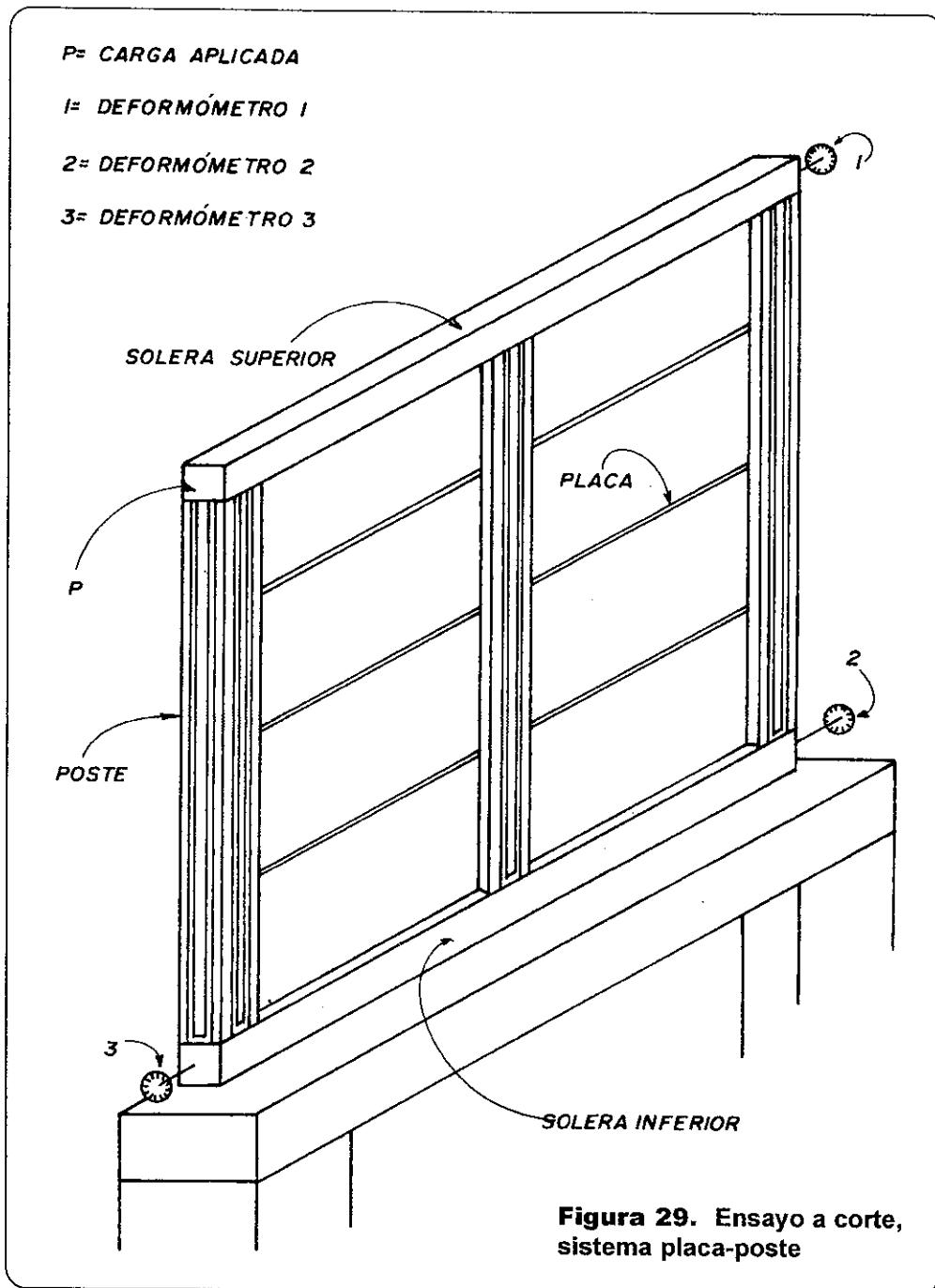
Solera inferior. Se construye con las características siguientes; 2.45 m de largo y sección transversal de 15x15 cm, sin ninguna ranura o moldura especial, refuerzo similar a los postes largos, las tres partes donde se empotran los postes quedaron sin fundición y la fundición del elemento se realizó en el lugar de ensayo del sistema.

Formaleta auxiliar. Se construyeron dos marcos rectangulares de madera, con el fin de emplearlos como soporte de los postes durante la fundición o anclaje de todo el sistema.

Anclaje poste con solera inferior. Paralelos a la solera inferior se colocaron los marcos de madera, a los que se ataron los tres postes largos a efecto de que los mismo fueran cargados por el marco y no por la solera. Se empalmaron las puntas de los refuerzos de los dos elementos e inmediatamente se procedió al lavado de las área a unir, luego se les aplicó una lechada de cemento y finalmente se completo la fundición de la solera.

Colocación de placas. Antes de la colocación de placas en los postes, se procedió a la limpieza de ambos, con sumo cuidado se introdujeron las placas en las ranuras y posteriormente se cubrieron todas las juntas con pasta de cemento.

Solera superior. 2.45 m de longitud, sección de 15x15 cm, el refuerzo se empalmó con cada punta del refuerzo de los postes, se lavaron las áreas de concreto y finalmente el elemento se fundió. Tiempo de curado ocho días en el caso de las soleras, se utilizó el marco como formaleta.



5.2.3.3 Ensayo a corte del sistema

Antes de retirar los marcos de madera, se les coloca otro transversal en un extremo, con el fin de prevenir cualquier posible ladeo transversal. Seguidamente se le coloca en uno de los vértices del sistema, el marco para pruebas de corte en muros usados en el Laboratorio de Pruebas de Prefabricados del Centro de Investigaciones de Ingeniería; ya colocado se deja así durante quince días (19. 47).

El sistema fue sometido a una carga de corte aplicado a través de un gato hidráulico apoyado sobre el marco de prueba de corte. Se colocaron deformómetros en los otros tres vértices del mismo, ver figura No. 29. El sistema empieza a presentar grietas cuando a soportado un esfuerzo de 75 kg/cm² y falla totalmente cuando el esfuerzo es de 90 kg/cm² (19. 47)

Tabla 18

Ensayo a corte Sistema placa-poste				
Esfuerzo (kg/cm²)	Deformómetro 1	Deformómetro 2	Deformómetro 3	Observaciones
25	2.5	0.5	-0.75	Inicio de grietas Falla total
50	3.5	1	-1.5	
75	3.8	1.5	-1.75	
90	26.5	1.5	-1.75	
NOTA Las lecturas de los deformómetros, se expresan en mm.				
				Fuente (19. 53)

5.3 Evaluación de sistemas constructivos con bambú

5.3.1 Sistema de concreto liviano con bambú

En el año de 1978, en la Aldea Espíritu Santo, en el Municipio de El Jícaro, con la participación conjunta entre IDESAC, el Centro de Investigaciones de la Facultad de Arquitectura CIFA y la comunidad, realizan la construcción de la Iglesia Católica.

La IDESAC realiza la promoción comunal y el suministro de los materiales foráneos, mientras la comunidad aporta los materiales locales y la mano de obra, y el Centro de Investigaciones de la Facultad de Arquitectura realiza el diseño y la asesoría técnica bajo la dirección del Arq. Eduardo Aguilar (35. 188).

Para el diseño del edificio se contempla el empleo de materiales en su mayoría del lugar, de esta cuenta se utiliza; arena amarilla, cal viva y en menor proporción cemento y como material de refuerzo bambú. Con el fin de hacer una obra permanente se considera conveniente colocar lámina de zinc para la cubierta (35. 196).

5.3.1.1 Ubicación y descripción del sistema

Ubicación. La obra se construye en la Aldea Espíritu Santo, a 1 km. del Municipio El Jícaro, en el Departamento del Progreso. El camino que conduce del Jícaro a la aldea es de terracería y el mayor porcentaje de viviendas están edificadas con el sistema bajareque y el techo de hoja de manaque.

Descripción del sistema:

Cimiento. Se mezcla arena de río, piedra de río y cemento, como refuerzo se emplea bambú en un armado triangular con varillas de 1" de diámetro y estri-

bos de bambú también de 1" de diámetro a cada 20 cm, para la fundición se usa formaleta de metal. En el cimientto se anclan los refuerzos verticales de bambú que sostienen los muros (35. 196).

Muros. Se funden de cemento y arena de río en proporción 1:10, refuerzo con varillas de bambú de 0 a 20 cm, en ambos sentidos, en el centro del muro. De acuerdo al análisis de laboratorio del Centro de Investigaciones de Ingeniería, la resistencia a la flexión de los muros corresponde de 2/3 a 3/4 de las efectuadas para el mismo concreto con refuerzo de acero de 3/8" de diámetro, armado de igual forma. El sistema no emplea columnas y soleras, formando un solo cuerpo con el armado de bambú y el concreto. Para la utilización de la formaleta no se requiere de mano de obra calificada y una sola persona puede manipular la formaleta (35. 197)

Cubierta. En el diseño original se plantea una estructura de bambú de cuatro aguas, forro de lámina de zinc con chimenea al centro para escape de aire caliente. Sobre la lámina se prevee una capa de mortero de cal, cemento, tierra y desecho agrícola, con bambú como aislante térmico. En la práctica se coloca madera aserrada por su facilidad constructiva, sobre la estructura se coloca un tejido de manaque (palma) y sobre la misma lámina de zinc. Las condiciones de confort térmico previstas se cumplen en la obra finalizada (35. 189).

