

39577

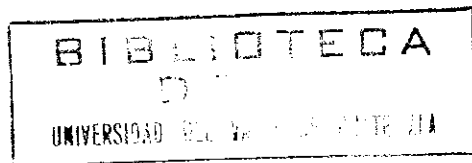
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades

Departamento de Ingeniería Civil

USOS DEL BAMBU EN CONSTRUCCION

EDUARDO GOYZUETA GIORDANI

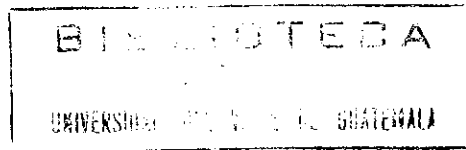


Guatemala

1993



USOS DEL BAMBU EN CONSTRUCCION



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades

Departamento de Ingeniería Civil

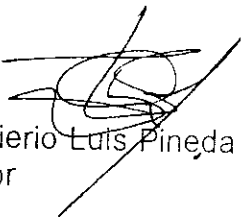
USOS DEL BAMBU EN CONSTRUCCION

EDUARDO GOYZUETA GIORDANI

Trabajo de investigación presentado para optar
al grado académico de Licenciado en
Ingeniería Civil

Guatemala
1993

Vo. Bo. :

(f) - 
Ingeniero Luis Pineda del Cid
Asesor

Tribunal:

(f) - 
Ingeniero Franklin Matzdorf

(f) - 
Ingeniero Luis Pineda del Cid

(f) - 
Ingeniero Manuel Fernández

Fecha de aprobación: 26 de agosto de 1993.

CONTENIDO

	Páginas	
	LISTA DE TABLAS Y FIGURAS	x
I.	INTRODUCCION	1
II.	JUSTIFICACION	2
III.	ANTECEDENTES	4
IV.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
	A. Explicación del problema	9
	B. Delimitación del problema	9
V.	OBJETIVOS	
	A. Objetivos generales	11
	B. Objetivos específicos	11
VI.	MATERIALES Y METODOS	12
VII.	INFORMACION GENERAL DEL BAMBU	
	A. Clasificación	15
	B. Distribución geográfica	15
	C. Morfología y crecimiento	17
	D. Usos del bambú	19
VIII.	DESCRIPCION DEL LUGAR Y LA ESPECIE	
	A. Aspectos generales del lugar de muestreo	
	1. Fisiografía	23
	2. Clima	23
	3. Suelos	24

	B. Características de la especie seleccionada	
	1. Bambusa vulgaris	25
IX.	PROPIEDADES FISICAS	
	A. Peso específico	27
X.	PROPIEDADES MECANICAS	
	A. Tensión paralela a la fibra	29
	B. Compresión paralela a la fibra	32
	C. Flexión	34
XI.	MANEJO ESTADISTICO DE RESULTADOS	
	A. Análisis estadístico	37
	B. Aplicación de parámetros estadísticos	46
XII.	USOS DEL BAMBU EN CONSTRUCCION	
	A. Uso del bambú como andamio	50
	B. Uso del bambú como soporte de formaleta para losas	55
	C. Uso del bambú en otras áreas de construcción	57
XIII.	CONCLUSIONES	61
XIV.	RECOMENDACIONES	63
XV.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	65
XVI.	BIBLIOGRAFIA	67
	APENDICES	
	A. Resultados obtenidos en las pruebas físicas	68
	B. Resultados obtenidos en las pruebas mecánicas	69
	C. Formulario	80

GLOSARIO	82
SIMBOLOGIA	83

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

TABLAS	Páginas
A. Percentilas (tp) de la distribución t de Student	45
1. Peso específico aparente	68
2. Tensión paralela a la fibra	69
3. Módulo de elasticidad en tensión	70
4. Compresión paralela a la fibra	71
5. Módulo de elasticidad en compresión	72
6. Módulo de ruptura en flexión estática	73
7. Esfuerzo de corte en flexión estática	74
8. Comparación entre el bambú y la madera de pino	75
9. Curva esfuerzo-deformación de muestras sin nudo a tensión	76
10. Curva esfuerzo-deformación de muestras con nudo a tensión	77
11. Curva esfuerzo-deformación de muestras sin nudo a compresión	78
12. Curva esfuerzo-deformación de muestras con nudo a compresión	79
FIGURAS	
1. Esquema de una planta de bambú	21
2. Tipos de rizomas	22
3. Macollas de bambú	26
4. Dimensiones de las probetas	31
5. Flexión estática y compresión	36
6. Nudos del bambú	53
7. Andamio hecho con bambú	54

I. INTRODUCCION

Este trabajo busca implementar al bambú como nuevo recurso económico renovable que permita sustituir, a un costo más bajo, ciertos materiales tradicionales utilizados en construcción.

Actualmente, a través de referencias bibliográficas y de la información obtenida en simposios latinoamericanos, se tiene conocimiento de su empleo como columna, viga, armadura, andamio, formaleta y otros.

Su uso racional y tecnificado requiere conocer sus características físicas y mecánicas más importantes. Para la obtención de estas propiedades se adoptaron en lo posible las normas ASTM (American Society for Testing and Materials) de pruebas en madera (1).

Los resultados servirán de base para el establecimiento de una tecnología constructiva del bambú para su uso en construcción y, además, permitirán crear una propuesta de métodos de ensayo y evaluación de propiedades físico-mecánicas del bambú.

II. JUSTIFICACION

La escasez de vivienda en Guatemala es una manifestación de la deficiencia estructural del sistema institucional y social que vivimos.

El problema se agrava, aún más, debido al encarecimiento y escasez de los recursos naturales.

No podemos esperar indefinidamente a que se den las condiciones propicias para darle una solución ideal. Por el contrario, la búsqueda de opciones lógicas y aplicables a corto plazo es definitivamente necesaria. Sería ideal establecer una serie de normas técnicas, basadas en estudios experimentales, sobre materiales de construcción que pudieran sustituir a aquellos que originan el problema.

El bambú, un recurso natural renovable, es una planta que posee las características ideales que lo presentan como un ventajoso sustituto de algunos materiales de construcción tradicionales. Su empleo se ha basado en los sistemas de construcción propios de cada región.

Considerando que otras opciones tecnológicas locales implican el uso de la madera, cuya participación en el deterioro del medio ambiente, debido al alto grado de deforestación, es muy grande, y a la información que existe de su empleo tanto en países del sureste de Asia, pioneros en este campo, como en la América del Sur, este trabajo propone la utilización del bambú en construcción.

III. ANTECEDENTES

El bambú lo es todo para algunos y algo para todos. Enriquece el suelo, protege la tierra de inundaciones y terremotos; provee al hombre de herramientas para trabajar, de instrumentos para hacer música, de juguetes para divertir a sus hijos y de armas para defenderse de sus enemigos.

Ningún vegetal tiene tantos y tan variados usos; inclusive un científico ha destilado, de él, un combustible.

En el mundo existen unas mil especies de bambú, pertenecientes a unos 50 géneros. Su altura varía desde el tamaño de la grama hasta gigantes de 120 pies de alto y 1 pie de diámetro. Crecen tanto en los trópicos, a nivel del mar, como en alturas de hasta 13,000 pies. Aunque varíen bastante en color, forma y tamaño, todos tienen una característica en común: su tallo. Muy pocos son sólidos, la mayoría son huecos, divididos por nudos.

Por sus extraordinarias cualidades físicas, su forma, su rápido crecimiento y bajo peso, el bambú ha sido el material de uso más diversificado que ha existido (2).

Los chinos fueron los primeros en realizar investigaciones acerca de las propiedades físico-mecánicas del bambú y utilizarlo como material de construcción.

En 1914 se publicó el primer estudio científico del bambú por H.K. Chu en el Massachusetts Institute of Technology (MIT), E.E.U.U, y posteriormente, en esa misma década, la Dirección de Conservación de Whangpoo, en la China, efectuó los primeros experimentos utilizando el bambú como refuerzo en concreto (3).

Desde entonces se han realizado investigaciones para determinar las propiedades físico-mecánicas de especies de bambú, sobre todo las de tensión, compresión y flexión, con el propósito de utilizarlo como material de construcción.

En 1944, H.E. Glenn realizó en Clemson Agricultural College, Carolina del Sur, E.E.U.U, una serie de experimentos encaminados a la utilización del bambú con este propósito (4).

Para la determinación de las características físico-mecánicas se tuvo en cuenta lo siguiente: la especie de bambú, edad del tallo, grado de madurez, la variación en las propiedades mecánicas debida a los nudos y el tratamiento de los tallos.

El promedio de la máxima resistencia a la tensión de las especies y variedades fue de 2,640 Kg/cm² en el entrenudo y de 2,285 Kg/cm² en el nudo.