Especificaciones técnicas (35. 196):

área cubierta	tiempo de ejecución	costo/metro ²	costo total
64.00 m ²	13 meses	Q39.06	Q2,500.00

5.3.1.2 Estado físico actual

El edificio que ocupa la Iglesia Católica después de haber transcurrido más de 20 años que se iniciara la construcción de la misma, hoy en día se encuentra

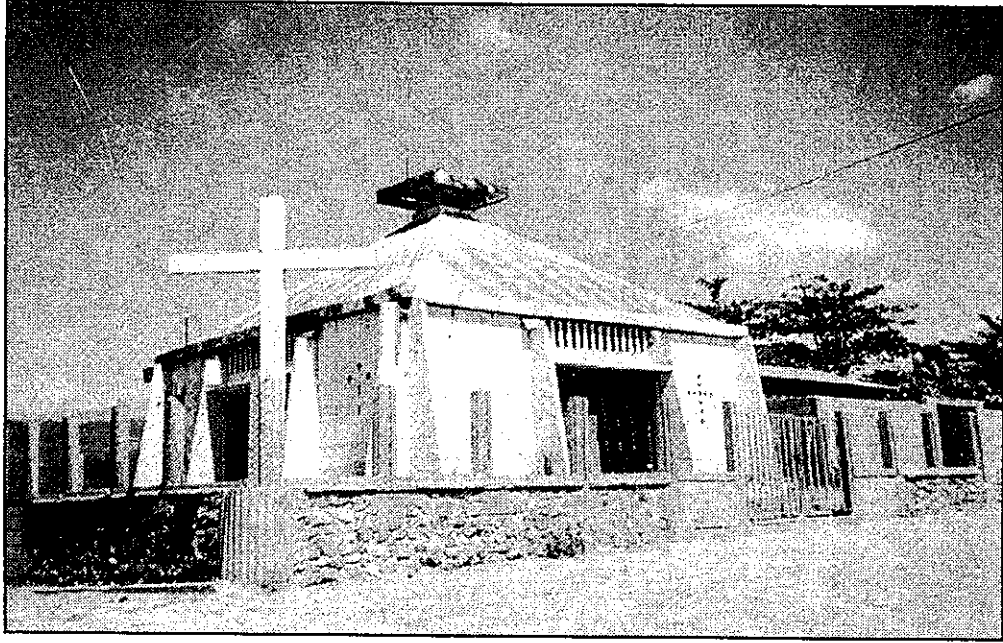
en buen estado como lo muestran las fotografías No. 32 y 33, y cumple con su función ya que es la única iglesia que tiene la aldea.

El señor José María Hicho Aquino, más conocido como don Chema por los aldeanos, cuenta que la comunidad desconfiaba ante la forma arquitectónica y el sistema constructivo del edificio, pero un miembro de la comunidad, el señor Rosendo Hernández empleado de IDESAC, los convence y dice conocer edificaciones donde se utiliza el bambú como refuerzo en el concreto liviano para muros y una forma empírica de evaluar dichos muros es lanzándole 5 piedras grandes contra los mismos, los cuales quedan intactos después de los impactos.

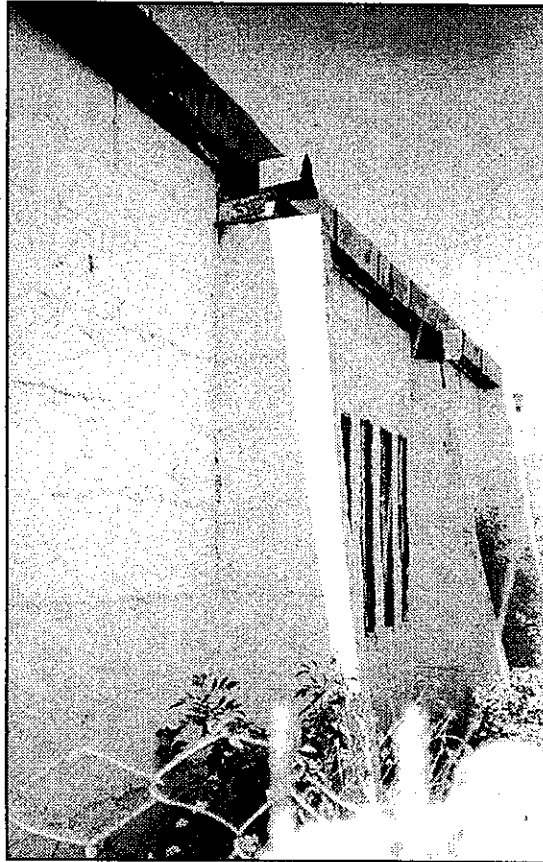
Al observar detenidamente todos los muros que forman la construcción, únicamente se encuentran 4 pequeñas fisuras en ellos. No así, en los voladizos y en las vigas de los 2 ingresos, en el ingreso principal la grieta se localiza al centro de la luz de la viga y en el otro ingreso, la grieta se localiza ligeramente corrido a lado izquierdo como se observa en la fotografía No. 34. La grieta que se localiza al centro de la viga también divide en dos el voladizo, pero no presenta deflexión en el mismo, como se observa en la fotografía No. 35.

La estructura de madera que sostiene la cubierta y las hojas de manaque se encuentran en buen estado, como se observa en la fotografía No. 33. Las que se encuentran un poco deterioradas son las puertas de madera.

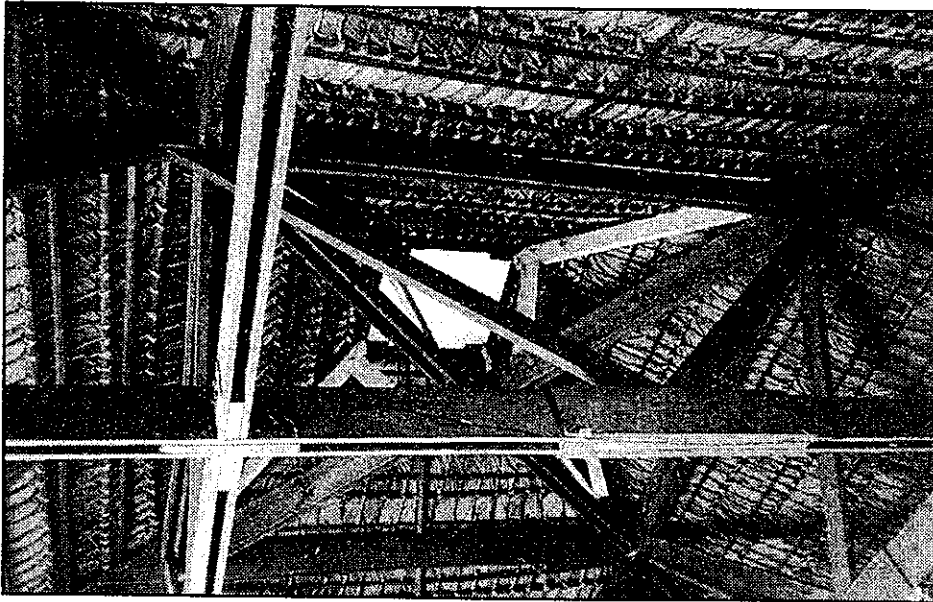
Don Chema continúa diciendo que la aldea se localiza sobre una falla geológica y la misma pasa al frente de la iglesia. Durante los 20 años que tiene la edificación han habido varios movimientos telúricos, los cuales han provocado las grietas que actualmente tiene el edificio. Don Chema finaliza diciendo que hoy en día la comunidad se siente satisfecha y orgullosa por la obra, y que están dispuestos a contribuir y a recibir la ayuda de cualquier institución que fomente la siembra y la aplicación del bambú como material de construcción.



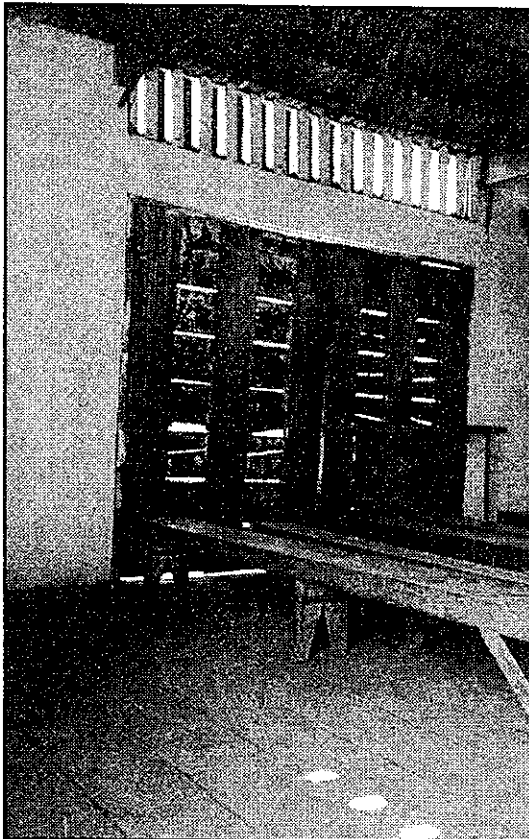
Vista general de la Iglesia Católica Espíritu Santo, construida en 1978.



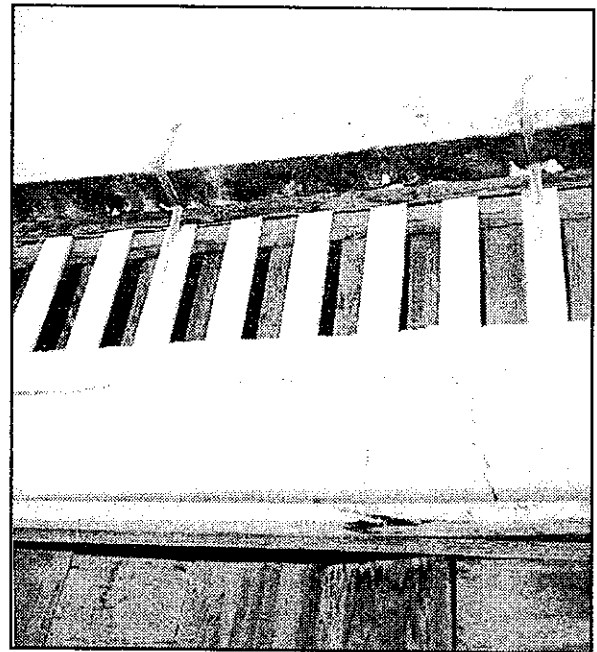
Vista lateral.



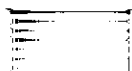
La cubierta la forman; una estructura de madera, un aislante de hoja de manaque y lámina de zinc.



El refuerzo de bambú en el concreto no impide la fisuración, pero sí impide un colapso repentino.



La grieta de ingreso principal divide prácticamente en dos el voladizo, pero no presenta deflexión.



5.3.2 Sistema de muros de tapial y pared de sacos rellenos de arena

Después del terremoto de 1976 el Dr. Gernot Minke del Laboratorio de Construcciones Experimentales, de la Universidad de Kassel Alemania, viaja a Guatemala, con el fin de conocer, evaluar, ensayar y proponer un sistema constructivo que se adapte a las necesidades del país.

Durante su visita el Dr. Minke se entrevista con el Decano de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Francisco Marroquín, Adolfo Lau y con el presidente de CEMAT (Centro de Estudios Mesoamericano sobre Tecnología Apropriada) José Asturias, para unir esfuerzos y realizar un proyecto conjunto de prototipos de viviendas (41. 5).

Luego de realizar extensas investigaciones en los laboratorios de la Universidad de Kassel, en Julio de 1978 viajan a Guatemala el Dr. Minke, cinco estudiantes de Arquitectura y un técnico de la Universidad de Kassel, se unen a siete estudiantes de Arquitectura de la Universidad Francisco Marroquín, a un técnico de CEMAT y a un grupo de operarios de la parroquia de San Lucas Tolimán para la construcción de dos prototipos, el primero un sistema de muros de tapial reforzados con bambú y el segundo un sistema de sacos rellenos con arena pómez (41. 5).

5.3.2.1 Ubicación y descripción de los dos sistemas

Ubicación del proyecto. Los dos prototipos se realizan en la Colonia Nacimiento, localizada a 31 km. al norte de Cocales y 3 km. al sur de San Lucas Tolimán del Departamento de Sololá, con una elevación de 1500 m sobre el nivel del mar. El clima es templado y húmedo, ligeramente más caliente durante los meses de Marzo y Abril. Durante la época lluviosa de Junio a Octubre, hay neblina en la tarde (41. 20).

Descripción del sistema de muros de tapial reforzados con bambú:

Cimiento. Se realizan con concreto ciclópeo reforzado con bambú. Se excavan zanjas de 50 cm de ancho por 40 a 80 cm de profundidad. El refuerzo de bambú consiste en un elemento horizontal superior y elementos verticales espaciados a cada 80 cm, que se componen de dos cañas inclinadas amarradas a cada lado del elemento horizontal y que se van abriendo hacia abajo, formando una especie de triángulo. El mortero que se emplea para unir 2 o 3 capas de piedras se compone de arena, cal y un poco de cemento. La cimentación se eleva 50 cm del nivel de piso, con el fin de proteger el tapial de la humedad del suelo y para evitar la erosión provocada por las salpicaduras de la lluvia (41. 25).

Muros de tapial reforzada con bambú. La mezcla que se emplea consiste en barro, hoja de pino y 5% de cal hidratada. La mezcla de barro se apisona en una formaleta metálica en forma de "T", de 80 cm de largo, 40 cm de alto y 30 cm de ancho. La formaleta se coloca alrededor de 4 tallos de bambú rollizos, dos de las cuales van anclados a los extremos del refuerzo dejado en la cimentación. La mezcla se apisona con palos en capas de 10 cm hasta reducir su volumen a un 60%. Al llenar la formaleta, puede ser subida inmediatamente para continuar el proceso. Cada elemento vertical de muros en forma de "T" es independiente de los adyacentes, se deja un espacio de 2 cm que más adelante se rellena con barro, esto se hace con el fin de que cada elemento de pared sea capaz de resistir, por sí solo, los momentos sísmicos. Al eliminar la formaleta se debe pulir la superficie final exterior con una plancha de metal (41. 25).

Solera superior. En la parte superior del muro se coloca un amarre perimetral de bambú, amarrados a los refuerzos verticales de los muros. Este amarre superior, junto con el de la cimentación, son las únicas interconexiones horizontales de los muros, evitando su caída hacia adentro o afuera de la vivienda.

Estructura de la cubierta. Se usa madera aserrada, con una cubierta de lámina de zinc, calibre 28, colocadas sobre tijeras de madera, las cuales se apoyan sobre 6 postes independientes de los muros (41. 36).

Acabado final. Para evitar la erosión de los muros causada por la lluvia, se debe proteger la superficie exterior pintándola con sangre o cal con suficiente agua, alumbre y sal. Es mejor aplicar dos capas delgadas que una gruesa. Es importante mencionar que los tallos de bambú que se emplean en la edificación se curan con humo (41. 27).

Especificaciones (41. 36):

área de cubierta	tiempo de ejecución	costo/metro ²	costo total
70.00 m2	2 semanas y media	Q11.16	Q611.75

Sistema de pared de sacos rellenos de arena pómez:

Cimiento. Se considera como un rodapie ciclópeo de 10 cm de ancho, 50 cm de altura y hasta 60 cm bajo el nivel del piso, dependiendo de las condiciones del subsuelo (41. 29).

Estructura. Se colocan parejas de postes verticales de madera de 6-8 cm de diámetro, espaciados a cada 2.25 m y además parejas de postes secundarios de bambú de 3-4 cm de diámetro, espaciados a cada 45 cm. La separación entre parejas es de 10 cm. Los postes de madera se impregnan con pentaclorofenol y se empotran en el piso. Los postes de bambú inician 10 cm arriba del nivel de piso sin ningún tratamiento. Todos los postes se amarran a una solera superior de madera de 5x10 cm (41. 29).

Cerramiento. El sistema nace de la idea de eliminar aglutinantes como el cemento y la cal, usando arena pómez suelta, con un diámetro máximo de 2 cm, confinada en un saco de algodón de 9 cm de diámetro y 1.7 a 2.8 m de largo. Los sacos se engrapan entre sí y se yuxtaponen hasta alcanzar una altura de 1.8 m sobre el nivel del suelo. En la yuxtaposición los sacos se deforman en su sección circular debido a la presión y se transforman en un sección rectangular de 8x10 cm, con esquinas redondeadas. Antes de colocarse los sacos se sumergen en una

solución de cal y agua para prevenir que la tela se pudra. Luego de colocar los sacos en su lugar, se les aplica otra solución de cal en la superficie con brocha. Los sacos se colocan horizontalmente sobre el cimientto y el espacio dejado entre las parejas de postes primarios como secundarios de la estructura (41. 29).

El sistema permite movimientos diferenciales producidos por sismos, su comportamiento es similar al bajareque que se utiliza comúnmente en Guatemala. En comparación con el tapial que toma dos semanas y media, este sistema requiere menos de dos semanas para su construcción (41. 30).

Especificaciones (35. 213):

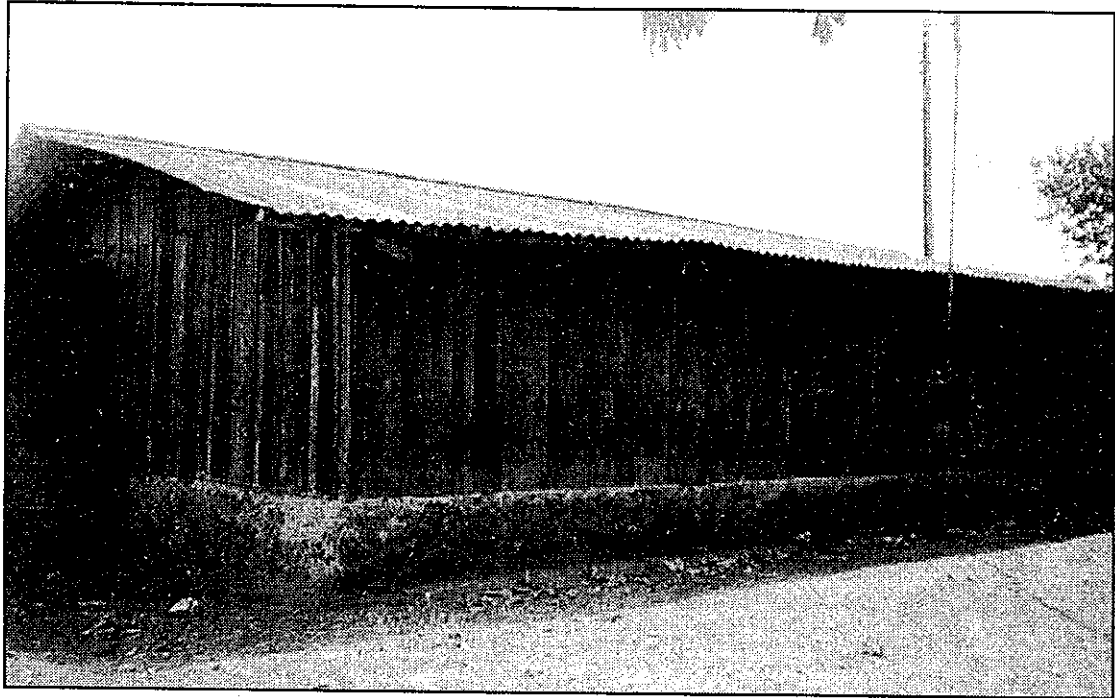
área de cubierta	tiempo de ejecución	costo/metro2	costo total
71.00 m2	menos de 2 semanas	Q11.46	Q630.00