Al mismo tiempo que Glenn, G.E. Heck realizó en el Forest Products Laboratory de Madison, Wisconsin, E.E.U.U, una serie de estudios sobre las propiedades de algunos bambúes de origen asiático cultivados en Puerto Rico y de especies nativas de América, como la Bambusa guadua angustifolia de Colombia y Ecuador (5).

Se ensayaron a flexión estática tablillas de bambú, sin que los resultados llegaran a diferencias apreciables.

El doctor Mahmoud Aly Reda Youssef, de la Universidad del Cairo, Egipto, en su programa para emplear materiales no metálicos y de bajo costo para sustituir los empleados en la construcción tradicional, consideró, entre otros, el bambú (6).

Se realizaron pruebas de tensión , compresión y flexión de una especie de bambú identificada como Arudinaria gigantea.

Se concluyó que el porcentaje de humedad influye enormemente en las propiedades físico-mecánicas, siendo los tallos secos hasta dos veces más resistentes que los recién cortados.

Con el fin de comprobar la variación de la resistencia del bambú de acuerdo con la edad, el investigador Shen-Chao Wu de la Universidad Nacional de Taiwan midió valores de densidad y de las propiedades físico-mecánicas de tallos de 1 a 6 años de edad (7).

Los resultados mostraron que la densidad y la resistencia a la compresión y flexión se incrementan rápidamente en los primeros años. Posteriormente este incremento disminuye e incluso, llega a desaparecer del quinto al sexto año.

En la pasada década, el arquitecto e investigador colombiano Oscar Hidalgo López, dirigió una investigación sobre el empleo de cables de cintas de guadua (8).

El experimento consistió en utilizar, como refuerzo, cables de bambú torsionados tomados de la parte externa del tallo, siguiendo las mismas técnicas empleadas por los chinos en la elaboración de cuerdas de bambú de gran diámetro que utilizaban en la construcción de puentes colgantes.

Hidalgo concluyó que "los cables de bambú abren un nuevo campo en la construcción de pequeñas estructuras rurales y de elementos monolíticos o

prefabricados, con la posibilidad de utilizarlo en el pretensionamiento de los mismos."

En 1959, el ingeniero Leonel Pinot Leiva estableció en su trabajo de tesis(9), que "Entre los materiales vegetales, el bambú es el que presenta las mejores cualidades como elemento constructivo, debido a sus múltiples usos, a su resistencia, adaptabilidad y aspecto."

Dentro de los trabajos de investigación más recientes sobre las propiedades físico-mecánicas del bambú, se encuentra el realizado por el ingeniero Francisco Urrutia, en 1983 (10).

IV. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A. Explicación del problema

La presente investigación pretende establecer, primero, las principales propiedades físico-mecánicas de una especie de bambú y, segundo, proponer su utilización en construcción.

Como propiedad física tenemos el peso específico. Las propiedades mecánicas incluyen la tensión y compresión paralela a la fibra, y la flexión.

B. Delimitación del problema

Para el estudio se recolectaron muestras de bambú en la Finca Rancho Alegre, municipio de Río Bravo, departamento de Suchitepéquez. Se seleccionó la especie Bambusa vulgaris de forma horticultural vittata. La clasificación del tallo fue realizada por la Dra. Elfriede de Poll.

Para la obtención de muestras se tuvo en cuenta que estuvieran dentro de la edad de 3 y 5 años, período en el cual el bambú ha adquirido su madurez y máxima resistencia.

Las pruebas físico-mecánicas se llevaron a cabo en el laboratorio de investigaciones de la universidad, que cuenta con las instalaciones, equipo y personal para realizarlas.

Los resultados que se obtuvieron servirán de base y respaldo para la fase de investigación, que propone establecer técnicas adecuadas para el empleo del bambú en la construcción de andamios, soporte de formaleta para losas y otros posibles usos que sugieren los resultados.

V. OBJETIVOS

A. Objetivos generales

1. Proporcionar métodos para la determinación de las propiedades físico-mecánicas del bambú a través de ensayos de laboratorio.
2. Continuar con el establecimiento de normas técnicas y procedimientos de ensayo adecuados para la utilización del bambú.
3. Determinar la capacidad del bambú para ser utilizado como sustituto de elementos tradicionales empleados en construcción.

B. Objetivos específicos

1. Determinar las propiedades y principales características físico-mecánicas de la especie de bambú seleccionada.
2. Elaborar una propuesta para la utilización del bambú como andamio, en el soporte de formaleta para losas, y en otras áreas de construcción.

VI. MATERIALES Y METODOS

Debido a que se experimentaba con un material nuevo dentro del campo de la ingeniería guatemalteca, fue indispensable realizar una serie de estudios preliminares para poder evaluar la factibilidad de la investigación. Esto constituyó una valiosa guía para recolectar información acerca del bambú y establecer un procedimiento adecuado para su estudio.

Para la realización de la investigación de las propiedades físico-mecánicas del bambú, se tomó como base las normas establecidas por la ASTM (American Society for Testing and Materials) para madera (1). Se adoptó, en lo posible, la norma ASTM D143, la cual especifica los tipos de ensayos a realizarse para determinar las características y calidad de las maderas. Los resultados de estas pruebas permitieron definir los métodos y técnicas de ensayo del bambú y la proposición de su uso en ciertas áreas de construcción.

A continuación, se seleccionó la zona y técnicas de muestreo. Se escogió la Finca Rancho Alegre en el municipio de Río Bravo, departamento de Suchitepéquez, por ser un área típica y representativa del cultivo del bambú, y la especie Bambusa vulgaris de forma horticultural vittata por ser la más abundante.

Las muestras se recogieron al azar entre las cañas que presentaban mejor aspecto, es decir, tramos rectos más largos y paredes libres de imperfecciones y hongos. Se cortaron 50 cañas provenientes de su respectiva macolla. Ya removidas las ramas y hojas, se cortaron en secciones de 2.50 m de longitud. Las muestras fueron identificadas y trasladadas al laboratorio.

Los tallos de bambú fueron secados al aire hasta llegar, progresivamente, a la humedad de equilibrio con el medio ambiente. El secado consistió en apilar horizontalmente los tallos bajo techo para protegerlos del sol y la lluvia. Los rayos del sol producen una pérdida de humedad brusca, que genera deformaciones transversales y longitudinales.

El período de secado se llevó a cabo durante los meses de febrero y marzo, a una temperatura promedio de 25 °C.

Al equilibrarse el contenido de humedad de los tallos de bambú, luego de 8 semanas, se procedió a la preparación y corte de las probetas para los ensayos de laboratorio.

En la elaboración de éstas se consideró la dirección de las fibras con relación a los ejes de las piezas para obtener resultados correctos. Se utilizaron muestras libres de defectos.

La última fase del estudio consistió de dos partes. La primera fue el análisis y presentación de los datos obtenidos en las pruebas. Se utilizaron métodos estadísticos para resumir los resultados de los ensayos. (Ver capítulo XI).

La segunda, basada en los resultados de las pruebas, fue proponer el uso del bambú en ciertas áreas de construcción. (La descripción de cada uno se detalla en el capítulo XII).

VII. INFORMACION GENERAL DEL BAMBU

A. Clasificación

La clasificación botánica del bambú realizada por McClure en su libro Flora of Guatemala es la siguiente (12):

Reino	Vegetal
Sub-Reino	Embryibionta
División	Magnoliophyta
Clase	Liliópsida(Monocotilidóneas)
Sub-clase	Commelinidae
Familia	Gramineae(Poaceae)
Sub-familia	Bambusoideae(Poacineae)
Tribu	Bambuseae

B. Distribución geográfica

El bambú es el único grupo de gramíneas que se encuentra distribuido en

todo el mundo. Abunda en los trópicos y subtrópicos, abarcando una zona dentro de las latitudes 45° 30' norte y 47° sur. Se desarrolla desde el nivel del mar hasta los 13,000 pies(3,900 m) de altura (3).

La mayor concentración de bambúes en el mundo se encuentra dentro de los límites del sudeste de Asia e islas adyacentes. Esta región se extiende desde la India a la China, en el continente, y del Japón hasta Java, en Indonesia.

En China hay unas 300 especies de 26 géneros. La más conocida es la Arundinaria amabilis, identificada por McClure.

En Japón se encuentran 662 especies de 13 géneros. La más común es la Phyllostachys bambusoides, cuyo crecimiento puede llegar a ser de 120 cms en 24 horas (2).

Algunas 20 especies de bambú han sido examinadas en la flora, poco conocida, del Africa. Las islas de Madagascar presentan mayor cantidad de especies que toda el Africa. Australia tiene 6 especies nativas.

En el hemisferio occidental, la distribución natural se extiende desde el sur

de los E.E.U.U hasta Argentina y Chile. Existen alrededor de 290 especies de bambú de unos 18 géneros aproximadamente.