5.3.2.2 Estado físico actual de los dos sistemas

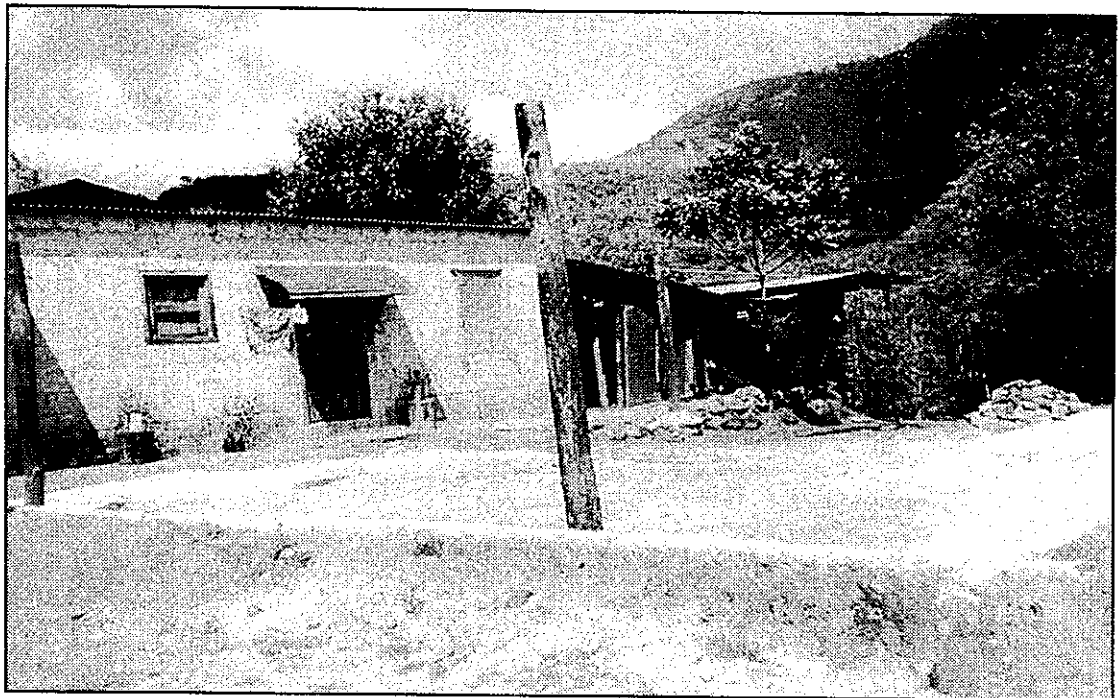
El señor Felipe Xoyón López, empleado de la parroquia de San Lucas Tolimán, cuenta que en el mes de Diciembre de 1976 se funda la colonia y a las familias beneficiadas se les proporciona un lote rectangular de 13x20 m y además una parcela para que cultiven café.

En la visita realizada a la Colonia Nacimiento se puede observar en un alto porcentaje que las viviendas se construyen con block y cubierta de lámina de zinc, dejando en el olvido las construcciones vernáculas. Durante la visita no fue posible localizar a ningún miembro de las familias beneficiadas con la construcción de los 2 prototipos.

En el lugar, donde en 1978 se construye la vivienda con muros de tapial reforzados con bambú, actualmente sólo se encuentra el cimientto corrido del sis-



Los muros de tapial se sustituyen por tablas de madera de pino.



El cemento corrido y tres horcones, es lo único que queda de la vivienda de paredes de sacos rellenos de arena pómez.

tema. Felipe cuenta que en 1990 por causa del terremoto de Pochuta, el cual provoca la caída de varias viviendas en la Finca Santo Tomás, ubicada a 2 km. de la Colonia, el propietario de la vivienda el Sr. Margarito López decide botar los muros de tapial de su vivienda (los cuales no sufrieron ningún daño y se encontraban en perfecto estado), por temor a sufrir daños por los sismos y los sustituye con tablas de madera de pino y emplea el mismo techo de lámina de zinc, como se muestra en la fotografía No. 36.

En el caso de la vivienda de paredes de sacos rellenos de arena pómez, actualmente sólo se encuentra el cimientto corrido y tres horcones del sistema como lo muestra la fotografía No. 37. Felipe continua diciendo, que las condiciones económicas de varias familias beneficiadas van mejorando con el tiempo a través del cultivo de café y por lo tanto desean tener una vivienda más moderna. Éste es el caso del Sr. Bernardino Díaz que construye su vivienda de block, similar a las que prevalecen en la Colonia y que posteriormente en el mes de diciembre de 1998 decide botar su vivienda de sacos rellenos de arena pómez.

5.3.3 Sistema de paneles prefabricados

En 1998 el INTECAP inicia la etapa de construcción de viviendas modelos del Proyecto Bambú. La primer vivienda se edifica en el Centro de Capacitación Guatemala I. Para la construcción se adquiere la transferencia de tecnología de Costa Rica.

Este sistema consiste en la construcción de muros mediante paneles prefabricados con bastidor de madera que constituye la estructura del mismo, un cerramiento donde se emplea tablillas de bambú de la especie *Gigantochloa verticillata* y un mortero de revestimiento en ambas caras del cerramiento.

Las medidas de los paneles es variable y se trabaja con multiples de 0.30 m con el fin de industrializar la construcción de paneles en serie a través de una

plantilla de madera. Para la edificación de la vivienda modelo se emplean 16 paneles prefabricados, el más pequeño mide 1.20x2.40 m y el mayor 3.00x2.40 m de altura.

El bastidor de los paneles se forma de elementos verticales y horizontales en madera de ciprés cepillada. Los primeros de 2"x2", espaciados con un mínimo de 0.30 m y un máximo de 0.90 m. Los elementos horizontales, en la parte inferior de 2"x4" y el superior de 2"x2". El bastidor es forrado en una de sus caras con tablillas de bambú de 2 cm aproximadamente de ancho, espaciadas a 1 cm, las tablillas se clavan al bastidor.

El bambú que se emplea en el cerramiento es tratado mediante el método de inmersión y el preservante que se emplea para proteger el material contra insectos y hongos es el Boro, el cual se aplica en una solución cuya proporción es del 15% por tonel de agua.

5.3.3.1 Ubicación y descripción del sistema

Ubicación. La casa modelo de bambú se edifica en el Centro de Capacitación de INTECAP denominado Guatemala I, ubicado en la 14 Calle 31-30 de la Zona 7, Ciudad de Plata II (sobre el Anillo Periférico), de la Capital guatemalteca.

Descripción del sistema:

Cimiento. Consiste en un cimiento corrido de concreto cuya proporción es del 1:2:3 cemento, arena y piedrín, de 0.30 m de ancho y 0.20 m de profundidad, con 3 hierros corridos de 3/8" y eslabones de 1/4" espaciados a cada 0.20 m, además se colocan pines de hierro de 3/8" de 0.80 m de largo, espaciados a cada 0.90 m, para anclar los paneles a la solera. Sobre el cimiento se coloca una primer hilada de block de 0.15 m y una segunda hilada de block U

como solera de humedad, con 2 hierros corridos de 3/8" y eslabones de 1/4" espaciados a cada 0.20 m.

Paneles de bambú. Sobre la solera de humedad se colocan los paneles de bambú, tratando de que coincidan los orificios de los elementos horizontales inferiores con los pines dejados en el cemento para sujetar o anclar los paneles. Para el montaje de paneles se deben seguir los procedimientos de construcción usados para cualquier muro o tabique prefabricado, es decir, a nivel, a plomo y apuntalar. En ningún momento debe eliminarse a los paneles el apuntalamiento antes de aplicarles el revestimiento, ya que éste le proporciona al sistema la rigidez necesaria. Los paneles se aseguran entre si con 3 pernos de 3/8" x 4.5" y en las esquinas con 5 pernos para mayor rigidez. En áreas donde queda visible completamente la madera, se debe colocar malla de gallinero para facilitar la adherencia del mortero.

Solera de amarre. En el perímetro superior del sistema, se coloca una solera de amarre consistente en madera de ciprés de 2"x4", acostada con traslape en los extremos, con el fin de amarrar los paneles en la parte superior y también para poder anclar las tijeras.

Estructura de cubierta. Se emplean 6 tijera a lo largo de la vivienda de madera de ciprés de 2"x4" y tendales de 2"x2" para poder anclar la cubierta. Las tijeras se sujetan con la solera de amarre a través de tornillos para madera.

Cubierta. En ambos lados de la vivienda del sentido largo, se prolonga la cubierta 0.50 m y 0.30 m en el sentido corto, con el fin de proteger los muros de la lluvia. Se emplean láminas de Perfil 10, color rojo, de 12 pies de longitud, anclados con pernos apropiados para este tipo de cubierta.

Instalaciones eléctricas. La tubería que se utiliza es de poliducto de 1/2" tanto para interruptores, tomacorrientes y ducha, la misma debe ser colocada en el momento de la fabricación de los paneles con alambre de amarre y cubierta con malla de 3/4" para garantizar la adherencia del mortero.

Instalaciones hidráulicas y drenajes. La tubería que se utiliza para las instalaciones hidráulicas es de PVC, 3/4" para el circuito y 1/2" para los ramales. Para los drenajes se utiliza tubería de 4" y 2" para el lavatrasto y lavamanos. Las tuberías para la ducha, lavamanos y lavatrastos deben colocarse entre paneles dobles, debido al diámetro de la tubería. Las aguas de retretes y urinarios deben quedar separadas de las jabonosas, para que funcione adecuadamente la fosa séptica que se conecta al sistema de drenajes de la vivienda.

Revestimiento. Antes de aplicar el mortero a los paneles, éstos deben mojarse bien para evitar que posteriormente el bambú absorba la humedad del mortero, provocando agrietamiento. La primera capa que se le aplica a los paneles es un mortero cuya proporción es 1:3 (cemento y arena de río) en volumen, el mortero se aplica con la mano o con un plancha de metal. La segunda capa que se le aplica a los paneles es un repello cuya proporción es 1:3:1/2 (cal hidratada, arena amarilla y cemento) y finalmente se le aplica cernido remoliado en proporción 1:2 (cal hidratada y arena blanca fina). El apuntalado se debe retirar hasta finalizar de aplicar la segunda capa.

Puertas y ventanas. Las que quedan expuestas a la intemperie se fabrican de madera de ciprés, con sellador y laca de color natural. Las puertas interiores son de tambor, estructura de madera de ciprés y forro en ambas caras de plywood de ciprés, con sellador y laca transparente. A todas las puertas se les coloca chapa de bola, color dorada. Las ventanas se fabrican con madera de ciprés y vidrio claro de 5 mm de espesor.

5.3.3.2 Ventajas y desventajas

Ventajas

1. Es un sistema industrializable, porque se realiza a base de paneles prefabricados, con las ventajas que este sistema conlleva:
 - a) Mayor aprovechamiento de los materiales.
 - b) Reduce el tiempo de ejecución.
 - c) Facilidad para realizar el control de calidad.
 - d) Facilita la resolución de detalles.
 - f) Puede bajar el costo de construcción en relación al volumen.
2. Es un sistema que no requiere de equipo industrializado.
3. Es un sistema que no requiere de mano de obra especializada.
4. Es un sistema de tipo abierto ya que permite la utilización de otros elementos prefabricados (tijeras, cielos rasos).
5. Es un sistema resistente y autoportante.
6. Es un sistema de bajo costo para la construcción de viviendas.
7. Es un sistema que puede generar fuentes de trabajo tanto para el hombre como la mujer.

Desventajas

1. Utiliza madera tanto para la estructura como para las tijeras, lo cual no contribuye a evitar la deforestación.

2. La madera que utiliza es de ciprés, la cual viene a elevar el costo final de la vivienda.
3. La tipología de la vivienda que se maneja está en función del área urbana y no del área rural, donde se concentra la mayoría de la población guatemalteca de escasos recursos económicos.
4. Por ser un sistema industrializable tiene los siguientes inconvenientes:
 - a) Suele ser más cara, en pequeños volúmenes.
 - b) Restringe la facilidad para erigirse.
 - c) Aparecen trabajos monótonos.
 - d) No se puede modificar la distribución en planta.
5. La tubería de electricidad en algunas áreas queda visible.

5.3.3.3 Evaluación económica

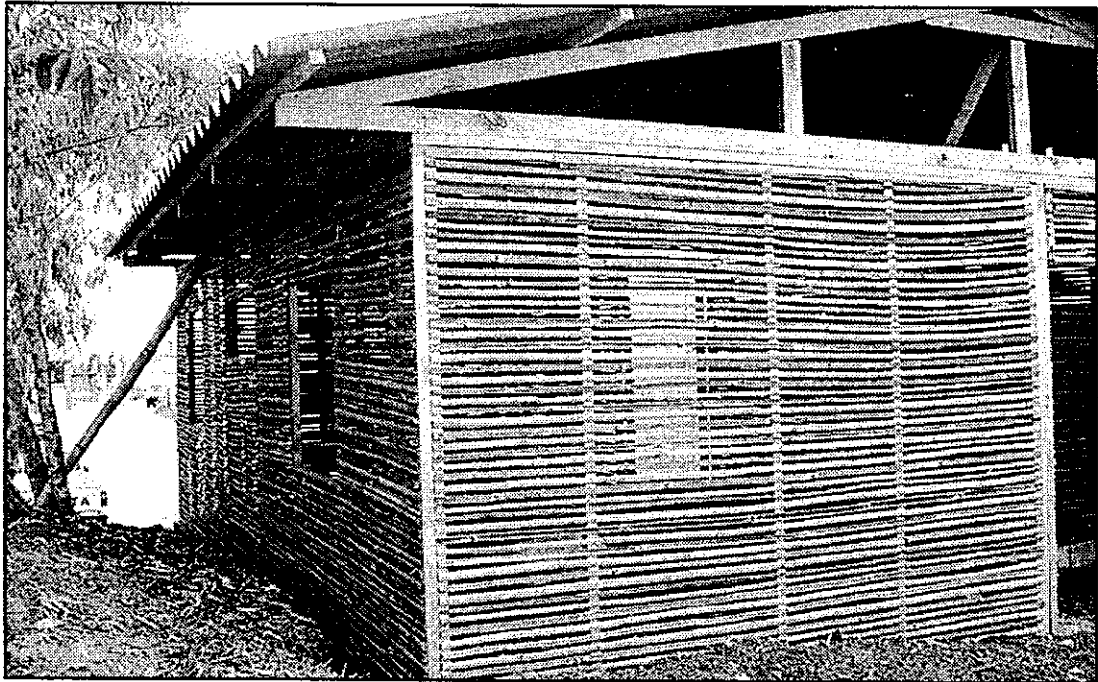
La arquitecta Gladys Padilla tiene a su cargo la parte constructiva del Proyecto Bambú en INTECAP, cuenta que hasta el momento lleva en proceso de ejecución 2 viviendas más, a las cuales trata la forma de eliminarle casi por completo el empleo de madera para darle paso al bambú. Finalmente, concluye que el costo de construcción de la vivienda que más adelante se detalla, no incluye gastos de supervisión, ni utilidades.

Especificaciones:

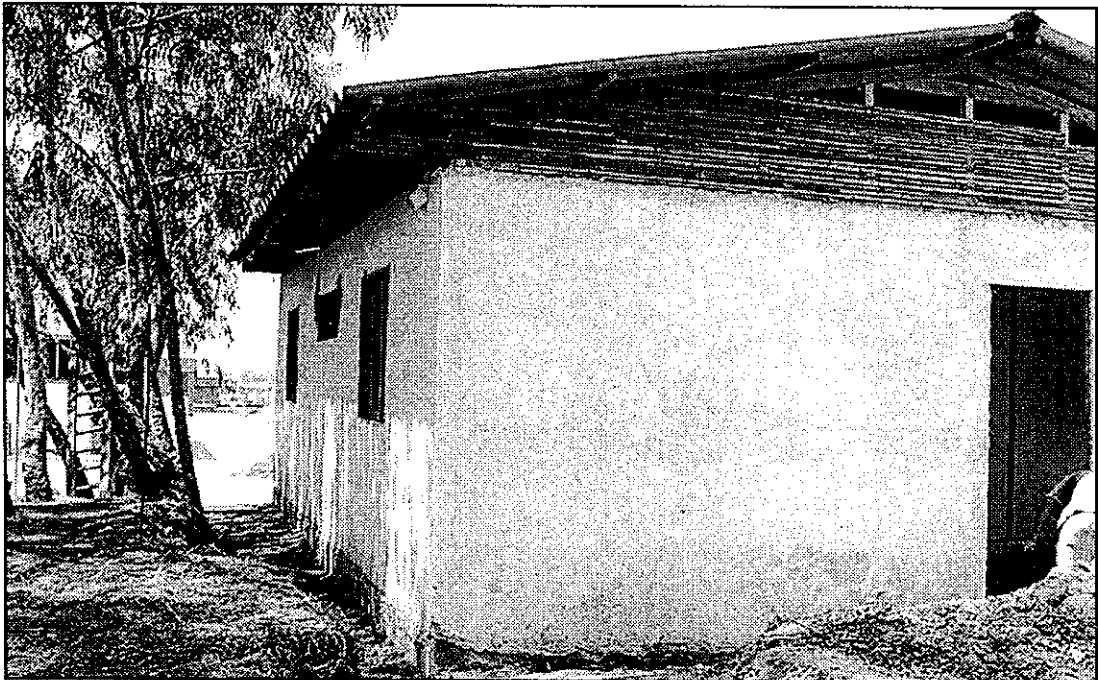
área de construcción	tiempo de ejecución	costo/metro ²	costo total
49.20 m ²	5 semanas	Q790.11	Q38,873.66

Tabla 19

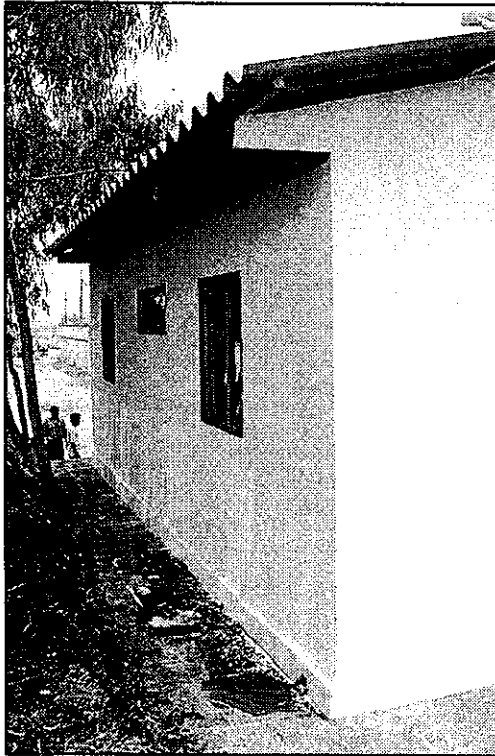
Presupuesto de vivienda		
Descripción	Materiales	Mano de obra
Trabajos de albañilería	Q 8,824.20	Q 5,800.00
Paneles de madera y bambú	Q 3,703.10	Q 3,300.00
Tijeras y cubierta	Q 3,886.00	Q 900.00
Instalaciones eléctricas	Q 1,016.65	Q 700.00
Instalaciones hidráulicas	Q 1,155.70	Q 850.00
Drenajes	Q 1,548.65	Q 700.00
Puertas y ventanas	Q 4,014.36	Q 2,475.00
Total	Q 24,148.66	Q 14,725.00