En Centro América, donde la Bambusa aculeata era antes abundante, ha sido completamente eliminada en algunas áreas para el cultivo del banano (12). Igual suerte ha tenido la Bambusa guadua al ser reemplazada por cultivos de banano, café y caña de azúcar en Colombia y Ecuador.

Unicamente Brasil ha tomado conciencia de la importancia del bambú para su economía y quién, además, posee la mayor cantidad de especies en el continente.

C. Morfología y crecimiento

El bambú esta constituido por una parte aérea y otra subterránea. La parte aérea, además de las ramas y las hojas, está conformada por el tallo, denominado culmo o caña. Este es, por lo general, hueco y está dividido transversalmente por tabiques o nudos que le proporcionan gran rigidez al culmo (13).

La parte subterránea se denomina rizoma, el cual contiene pequeñas y delgadas raíces (Ver figura 1). Este órgano tiene dos funciones: el almacenamiento y distribución de nutrientes, y la reproducción natural de la planta.

La reproducción se efectúa por la ramificación de los rizomas. Esta se presenta de dos formas y hábitos distintos, lo que da lugar para establecer dos grupos o tipos principales de bambú y uno intermedio (Ver figura 2). Cada grupo comprende géneros y especies distintas.

El primer grupo se denomina paquimorfo y se desarrolla, por lo general, en zonas tropicales. Sus géneros típicos incluyen: Bambusa(Bambusa vulgaris, B. aculeata, B. guadua, etc), Dendrocalamos, Gigantochloa y otros.

El segundo grupo se conoce con el nombre de leptomorfo y se desarrolla en zonas templadas. Dentro de sus géneros típicos se pueden mencionar: Arudinaria, Phyllostachys, Sasa y otros.

El grupo intermedio denominado anfipodial, agrupa unas pocas especies como la Chusquea (Ver figura 2).

El crecimiento del bambú es sólo vertical, llegando a su altura máxima dentro de los 30 a 80 días para especies del grupo leptomorfo, y de los 80 a 180 días para el grupo paquimorfo (13).

La mayoría de bambúes florecen y algunos dan frutos, en períodos más o menos regulares que fluctúan de acuerdo con cada especie, entre los 30 y 120 años, obedeciendo al ciclo de vida de la planta. El período de floración tiene una duración, por lo general, de 12 a 18 meses.

D. Usos del bambú

El bambú suministra al hombre multitud de elementos útiles, desde alimento, hasta los materiales necesarios para construir una edificación. Los comensales orientales condimentan los retoños tiernos como si fueran espárragos, o lo aderezan en confitura, incluso en otras formas, como encurtidos.

Algunas especies tienen una semilla parecida a la cebada, que se emplea como alimento en la China y en la India. Las yemas tiernas entran en la confección del chap suey, célebre plato de la cocina oriental.

Las cañas más recias del bambú se usan como postes para sostener estructuras, cortado en tiras sirve para hacer suelos, techos y paredes.

Además de la familiar caña de pescar, proporciona tuberías de conducción de agua, puentes y cables. Los entrenudos más anchos se emplean también como cubos y utensilios de cocina.

Las tiras se trabajan en forma de esterillas, para hacer sillas, camas, cunas, jaulas, cortinas y otros objetos.

Utensilios de diversas clases: horquillas, agujas de fonógrafo, varillas de abanico, etc. se pueden construir de bambú, del que también se hacen los palillos que los chinos y japoneses utilizan para comer.

El contenido de la médula, preparado en forma de pasta, sirve para fabricar una variedad finísima de papel. La corteza exterior de algunas especies tiene tal consistencia, que chinos y japoneses fabrican con ella cuchillos y espadas de agudo y persistente filo (14).

Esquema de una planta de bambù

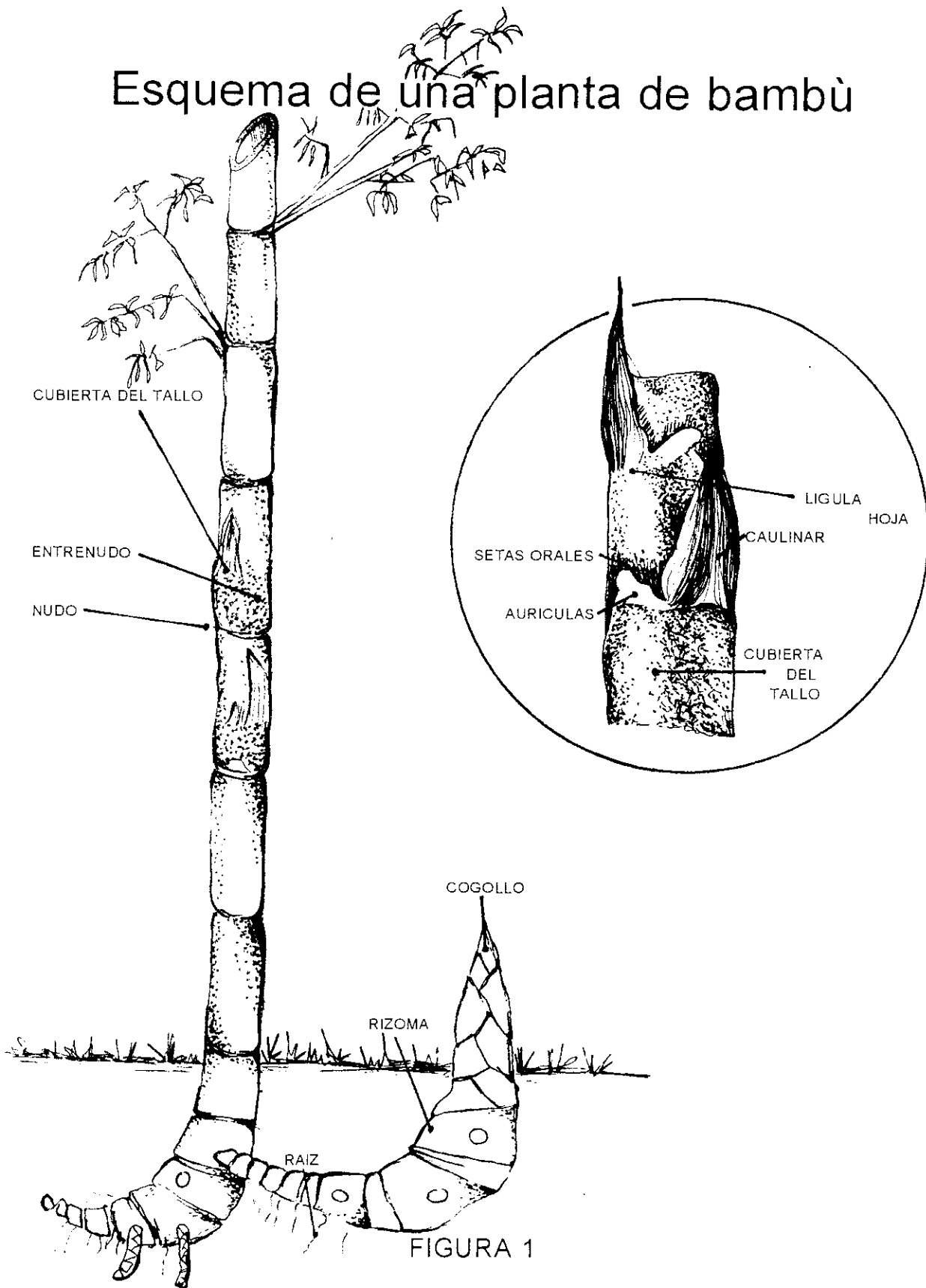
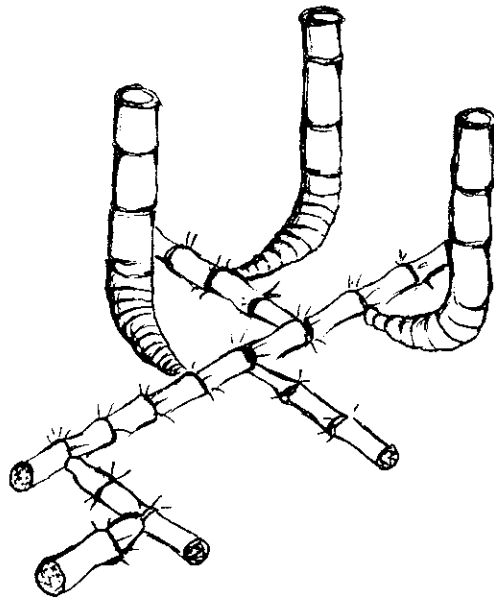
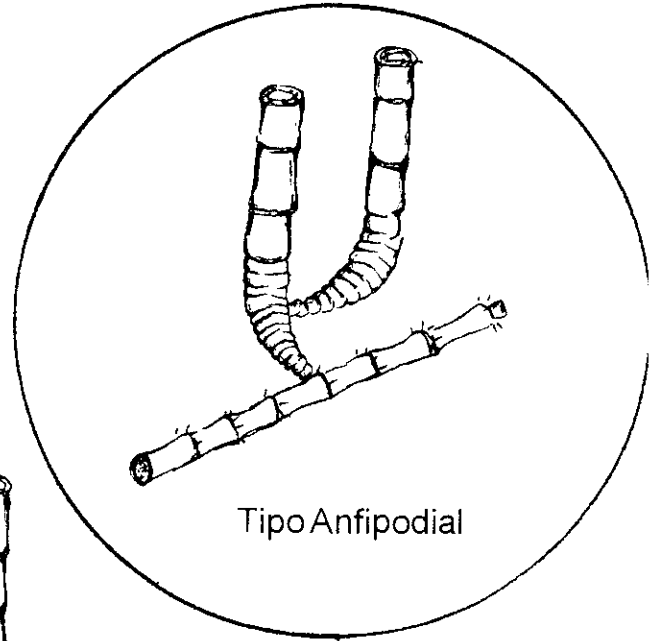
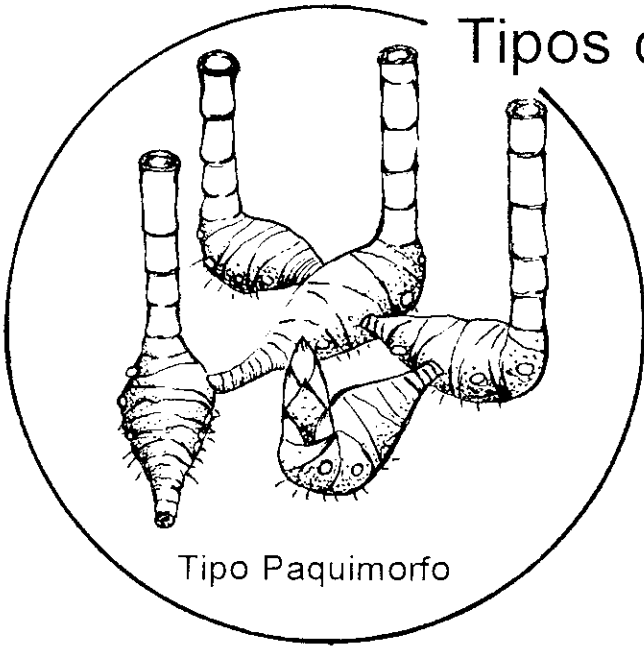