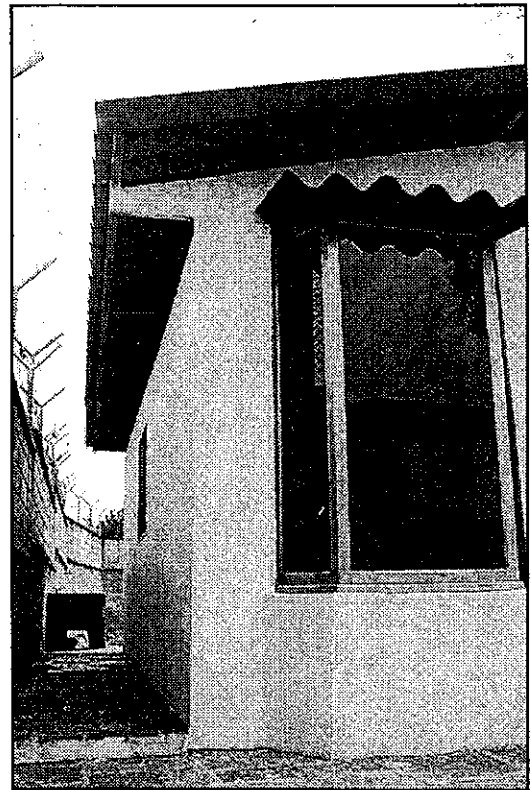
Para edificar la primera vivienda modelo en INTECAP, se emplean 16 paneles prefabricados a base de madera y tablillas de bambú.



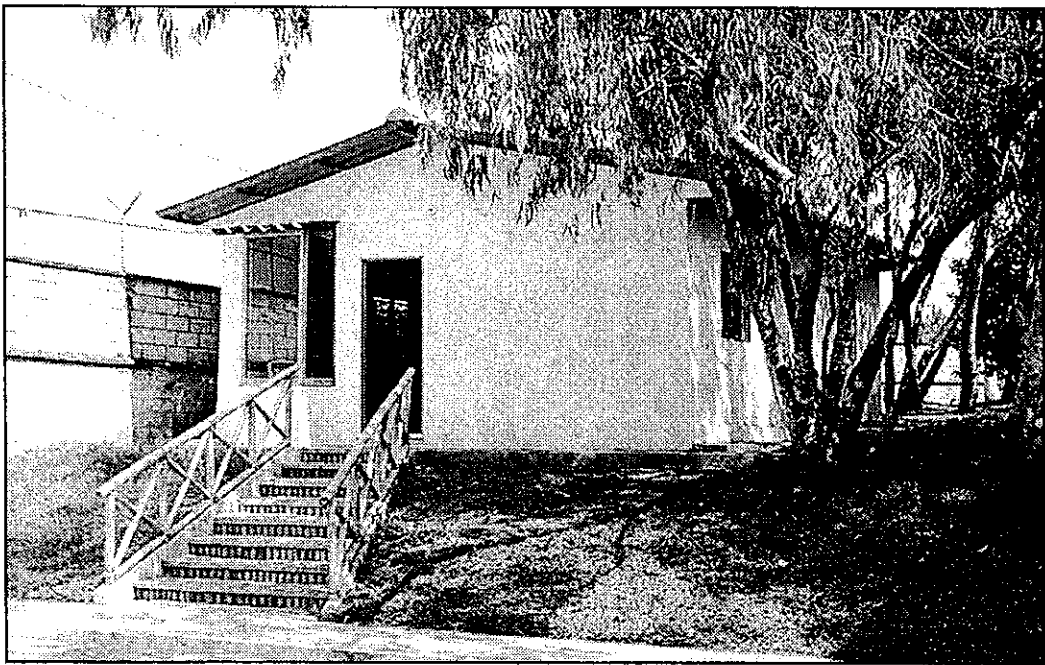
A los paneles se le aplica en ambas caras un mortero de cemento y arena de río, luego un repello de cemento, cal hidratada y arena amarilla.



**Para acabado final,
se aplica cernido remolineado.**



Vista lateral.



Vista general de vivienda terminada.

5.3.4 Sistema bajareque

5.3.4.1 Ubicación y descripción del sistema

Ubicación. Se construye en el área metropolitana de Guatemala.

Descripción del sistema. Consiste en una estructura por medio de postes de bambú rollizo, situados unos de otros a una distancia aproximada de 1.00 a 1.50 m, luego se colocan canales de bambú horizontalmente separados entre sí, en ambos lados de los postes, posteriormente se echa barro estabilizado con hojas de pino, hasta rellenar el espacio entre los canales y finalmente se le aplica repello más cernido. La cubierta está formada por una estructura de bambú rollizo y hoja de manaque. La edificación de este modelo forma parte de un conjunto de varias unidades que componen el primer centro ecoturístico que se construye en Guatemala.

5.3.4.2 Ventajas y desventajas

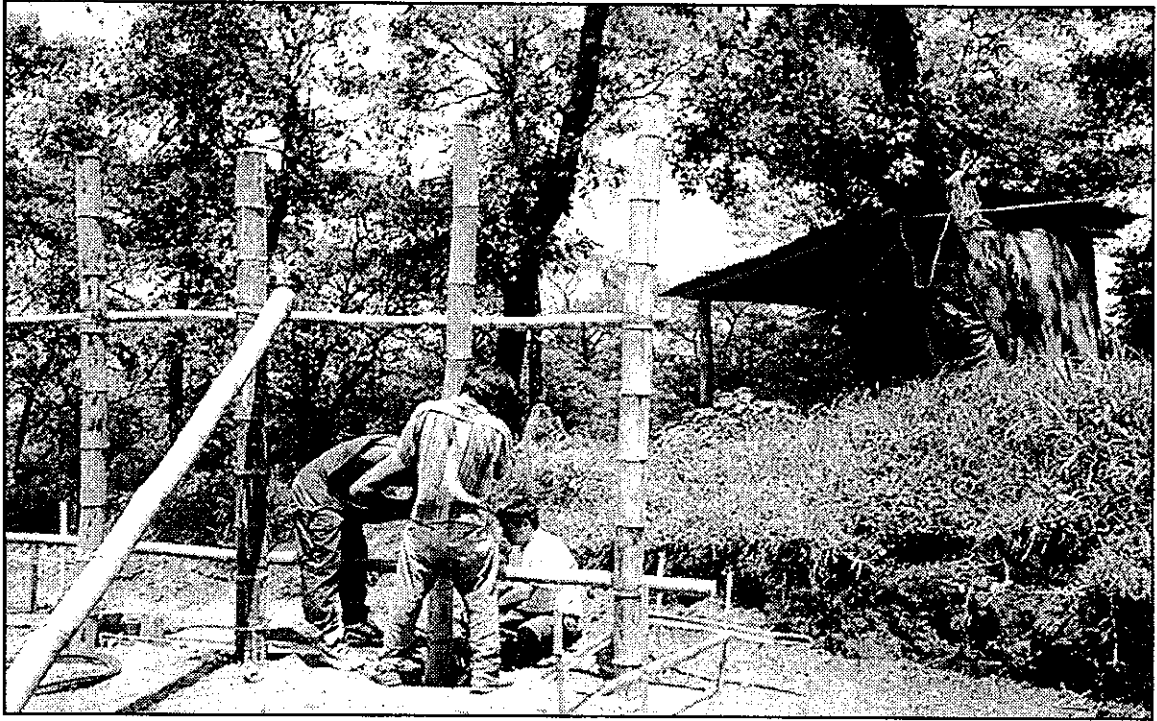
Ventajas

1. Es un sistema donde se utiliza el bajareque tecnificado, logrando su fácil aceptación por ser un sistema tradicional en Guatemala.
2. Es un sistema ecológico, porque utiliza casi en un 100 % materiales que proporciona la naturaleza.
3. Es un sistema que no requiere de mano de obra calificada.
4. Es un sistema que no requiere de equipo moderno para el aprovechamiento y empleo del bambú.
5. Es un sistema que combina muy bien con el paisaje natural.

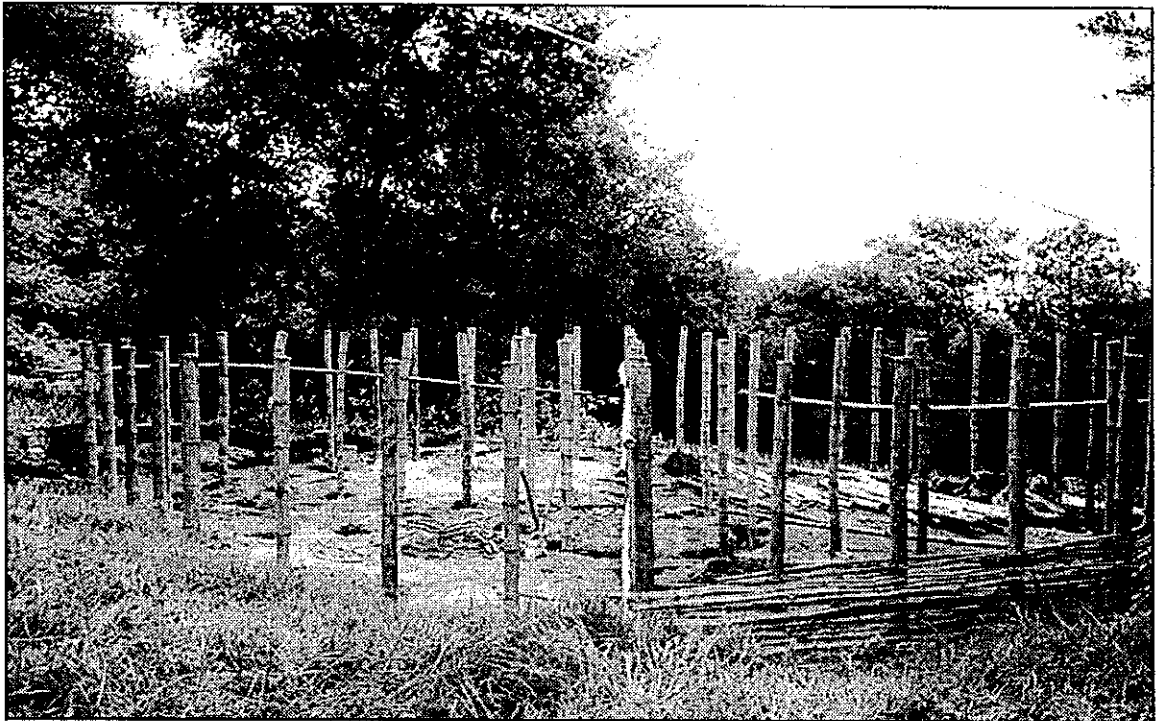
6. Es un sistema que muestra las cualidades físicas y mecánicas del bambú, como elemento estructural y como cerramiento.
7. Este sistema demuestra que el bambú no sólo se utiliza en viviendas de interés social, sino que se puede emplear en diferentes tipos de construcciones, proporcionando un ambiente acogedor y placentero.
8. La construcción con este sistema y material no son peligrosas en regiones sísmicas como Guatemala, ya que la pared se deforma sin destruirse completamente, provocando únicamente el desmoronamiento parcial de la tierra.

Desventaja

1. Los insectos se alojan fácilmente en los muros, cuando no se aplica una capa de mortero a base de cal, arena y barro.
2. Contracción en el secado.
3. La parte inferior de los muros exteriores se erosionan con el viento y la lluvia, los interiores sufren desgastes.



Los horcones o columnas se funden para protegerlas de la humedad.



Inicia la instalación de canales de bambú para formar la estructura del sistema.



Vista general del prototipo.

CONCLUSIONES

1. Guatemala, a través de la Universidad de San Carlos de Guatemala, USAC, cuenta con varios trabajos de investigación relacionados al bambú como material de construcción, los mismos han sido desarrollados por estudiantes al realizar su tesis de graduación. Lamentablemente las investigaciones son almacenadas o en otros casos eliminadas de las bibliotecas por no ser consultadas. Es decir, se investiga pero no existen mecanismos para publicar y difundir la información a estudiantes, profesionales o al sector dedicado a la construcción.
2. La especie de mayor aplicación en la construcción en algunos países de América Latina donde se aplica el bambú, es la guadua. En Guatemala actualmente su existencia es muy limitada, pero se estima que dentro de 5 años habrá material disponible.
3. La humedad en los tallos de bambú, en el momento de corte, es el factor determinante para obtener un material de excelentes condiciones tanto físicas como mecánicas, además de influir en la resistencia al ataque de insectos y hongos.
4. Uno de los métodos de mayor utilización que se emplea para el preservado del bambú rollizo o sus derivados con productos químicos, es el de inmersión, porque es económico, no se requiere equipo especial, se puede realizar en la obra y no influyen las diferencias de diámetros que normalmente existen en los rodales.
5. El bambú es el único recurso natural con gran potencial en la construcción, porque se puede aplicar en diferentes formas, en diferentes partes del proceso constructivo (de uso permanente o temporal) de una vivienda de interés social hasta una estructura arquitectónica moderna. También se puede combinar con otros materiales.

6. Las variaciones de valores de una determinada propiedad mecánica de una misma especie obtenida en diferentes ensayos, pueden estar influenciadas por la falta de normas que cubran los factores siguientes: la selección y técnicas de muestreo, el grado de madurez del tallo, la época de corte, la preparación del material y el número de probetas para el ensayo. Lo anterior no significa que los valores de las propiedades físico-mecánicas sean despreciables, todo lo contrario, los mismos reflejan el comportamiento del bambú bajo la acción de cargas, lo cual permite tener una base sólida para posteriores investigaciones.
7. El bambú posee su máxima capacidad de resistencia a los esfuerzos de tensión paralela a la fibra. El esfuerzo a compresión paralela a la fibra (todos respecto a la máxima propiedad), en la mayoría de los casos el valor oscila entre un 50%, excepto la *Bambusa guadua* que logra un 58%, la *Chusquea pittieri* y la *Gigantochloa aspera* con un 90%. El esfuerzo de corte paralelo a la fibra oscila (respecto a la máxima propiedad) en un 10%, excepto la *Bambusa arundinacea*, *Chusquea pittieri*, *Gigantochloa aspera* y *verticillata*, y la *Schizostachyum pseudolima* con un 18%. El esfuerzo a tensión perpendicular a la fibra oscila en un 3% y finalmente el clivaje en un 4%, ambos respecto a la máxima propiedad.
8. De las 13 especies locales de bambú evaluadas en los diferentes ensayos, la *Bambusa guadua* y la *Gigantochloa áspera* son las que poseen mejores características físicas; la longitud del tallo, la corta longitud del entrenudo, el diámetro y el espesor de pared. Además de poseer excelentes propiedades mecánicas, hacen de ellas el material ideal para la construcción.
9. El comportamiento de paneles de madera y cerramiento de bambú bajo cargas verticales, laterales, flexionantes y de impacto, demuestra su capacidad de resistencia, cubriendo las necesidades que se requieren para una vivienda de bajo costo.
10. Uno de los problemas que se detecta al realizar los ensayos de especímenes, de concreto reforzados con bambú es la mala adherencia. El refuerzo de

bambú en el concreto no impide la fisuración, pero si impide un colapso repentino, o fractura de tipo frágil tanto en los ensayos como en la práctica.

11. En la mayoría de los ensayos realizados de elementos de concreto reforzados con bambú, bajo cargas verticales, laterales y flexionantes, demuestran que la resistencia de los mismos supera el 50% respecto a los elementos reforzados con acero en iguales condiciones, excepto en los ensayos de flexión de paneles o placas que sólo alcanzan el 25%.
12. Después de las experiencias del terremoto de 1976, que afectó Guatemala, el miedo sigue latente al vivir en una casa donde los muros están edificados a base de barro, esto unido a la tendencia al consumo por imitación de sistemas constructivos a base de block y concreto armado, hacen que el concreto armado desplace las técnicas constructivas vernáculas, creando una total dependencia de los materiales que componen esta tecnología, marginando lentamente el acceso a vivienda que tiene derecho las personas de escasos recursos económicos.
13. El sistema constructivo a base de paneles prefabricados es una alternativa clara para contribuir a reducir el déficit habitacional, el costo de la vivienda no representa su valor real, ya que es el primer prototipo que se construye en Guatemala.
14. En Guatemala, el bambú es conocido desde los Mayas, pero su aplicación como material de construcción ha sido limitada y en forma empírica, lo que genera desconfianza entre profesionales, estudiantes y cualquier persona que desea aplicarlo en la construcción. Las preguntas que generalmente hacen son: ¿cuánto tiempo tarda el material si su uso es permanente?, ¿qué costo tiene una vivienda de bambú?, ¿una vivienda de bambú soporta las fuerzas a qué el hombre las somete y las fuerzas naturales, especialmente los sismos?, ¿que especies son las adecuadas para la construcción?, y otras. Estas preguntas se deben a la falta de conocimiento en su aplicación como material de construcción, a la falta de conocimiento de sus propiedades físico-mecánicas y a la poca existencia de las especies adecuadas para la construcción.

RECOMENDACIONES

1. Implementar en las las facultades de Ingeniería y Arquitectura, seminarios, talleres y en los cursos de materiales de construcción, temas sobre el bambú como material de construcción, para que los estudiantes conozcan las aplicaciones, sus cualidades físicas y las propiedades físico-mecánicas que proporciona este valioso recurso natural. Lo anterior se debe aplicar también a instituciones o entidades involucradas en la construcción.
2. Para lograr un material de alta resistencia, calidad y duradero, es indispensable tomar en cuenta la madurez del tallo, la época de corte, el secado y finalmente el curado o el preservado, según las condiciones económicas.
3. Para preservar tallos de bambú o sus derivados el método recomendable es el de inmersión por práctico y sencillo.
4. Los estudiantes, profesionales o personas dedicadas a la construcción deben ser los encargados de iniciar la aplicación del bambú como material de construcción, en casos sencillos, como andamios, escaleras, parales, etc. Utilizar lo que se tiene por el momento, con el fin que los guatemaltecos aprendan a vivir con este valioso recurso natural.
5. Establecer una serie de normas técnicas para los diferentes ensayos, con la participación de personas que están involucradas con el tema y con la asesoría de la Asociación Internacional del Bambú y Ratán, INBAR, que permita, al igual que en la madera, su aplicación técnica para emplearlo como elemento estructural.
6. Se debe continuar con la investigación, haciendo énfasis en elementos estructurales y en armaduras o tijeras construidas con tablillas de bambú, ya

- que todos los elementos que llegan a un nudo están sometidos a tensión y compresión, máximas propiedades que posee el bambú, haciendo más eficiente y económica la práctica constructiva.
7. Implementar el cultivo del bambú en diferentes regiones del país, específicamente las especies, *Bambusa guadua* y *Gigantoclhoa áspera*, con el fin de tener material de construcción para el futuro. Además este recurso natural viene a beneficiar la ecología del país.
 8. También se deben promover proyectos de investigación de prototipos de viviendas, para lograr el gran objetivo social de mejorar las condiciones de vida de la población que involucren los siguientes aspectos:
 - a) Utilizar el bambú como material básico y otros materiales locales dependiendo de la región.
 - b) La tipología de la vivienda debe tomar en cuenta espacio y ambientes mínimos para el ser humano, el clima, el paisaje, la cultura y la identidad, es decir, integral.
 - c) Utilizar técnicas constructivas apropiadas a las condiciones económicas y a la capacidad laboral de la población, de tal forma que se hagan programas posibles de autoconstrucción.
 9. En el sistema constructivo a base de paneles prefabricados es indispensable reducir al máximo el uso de madera, separar un poco más las tablillas de bambú en paneles, sustituir las puertas exteriores por metal y las interiores por bambú. Todo lo anterior viene a bajar los costos de la vivienda y contribuye a evitar la deforestación.
 10. Las instituciones o entidades dedicadas a la construcción deben realizar construcciones modelos o que estén al servicio de las comunidades, donde se aplique el bambú técnicamente y que el mismo esté visible, con el fin que los guatemaltecos adquieran confianza y puedan ellos mismos responder a sus inquietudes sobre el bambú como material de construcción.