FIGURA 1

Tipos de Rizomas



Tipo Leptomorfo

FIGURA 2

VIII. DESCRIPCION DEL LUGAR Y LA ESPECIE

A. Aspectos generales del lugar de muestreo

La zona de muestreo es la finca Rancho Alegre, localizada en el municipio de Rio Bravo, del departamento de Suchitepéquez.

1. Fisiografía

El departamento de Suchitepéquez está localizado en el suroeste de Guatemala, y se extiende desde el océano pacífico hasta las divisiones de las montañas volcánicas y el altiplano central.

Rancho Alegre se encuentra a 600 mt sobre el nivel del mar. Está formada por planicies y montañas con declives del 2 al 22%, respectivamente.

El área es atravesada por ríos de poca corriente que forman caídas de agua antes de alcanzar la llanura costera del sur (16).

2. Clima

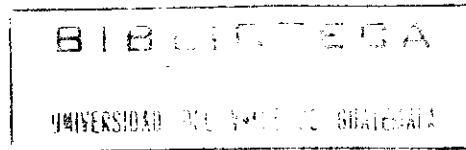
En el departamento de Suchitepéquez funcionaron, hasta 1959, dos

estaciones meteorológicas. Los principales aspectos climáticos correspondientes a la estación más cercana a los cultivos de bambú son: precipitación media de 3,913.1 mm anualmente, con 178 días de lluvia al año, humedad relativa media del 80% y temperatura media anual de 21.8° C. Los vientos son poco frecuentes y de baja intensidad.

3. Suelos

En el departamento de Suchitepéquez los suelos están desarrollados sobre material fluvio-volcánico reciente a elevaciones medias. Los suelos son profundos, bien drenados y desarrollados sobre ceniza volcánica blanda y porosa. Son los más productivos de Guatemala, siendo convenientes para producción de café, caña de azúcar y cultivos tropicales, particularmente para las plantas que necesitan una cantidad abundante de agua.

El suelo superficial, a una profundidad cerca de 50 cm, es franco limoso, suelto y friable, de color café oscuro y un alto contenido de materia orgánica (del 5 al 10%). La estructura granular es suave y fácilmente penetrable por raíces. La reacción es de mediana a ligeramente ácida, con un ph alrededor de 6.0.



El subsuelo, a una profundidad de aproximadamente 100-150 cm, es de textura franco arcillo-limoso de color café a café amarillento. También es fácilmente penetrado por raíces y humedad. El ph alrededor de 6.0.

B. Características de la especie seleccionada

1. Bambusa vulgaris

Es un bambú de origen dudoso, probablemente nativo de Madagascar o de la India. Introducido en Guatemala por los colonos españoles, estas especies están representadas por la forma horticultural vittata. Se encuentran desde bajas a medias alturas que alcanzan los 1,400 m.

Se presenta en macollas de cañas abiertas, arqueadas apicalmente, amarillo oscuro con vetas o líneas verdes (1 ó 2) en los entrenudos, algunos presentan una pelusa café muy dura (Ver figura 3).

Los tallos se utilizan, principalmente, en construcción, aunque su empleo ha sido en forma empírica.

Macollas de bambù



FIGURA 3

IX. PROPIEDADES FISICAS

A. Peso específico

Esta propiedad física es muy importante para tener una idea del peso del bambú por unidad de volumen. El peso específico difiere para cada especie, en los diversos tramos del tallo, así como en las partes internas y externas del mismo.

Tanto el peso como el volumen varían con la cantidad de humedad en la planta y por ende, con el grado de madurez del tallo. Incluso se ha llegado a investigar la estrecha relación que existe entre el peso específico y la resistencia del bambú (17).

El valor del peso específico carece de significado, a menos que se especifiquen las condiciones para su cálculo.

Se decidió determinar el peso específico aparente de los cilindros de bambú utilizados en la prueba de compresión. Este se obtuvo de dividir el peso seco al horno del cilindro dentro de su volumen aparente. El volumen de cada uno se determinó por medición directa con micrómetro.

Se promediaron las lecturas de las dimensiones de las probetas medidas y se calculó el volumen de las mismas como cilindros de paredes delgadas.

Si bien existen otros métodos más exactos para determinar el volumen, se decidió seguir el criterio por medición directa, puesto que éste también fue empleado para determinar las secciones transversales netas de las probetas para los ensayos de compresión paralela a la fibra.

X. PROPIEDADES MECANICAS

A. Tensión paralela a la fibra

La mejor propiedad que posee esta especie de bambú es la resistencia a la tensión paralela a la fibra.

Resulta bastante difícil efectuar ensayos satisfactorios debido al problema de ajustar los extremos de la probeta a manera que se desarrolle un esfuerzo de tensión pura. Sin embargo, es muy importante conocer sus cualidades bajo la acción de este tipo de esfuerzo.

Para ello se elaboraron probetas de 30 cm de largo y no mayores de 2 cm de ancho. A cada probeta se le redujo el ancho en los 10 cm centrales para asegurar que la falla se presentara en ese tramo. La transición de los extremos hacia la sección central reducida fue hecha en forma gradual para aminorar la concentración de esfuerzos debido al cambio de sección.

Con el objeto de estudiar el efecto de los nudos en la resistencia a tensión, se elaboraron probetas con y sin nudo al centro (ver figura 4).

Las dimensiones de las probetas se realizaron con un micrómetro con precisión de un centésimo de centímetro, con el fin de obtener una sección promedio. Las muestras preparadas se ensayaron colocando los extremos en las mordazas de la máquina.