BIBLIOGRAFÍA

1. ARCILA Losada, Jorge Humberto. Vigencia del bambú como hecho constructivo. Tesis doctoral. España, Universidad Politécnica de Catalunya. Departamento de Construcciones Arquitectónicas, 1993. 640 pág.
2. BELTRANENA, Emilio y otros. "Proyecto de investigación y desarrollo del cultivo y la utilización del bambú en Guatemala". II Simposio Latinoamericano sobre Bambú, (Guayaquil, Ecuador): 1-13. Septiembre 1982.
3. CORREA, Rodolfo. **La guadua, un regalo de la naturaleza.** 2a. de. Colombia: Propaganda Sancho S. A., 1991. 34 pág.
4. "DISEÑO Estructural". **Bambusetum.** (San José, Costa Rica): FUMBAMBU. 4-6. Octubre 1996.
5. DUNKELBERG, Klaus. **IL 31 Bambus/bamboo - Bambus las baustoff/bamboo as a building material.** West Germany: University of Stuttgart, 1985. 432 pág.
6. ESPINA Lee, Edwin Romeo. Paneles de concreto liviano con refuerzo de bambú (construcción y evaluación). Tesis de graduación de ingeniero civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, 1984. 66 pág.
7. FIGUEROA Calderón, Marco Tulio. Bambú y fibrocemento en la vivienda económica de Mazatenango. Tesis de graduación de arquitecto.

- Facultad de Arquitectura, Universidad de San Carlos de Guatemala.
Guatemala, 1990. 145 pág.
8. GARCÍA Chiú, Mario Roberto. Muros de tableros de bambú. Tesis de graduación de ingeniero civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, 1986. 86 pág.
 9. GONZÁLES, Guillermo. "Preservación de culmos de guadua". I Congreso Mundial del Bambú Guadua". (Pereira, Colombia): 77-83. 11-13 Agosto 1992.
 10. GOYZUETA Giordani, Eduardo. Usos del bambú en la construcción. Tesis de graduación de ingeniero civil. Facultad de Ciencias y Humanidades, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad del Valle. Guatemala, 1993. 92 pág.
 11. GUERRERO Vásquez, Carlos. "Tecnología constructiva con caña guadua". (Ecuador): Fundación Ecuatoriana del Hábitat. 168-171. s.f..
 12. GUT. Paul. "Estructuras de bambú". **Manual de estructuras y cubiertas de techos**. Cuba: Grupo Sofonías Suiza y CECAT, 1995. 84-89 pág.
 13. HERRERA Prera, Julio Roberto. Sistema constructivo a base de paneles de madera y bambú. Tesis de graduación de ingeniero civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, 1989. 48 pág.
 14. HIDALGO López, Oscar. "Construcciones 2". **Bambú, Cultivo y Aplicaciones**. Cali, Colombia: Estudios Técnicos Colombianos, 1974. 82-176 pág.
 15. HIDALGO López, Oscar. **Nuevas técnicas de construcción con bambú**. Bogotá Colombia: Estudios Técnicos Colombianos Ltda., 1978. 137 pág.

16. HIDALGO López, Oscar. **Manual de construcción con bambú**. Bogotá, Colombia: Estudios Técnicos Colombianos Ltda., 1981. 71 pág.
17. HUERTAS Arreaga, Oscar Danilo. Aplicación del bambú en la construcción de vivienda de interés social, en el municipio de Ixcán, El Quiché. Tesis de graduación de arquitecto. Facultad de Arquitectura, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, 1996. --- pág.
18. JANSSEN, Jules J.A.. **Bamboo**. Research at tre Eindhoven University of Technology. Netherlands: 1993. 8 pág.
19. JUÁREZ Gonzáles, Willy René. Evaluación de la capacidad resistente del sistema placa-poste de concreto reforzado con bambú, para vivienda económica. Tesis de graduación de ingeniero civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, 1985. 82 pág.
20. "LA madera de los pobres". **Agricultura de las Américas**. Vol. 34, (No. 9): 20-22. Septiembre 1985.
21. MARTÍNEZ Cáceres, Dixón Emanuel. "Puentes en do mayor". I Congreso Mundial del Bambú Guadua. (Pereira, Colombia): 172-179. 11-13 Agosto 1992.
22. McCLURE, F.A.. **El bambú como material de construcción**. Santa Fe de Bogotá: Centro Interamericano de Vivienda. 1953. 50 pág.
23. McKEE, Neill. "Bambú: el pasto alto". **El CIID Informa**. Vol. 15, (No. 4): 14-15. Octubre 1986.
24. MÉNDEZ Cahueque, Raúl. Caracterización de 11 cultivares de bambú, en la finca Chicolá, Suchitepéquez. Tesis de graduación de ingeniero agrónomo. Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, 1983. 106 pág.

25. MORALES Jola, Hernán Eduardo. Propiedades físico-mecánicas del bambú (6 especies recolectadas en los departamentos de Guatemala, Santa Rosa y Jutiapa). Tesis de graduación de ingeniero civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, 1985. 64 pág.
26. MORÁN, Jorge. Como construir con caña guadua. Quito, Ecuador: Junta Nacional de la Vivienda, Centro Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (HABITAT), 1987. 19 pág.
27. OLIVA Mayorga, Gustavo Adolfo. Evaluación de las propiedades físico mecánicas en cuatro especies de bambú. Tesis de graduación de ingeniero agrónomo. Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, 1989. 85 pág.
28. PAIZ García, Mario Rodolfo. Influencia de la fase de la luna en la conservación de la madera de bambú en la altura de la planta y en la conservación del grano de maíz. Técnico universitario fitotecnista especializado en cultivos. Guatemala, URL. Facultad de Ingeniería, 1986. 8-15 pág.
29. "PARTES de una guadua". Hoja informativa No. 14. (Quindío, Colombia): Corporación Autónoma Regional del Quindío. s.f..
30. PELÁEZ Urrutia, Juan Pablo. Losas de concreto liviano para letrinas reforzadas con bambú. Tesis de graduación de ingeniero civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, 1986. 91 pág.
31. PÉREZ P., Oscar. "Una posibilidad económica". **Reforestación con guadua.** (Colombia): 53-56. s.f..
32. "PROCESO para la preservación de la guadua". Hoja informativa No. 8. (Quindío, Colombia): Corporación Regional del Quindío. s.f..33.

33. RAMÍREZ, Jaime. "La caña guadua en la construcción". (Ecuador): Asoc. Escuela de Ingeniería Forestal. 1-37. 6-7 Abril 1989
34. "RECOMENDACIONES generales para el aprovechamiento del guadua". Hoja informativa No. 6. (Quindío, Colombia): Corporación Autónoma Regional del Quindío. s.f..
35. RODRÍGUEZ Ruiz, Sandra Judith. El bambú como alternativa constructiva en Guatemala. Tesis de graduación de arquitecto. Facultad de Arquitectura, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, 1994. 259 pág.
36. SALAZAR Contreras, Jaime y Gustavo Díaz. **Inmunización de la guadua**. Santa Fe de Bogotá, Colombia: Opciones Gráficas Editores Ltda, 1996. 17 pág.
37. SÁNCHEZ Triana, Ernesto. "Comportamiento de elementos estructurales de suelo-cemento reforzado con bambú guadua". I Simposio Latinoamericano sobre Bambú. (Maizales, Colombia): 1-8. Agosto 1981.
38. TEJEDA Vásquez, Julio Hector. Determinación de las propiedades físico mecánicas de cuatro especies de bambú. Tesis de graduación de ingeniero agrónomo. Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, 1990. 74 pág.
39. SALAZAR Contreras, Jaime y Elliot Correcha Ricaurte. "Comportamiento de columnas en guadua". **Revista Ingeniería agrícola**. (Colombia): s.f.
40. SIOPONGCO, Joaquín y Murdiati Munandar. **Technology manual on bamboo as building material**. Regional Network in Asia for Low-Cost Building Materials Technologies and Construction Systems (DP/RAS/82/012). Philippines: 1987. 92 pág

41. "SISTEMA de vivienda de bajo costo para Guatemala". Laboratorio de construcciones experimentales, Universidad de Kassel, Alemania. Facultad de Arquitectura, Universidad Francisco Marroquín, Guatemala. CEMAT, Guatemala: 1980. 69 pág.
42. URRUTIA Revilla, Juan Francisco. Propiedades físico mecánicas del bambú (estudio preliminar de 6 especies de la finca Chicolá, Suchitepéquez). Tesis de graduación de ingeniero civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, 1983. 92 pág.
43. VALIENTE Navarro, María de los Angeles. Utilización del bambú en el diseño de vivienda para la región del sur oriente de Guatemala. Tesis de graduación de arquitecto. Facultad de Arquitectura, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, 1985. 178 pág.
44. VENEGAS, Arturo. "Más y más hectáreas". **Bambusetum**. (San José, Costa Rica): 2-15. Marzo 1996.
45. "VIVIENDA en guadua... una alternativa versátil". 2a. de. Colombia: FUNDEGRAF, 1995. 26 pág.