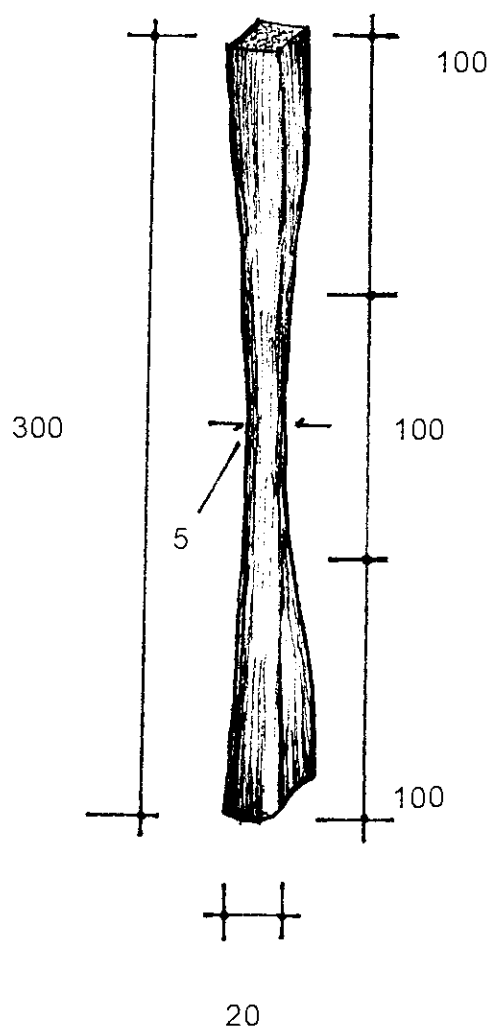
En los ensayos realizados se observó que muchas probetas fallaron, primero, en la zona interna de la pared del tallo. En cuanto a las probetas libres de nudos, el tipo de falla de la mayoría fue ocasionado por deslizamiento o flujo de planos paralelos a la fibra en direcciones opuestas. En cambio, más de la mitad de las probetas con nudo al centro fallaron por tensión en el mismo.

También resultó problemático ensayar probetas provenientes de tallos de bambú con paredes delgadas. Los extremos no eran lo suficientemente fuertes para evitar fallas debidas a la combinación de esfuerzos axiales de tensión con los de corte y aplastamiento ejercidos por la acción de las mordazas.

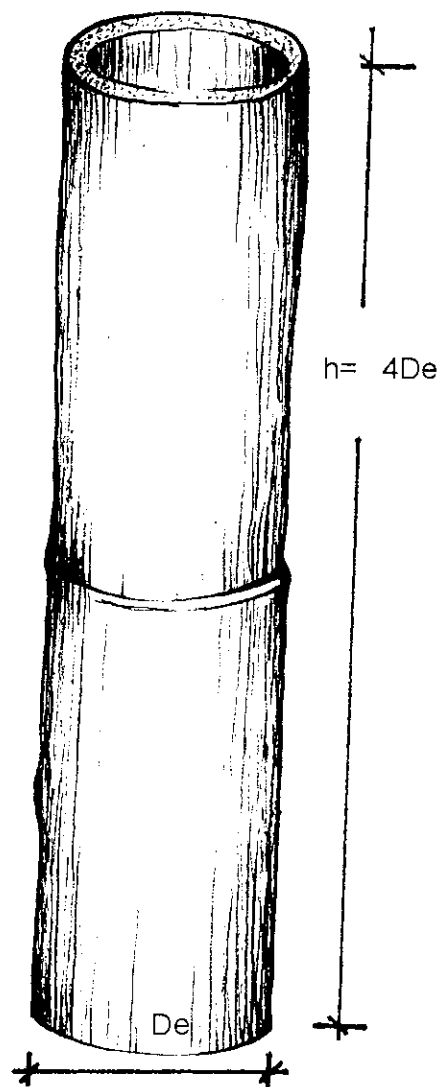
En resumen, fue difícil desarrollar una resistencia pura de tensión. Sin embargo, a pesar de la variabilidad de los resultados obtenidos, los ensayos lograron dar una idea de la alta resistencia a la tensión paralela a la fibra de esta especie de bambú.

Dimensiones de las probetas

De: Diámetro exterior
h: Altura



Tensión paralela a la fibra



Compresión paralela a la fibra

FIGURA 4

B. Compresión paralela a la fibra

La mayoría del bambú empleado en construcción está sometido a compresión paralela a la fibra combinada con efecto de pandeo.

Los ensayos estáticos de compresión pueden ser muy valiosos para indicar su comportamiento bajo cargas de servicio.

La resistencia a la compresión de esta especie de bambú es relativamente alta, pero carece de significado si no se especifica el grado de madurez y la relación entre la longitud y el diámetro de la pieza.

Es importante definir el grado de sazónamiento puesto que, como en la madera, la humedad disminuye la rigidez de las células fibrosas. Esta disminución afecta a las propiedades mecánicas, sobre todo las de compresión y flexión.

De la misma manera, se tiene que considerar la relación entre la longitud y el diámetro de la pieza. Si la longitud de un tallo es suficientemente grande respecto de la mínima sección transversal, la resistencia bajo carga compresiva disminuye por efecto de acción de columna o pandeo. Una falla por pandeo lateral o flexión ocurre

antes que se desarrolle por completo la resistencia a compresión.

Los ensayos de laboratorio para compresión paralela a la fibra se efectuaron con muestras de cilindros cortados de diferentes tallos. Cada cilindro se cortó a una altura de 4 veces su diámetro (ver figura 4). Se tomaron muestras con y sin nudo al centro y se procuró que ambos extremos tuvieran las caras planas para no causar concentraciones de esfuerzos y flexión debido a cargas excéntricas.

Antes de ensayar se midieron con micrómetro 4 lecturas de espesor y diámetro externo con el fin de poder calcular un área promedio de la sección transversal efectiva.

Las fallas fueron de dos tipos:

- (a) Por aplastamiento, con el plano de ruptura aproximadamente horizontal.
- (b) Por agrietamiento paralelo a la fibra.

Este último ocurrió con mayor regularidad en las muestras sin nudo.

C. Flexión

El ensayo de flexión se efectuó en tallos cuyas longitudes variaban entre 15 a 20 diámetros de largo. Antes del ensayo se midieron con micrómetro los valores de los diámetros y espesores en cada extremo de la probeta para estimar una sección transversal promedio. La carga se aplicó cerca del centro de la muestra y se midió la distancia a cada apoyo.

La carga se aplicó mediante una varilla de acero lisa colocada directamente sobre un nudo o a la mitad del entrenudo (Ver figura 5).

La resistencia de los tallos sometidos a flexión estática es determinada por los esfuerzos flexionantes y cortantes horizontales causados por el momento flexionante y por el esfuerzo cortante vertical.

I. Determinación del módulo de ruptura

Para calcular el módulo de ruptura se aplicó la fórmula de flexión:

$$f = M/S$$

para este caso:

f= esfuerzo sobre la fibra extrema

M= momento flector máximo

S= módulo de sección

El momento flector máximo es Pab/L , siendo a y b las distancias entre la carga y los apoyos.

II. Determinación del esfuerzo cortante

El esfuerzo de corte en el eje neutro se computó con la fórmula:

$$f = \frac{Q}{2eI} A Y$$

de donde:

f= esfuerzo cortante

Q= fuerza cortante máxima

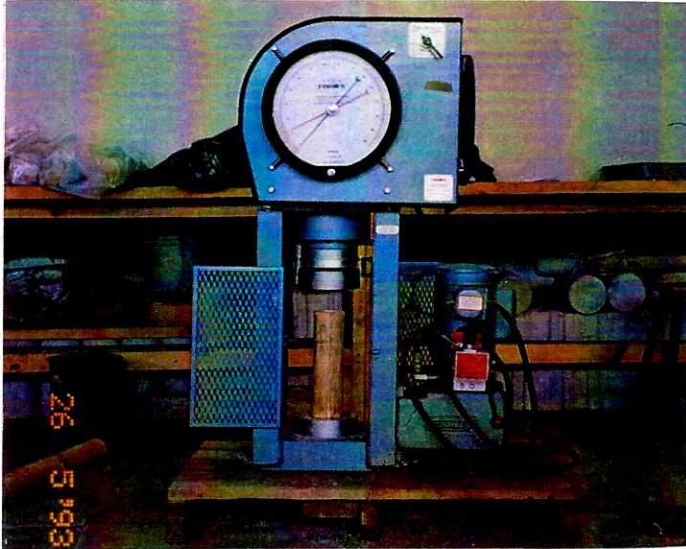
2e= ancho neto del tallo en el eje neutro

I= momento de inercia de la sección

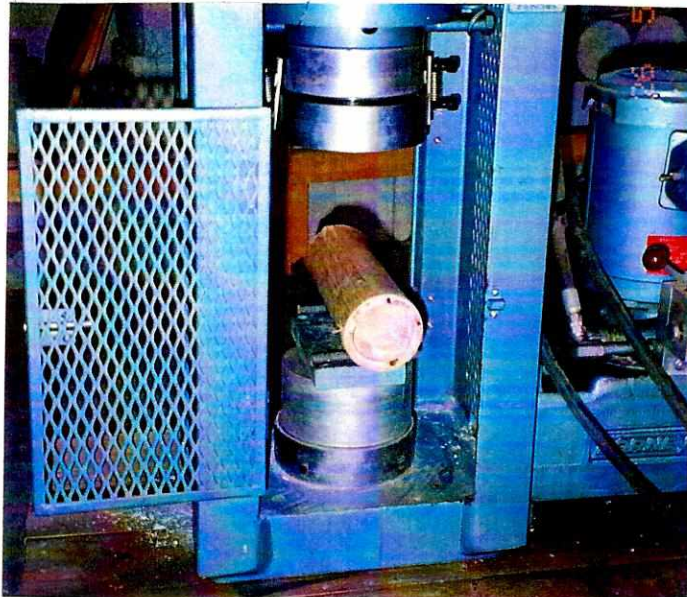
A= área neta del semicírculo sobre el eje neutro

Y= centroide del área A

Flexión y compresión estática



Ensayo de compresión estática aplicada a una probeta de *Bambusa Vulgaris*. Se colocó un deformómetro para medir lecturas a diferentes intervalos de carga.



Ensayo de flexión estática aplicado a una caña de bambù de la misma especie.

FIGURA 5

XI. MANEJO ESTADISTICO DE RESULTADOS

A. Análisis estadístico de resultados

1. Inferencia estadística

Para evaluar los resultados obtenidos en las pruebas físicas y mecánicas del bambú fue necesario utilizar algunos parámetros estadísticos para extraer conclusiones valiosas respecto de la especie seleccionada. Como resulta difícil o imposible examinar cada especie enteramente, es conveniente recurrir al muestreo al azar con el objeto de inferir ciertos hechos respecto de la población, con base en los resultados hallados en la muestra. Este proceso es conocido como inferencia estadística.

La idea fundamental del muestreo al azar consiste en que todas las unidades de la población en estudio tengan la misma probabilidad de entrar al muestreo. Cada ensayo es uno de un número infinito de ensayos que pueden ser realizados bajo las mismas condiciones y esta es la muestra representativa de la población (18). La tarea de la estadística matemática estriba con indicar hasta que punto se pueden deducir los resultados y conocimientos obtenidos de las muestras de la población total.

La deducción del muestreo a la población tiene necesariamente inseguridades, las cuales pueden ser determinadas por los métodos estadísticos. Esto diferencia la inseguridad de la inexactitud (18).

No hay un número fijo de probetas para los ensayos de propiedades físicas y mecánicas del bambú. El número de ellas depende de las variaciones de dichas propiedades dentro de un tallo y dentro de los demás tallos de la misma especie. Para el presente caso, no había algún indicio de la variación de las propiedades. Dado el carácter preliminar de esta investigación, se consideró suficiente utilizar 10 muestras por ensayo, tomando en cuenta siempre las condiciones de muestreo al azar con el fin de obtener resultados con una seguridad estadística de 95% e intervalos de confianza de más o menos 15%.

2. Estimación de parámetros estadísticos

a. Media muestral

La media muestral (\bar{X}) corresponde al valor medio de una muestra de tamaño "n" tomada de una población distribuida normalmente. Se contempla que la media muestral (\bar{X}) sea una aproximación de la media poblacional (μ). Si se denotan por $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ las variables aleatorias para una muestra de tamaño "n",

entonces la media de la muestra o media muestral, es una variable aleatoria definida por:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}$$

la cuál es idéntica a:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

b. Desviación estándar muestral

La desviación estándar es la raíz cuadrada de |promedio de los cuadrados de las desviaciones de los valores con relación a la media. La ecuación de la desviación estándar muestral(S) en su forma más general es:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

Los estudios de estadística han demostrado que cuando el número de

muestras es pequeño (con "n" menor a 30), es más conveniente dividir entre el número de grados de libertad, usualmente "n-1", en lugar del número total de valores "n". Esto trae consigo la ventaja, en la teoría de pequeñas muestras, de la utilización de la desviación estándar muestral (S) a cambio de la desviación estándar poblacional (σ), que generalmente se desconoce.

c. Coeficiente de variación

El coeficiente de variación (v) es la relación entre la media y la desviación estándar. Por lo general esta variación se expresa como un porcentaje y resulta útil para efectuar comparaciones significativas de las dispersiones o variaciones alrededor del valor promedio.

$$v = \frac{S}{\bar{X}} \times (100\%)$$

Debe advertirse que cuando la media muestral (\bar{X}) es muy pequeña e inclusive cero, la variación v resultante tiende a ser muy engañosa.

4. Distribución "t" de Student

La distribución "t" fue introducida por W.S. Gosset, quien hizo publicaciones bajo el nombre de Student, en 1908. Tiene aplicación especial en la teoría de pequeñas muestras (con "n" menor a 30) para estimar el intervalo de confianza relativa del valor promedio. La distribución "t" se designa por:

$$T = \frac{(\bar{X} - \mu) \sqrt{n}}{S}$$

con "n-1" grados de libertad. Cuando la cantidad de muestras aumenta (con "n" mayor o igual a 30), la distribución "t" tiende a la distribución normal, por lo que también puede emplearse para grandes muestras.

Los límites de confianza para la estimación de la media poblacional (μ) están dados por:

$$\bar{X} \pm t_p \frac{S}{\sqrt{n}}$$

donde la percentila "tp" depende del nivel de confianza que se desee y puede obtenerse de las tablas estadísticas correspondientes a la distribución t de Student. Generalmente se espera que la amplitud de este intervalo sea tan pequeño como posible, el cual depende de la variabilidad de los resultados, el número de muestras

y la seguridad estadística o nivel de confianza designado.

Para estudios preliminares como el presente, se escoge un nivel de confianza con una probabilidad fijada para disponer de un intervalo alrededor del valor medio poblacional (μ) desconocido del parámetro. Por ejemplo, si se elige una probabilidad cercana a 1, tal como 95%, se puede esperar que cerca del 95% de las muestras recolectadas producirán intervalos que incluyan la media poblacional (μ); mientras que el 5%, no. Por tanto, el intervalo de confianza será correcto para 19 de 20 casos, más o menos, mientras que el caso restante será falso (17).

Se utilizó la distribución "t" para obtener los niveles de confianza correspondientes al 95% de seguridad estadística. El 5% restante se reparte para que 2.5% se encuentre arriba y abajo del intervalo, respectivamente. Siendo así, los percentiles $-t_{0.975}$ y $+t_{0.975}$ son los valores de la variable "T" para que el 2.5 % del área se distribuya en cada cola de la curva de la distribución "t". Por consiguiente, el intervalo de confianza para "T" está dado por:

$$-t_{.975} < \frac{(X-\mu)}{S} \sqrt{n} > t_{.975}$$

de lo que se deduce que la media poblacional (μ) se encuentra en el intervalo

$$\bar{X} - t_{.975} \frac{S}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{X} + t_{.975} \frac{S}{\sqrt{n}}$$

El valor de la percentila $t_{.975}$ se obtiene de las tablas para la distribución "t" (véase hoja adjunta) en relación al número de grados de libertad, que para la teoría de pequeñas muestras corresponde ser "n-1".

Resulta más conveniente expresar la amplitud del intervalo de confianza como un porcentaje del valor promedio así:

$$\pm i = \frac{t_p S}{\bar{X} \sqrt{n}} \times (100\%)$$

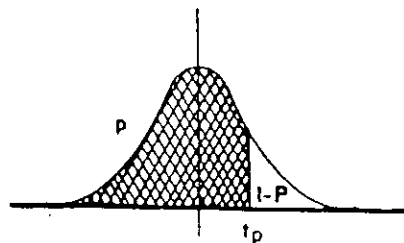
Si se tiene calculado ya el coeficiente de variación (v), la ecuación anterior se simplifica a:

$$\pm i = \frac{t_{pv}}{\sqrt{n}}$$

donde "v" ya está expresado en porcentaje. En estudios preliminares es deseable obtener resultados con intervalos de confianza de 15% pertenecientes a una seguridad estadística de 95%.

TABLA A

Percentilas (t_p) de la distribución t de Student con $n-1$ grados de libertad.



$n-1$	$t_{.15}$	$t_{.10}$	$t_{.075}$	$t_{.05}$	$t_{.025}$	$t_{.01}$	$t_{.005}$	$t_{.0025}$	$t_{.001}$	$t_{.0005}$
1	.168	.326	.727	1.000	1.376	3.08	6.31	12.71	31.82	63.66
2	.142	.289	.617	.816	1.061	1.89	2.92	4.30	6.96	9.92
3	.137	.277	.584	.765	.978	1.64	2.35	3.18	4.54	5.84
4	.134	.271	.569	.741	.941	1.53	2.13	2.78	3.75	4.60
5	.132	.267	.559	.727	.920	1.48	2.02	2.57	3.36	4.03
6	.131	.265	.553	.718	.906	1.44	1.94	2.46	3.14	3.71
7	.130	.263	.549	.711	.896	1.42	1.90	2.36	3.00	3.50
8	.130	.262	.546	.706	.889	1.40	1.86	2.31	2.90	3.36
9	.129	.261	.543	.703	.883	1.38	1.83	2.26	2.82	3.25
10	.129	.260	.542	.700	.879	1.37	1.81	2.23	2.76	3.17
11	.129	.260	.540	.697	.876	1.36	1.80	2.20	2.72	3.11
12	.128	.259	.539	.695	.873	1.36	1.78	2.18	2.68	3.06
13	.128	.259	.538	.694	.870	1.35	1.77	2.16	2.65	3.01
14	.128	.258	.537	.692	.868	1.34	1.76	2.14	2.62	2.98
15	.128	.258	.536	.691	.866	1.34	1.75	2.13	2.60	2.95
16	.128	.258	.535	.690	.865	1.34	1.75	2.12	2.58	2.92
17	.128	.257	.534	.689	.863	1.33	1.74	2.11	2.57	2.90
18	.127	.257	.534	.688	.862	1.33	1.73	2.10	2.55	2.88
19	.127	.257	.533	.688	.861	1.33	1.73	2.09	2.54	2.86
20	.127	.257	.533	.687	.860	1.32	1.72	2.09	2.53	2.84
21	.127	.257	.532	.686	.859	1.32	1.72	2.08	2.52	2.83
22	.127	.256	.532	.686	.858	1.32	1.72	2.07	2.51	2.82
23	.127	.256	.532	.685	.858	1.32	1.71	2.07	2.50	2.81
24	.127	.256	.531	.685	.857	1.32	1.71	2.06	2.49	2.80
25	.127	.256	.531	.684	.856	1.32	1.71	2.06	2.48	2.79
26	.127	.256	.531	.684	.856	1.32	1.71	2.06	2.48	2.78
27	.127	.256	.531	.684	.855	1.31	1.70	2.05	2.47	2.77
28	.127	.256	.530	.683	.855	1.31	1.70	2.05	2.47	2.76
29	.127	.256	.530	.683	.854	1.31	1.70	2.04	2.46	2.76
30	.127	.256	.530	.683	.854	1.31	1.70	2.04	2.46	2.75
40	.126	.255	.529	.681	.851	1.30	1.68	2.02	2.42	2.70
60	.126	.254	.527	.679	.848	1.30	1.67	2.00	2.39	2.66
120	.126	.254	.526	.677	.845	1.29	1.66	1.98	2.36	2.62
-	.126	.253	.524	.674	.842	1.28	1.645	1.96	2.33	2.58

B. Aplicación de los parámetros estadísticos

Se tomará como ejemplo el ensayo de compresión paralela a la fibra de muestras sin nudo. Se ensayaron un total de 10 muestras, cuyos resultados fueron:

466-488-430-514-475-521-516-433-505-520

(a) Media muestral (\bar{X})

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$$

$$\bar{X} = \frac{4868}{10}$$

$$\bar{X} = 487 \text{ (aproximado a 3 cifras significativas)}$$

(b) Desviación estándar muestral (S)

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

Es más práctico calcular la expresión anterior usando la información acumulada en los registros de las calculadoras para $\sum Xi^2$, $\sum Xi$ y n con la fórmula:

$$S = \sqrt{\frac{\sum X_i^2 - \frac{(\sum X_i)^2}{n}}{n-1}}$$

que resulta equivalente. Sustituyendo los valores:

$$S = \sqrt{\frac{2,380,632 - \frac{(4,868)^2}{10}}{10-1}}$$

$$S = 35$$

(c) Coeficiente de variación (v)

$$v = \frac{S}{\bar{X}} \times 100\%$$

$$v = \frac{34}{487} \times 100\%$$

$$v = 7\%$$

(d) Intervalo de confianza (i)

En el capítulo XI se establecieron los límites de confianza para la media poblacional (μ) a través de:

$$\bar{X} \pm t_p \frac{S}{\sqrt{n}}$$

Se denotan por t_p los valores de las percentilas de la distribución "t". La TABLA A da tales valores para "n-1" grados de libertad. Para los coeficientes de confianza del 95% ("doble cola") el área de la improbabilidad sería de 0.05 (5%). En

el caso de una sola cola, como el que se muestra en la figura de la TABLA A, el área se divide en dos, por lo que el área correspondiente a la cola de la derecha es de 0.025 (2.5%) y el valor crítico pertinente es la percentila $t_{.975}$. Es decir, los coeficientes de confianza del 95% están dados por:

$$\bar{X} \pm t_{.975} \frac{S}{\sqrt{n}}$$

Para un muestreo con $n=10$, se tiene "n-1" grados de libertad, o sea, $10 - 1 = 9$, por lo que de la TABLA A se halla $t_{.975} = 2.26$. Entonces los límites de confianza del 95% pedidos son:

$$487 \pm 2.26 \frac{34}{\sqrt{10}} = 487 \pm 24 \text{ Kg/cm}^2$$

Así pues, se puede estar en la confianza del 95% de que el valor medio poblacional (μ) se encuentra entre 463 y 511 Kg/cm².

Expresando la amplitud del intervalo de confianza como un porcentaje del valor medio tenemos:

$$\pm i = \frac{24}{487} \times (100\%)$$

$$\pm i = 5\%$$

Por lo tanto, el resultado puede reportarse como:

$$487 \pm 5\%$$

XII. USO DEL BAMBU EN CONSTRUCCION

Para que la propuesta del empleo del bambú en construcción tuviera un fundamento firme, se encontraron sus principales propiedades físico-mecánicas para compararlas con las de materiales de construcción tradicionales, y lograr así, el planteamiento de conclusiones importantes.

Si se analizan detenidamente las tablas de resultados de las propiedades del bambú, se puede deducir que éste posee las cualidades necesarias para sustituir materiales utilizados en construcción y obtener, de esta manera, una serie de beneficios, como la reducción de costos, para mencionar un ejemplo.

A continuación se exponen varias áreas de construcción en donde el empleo del bambú sería factible.

A. Uso del bambú en andamios

El andamio es una estructura no permanente de uso muy diversificado en construcción. Su participación en fundiciones, levantados y acabados de paredes y columnas, para mencionar algunas, es indispensable.

Generalmente, la madera de pino es el material más utilizado para su elaboración por ser uno de los más económicos, comparandolo con la construcción o alquiler de andamios metálicos, por ejemplo. Su costo tiene un peso significativo en el presupuesto de todo proyecto, debido no sólo a la escasez sino también a su encarecimiento.

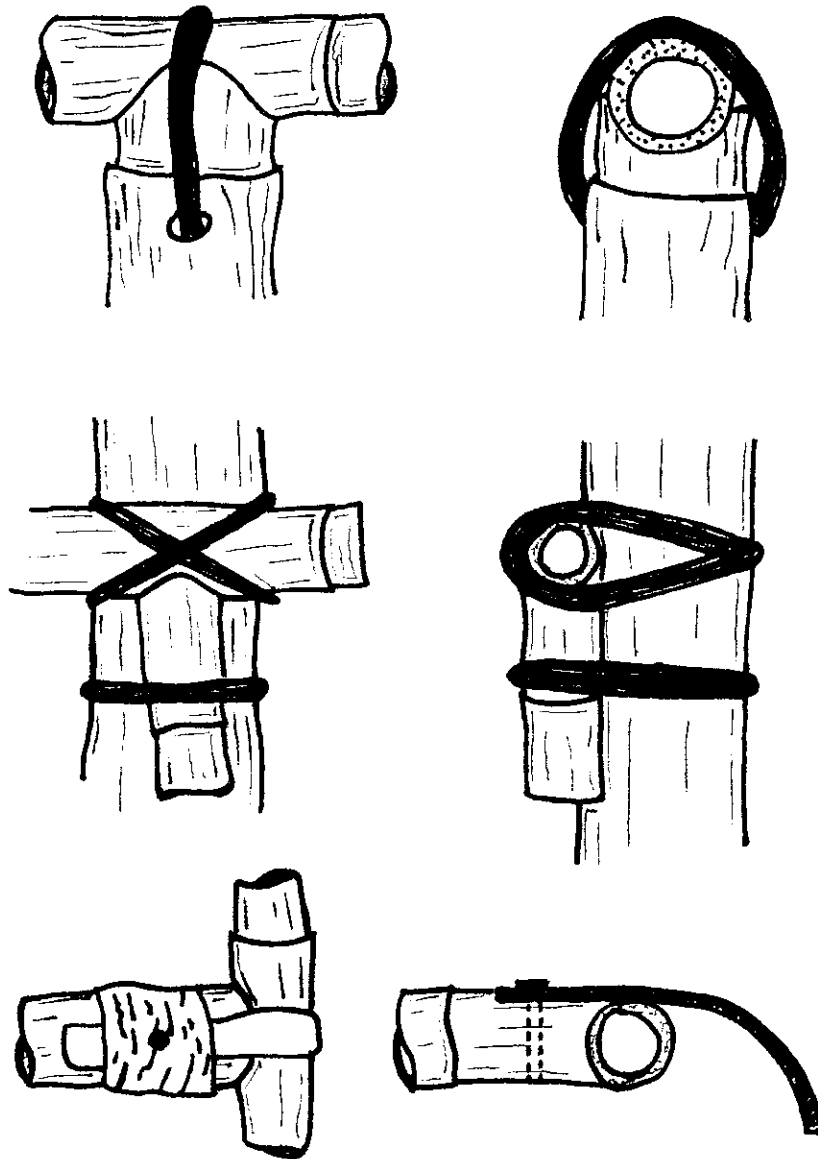
Con el propósito de reducir costos, el bambú sería un excelente sustituto de los puntales de madera que conforman el soporte del andamio. En la tabla 8 se observa que el esfuerzo de compresión que resiste el bambú es mucho mayor que el resistido por la madera de pino, por lo que la capacidad soporte no representa un problema. La falta de mano de obra calificada y el problema de la unión entre piezas tienen que tomarse en consideración.

Como el bambú no puede clavarse porque pierde gran parte de sus cualidades mecánicas al momento de rajarse, la utilización de uniones especiales es totalmente necesaria.

En la figura 6 se muestran varios tipos de nudos que pueden ser utilizados en las uniones de las cañas. El empleo de alambre, lazo, e incluso pequeñas tiras de bambú funcionan de forma aceptable.

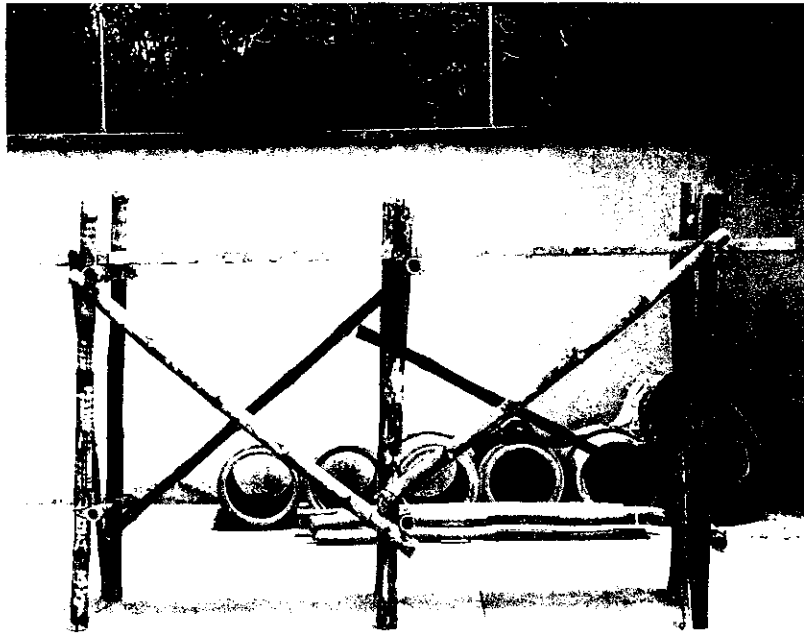
La falta de mano de obra calificada se puede resolver familiarizando a un grupo de trabajadores con el manejo del bambú para lograr, así, una eficiencia similar a la elaboración de andamios de madera.

Algunas clases de uniones de piezas de bambù



Tomadas del folleto "*El bambù como material de construcción*" de F.A. Mc Clure, Centro Interamericano de Vivienda, Colombia.

FIGURA 6



Andamio elaborado con piezas de bambù de la especie *Bambusa Vulgaris*

FIGURA 7

B. Uso del bambú como soporte de formaleta para losas

Cualquier estructura que tenga losa de concreto necesitará de una formaleta para su fundición. El número de paraleles que se utilizan para soportarla es bastante grande; los de madera de pino y metálicos son los más utilizados.

Se menciona con anterioridad que los costos en el empleo de éstos son demasiado altos, por lo que su sustitución por cañas de bambú sería una solución lógica y aplicable.

Al momento de emplear una caña de bambú como paral de formaleta para losas, ésta trabajaría como columna, lo que significa que si es lo suficientemente delgada con respecto de su longitud, podría llegar a romperse bajo una carga mucho menor por pandeo lateral que la necesaria para fallar por aplastamiento.

Para evitar los problemas de pandeo en las cañas existen varias soluciones:

La separación de las cañas podría ser menor que la acostumbrada en los parales de madera, que generalmente es de 1 a 1.50 mts, y para una mayor seguridad, arriostrarlos por la mitad con las mismas cañas de bambú.

Tener un cuidado especial al momento de escoger las cañas de bambú que se emplearían como parales de formaletas para losas. Habría que seleccionar cañas bastante rectas para que no se formen excentricidades que provoquen pandeos.

Como en los puntales de los andamios, la caña de bambú no puede clavarse, por lo que las uniones de la figura 6 son aplicables para este caso.

C. Usos del bambú en otras áreas de construcción

1. Uso del bambú como refuerzo estructural

Si se analizan detalladamente las tablas 2 y 3 del apéndice B, se puede deducir que el bambú puede usarse satisfactoriamente como refuerzo estructural en muros y losas livianas.

Existe una teoría (teoría Datta) que habla sobre la sustitución de varillas de acero por cañas o cables de bambú y las relaciones que deben guardar las áreas sustituidas. La teoría especifica que el área de bambú que se emplee en la zona de tensión de algún elemento estructural debería ser, por lo menos, de 12 veces el área de acero.

Desafortunadamente esta teoría no especifica sobre la sustitución para áreas de acero que no están localizadas en las zonas de tensión, pero el dato anterior da una idea más o menos clara de la cantidad que debe sustituirse de acero por bambú.

Las variaciones en el contenido de humedad debidas al agua del mortero y el fraguado del mismo producirían grietas en las estructuras por la expansión y contracción del bambú. Este problema es inherente y ha sido motivo de mucha investigación. Aunque no se ha determinado el tiempo máximo de vida del bambú como refuerzo estructural, las siguientes recomendaciones lo incrementan de manera significativa:

1. Recubrir el bambú con una capa muy delgada de emulsión asfáltica.
2. Recubrir el bambú con resina o pegamento y rociar arena gruesa.
3. Inmersión del bambú en una solución al 2% de cloruro de zinc.

Así como las anteriores recomendaciones hay otras, pero ninguna de ellas ha logrado combinar la efectividad con la economía.

Pese a la falta de adherencia con el concreto y a la menor capacidad de resistencia a la tensión en comparación con el acero, el bambú cumple perfectamente su función como refuerzo mínimo de estructuras livianas.

2. Uso del bambú en cimientos

Por la excelente capacidad del bambú de resistir tanto los esfuerzos de compresión como los de tensión, se puede proponer su utilización como pilotes de cimentación de estructuras bastante livianas.

La máxima duración que puede obtenerse de los postes de bambú utilizados como pilotes es de 5 años debido a que están en contacto directo con la humedad del suelo. Para prolongar la vida útil del bambú dentro del suelo se recomienda alguno de los siguientes tratamientos:

1. Recubrir el bambú con una capa delgada de emulsión asfáltica.
2. Inmersión del bambú en una solución al 2% de cloruro de zinc.

3. Utilización del bambú en elementos no estructurales

La utilización del bambú como elemento constructivo es una solución ideal para los problemas de vivienda de la población con escasos recursos.

El empleo del bambú en la construcción de viviendas es casi mínimo, sus cualidades podrían aprovecharse para usos como pisos, tabiques, cielosrasos, techos, puertas, ventanas, tuberías de agua potable y drenaje, desagües, etc., dependiendo su uso del diámetro que tenga.

Como la madera, el bambú es afectado por factores que lo alteran o lo pudren, estas alteraciones son producidas por cambios atmosféricos y organismos vegetales. Al igual que la madera, el bambú puede someterse a tratamientos que lo conservan desde el momento que se corta hasta su utilización, independientemente del empleo que se le va a dar. Los tratamientos que debe dársele a la caña para conservarla adecuadamente son:

a) curado del tallo según su edad, b) secado del bambú, c) empleo de preservativos y resinas sintéticas contra hongos e insectos.

XIII. CONCLUSIONES

1. Es necesario el establecimiento de técnicas y métodos de evaluación que permitan un desarrollo de la construcción con bambú. Por ahora, las especificaciones y procedimientos de ensayo que establecen las normas ASTM para madera, son aplicables en forma satisfactoria.

2. Las propiedades físico-mecánicas del bambú manifiestan características sobresalientes para su empleo como material de construcción. Sus valores de resistencia superan a los de las maderas nacionales y otros materiales que se usan actualmente en Guatemala.

3. Los esfuerzos y módulo de elasticidad en tensión son propiedades importantes del bambú que deben determinarse si ha de usarse como refuerzo en el concreto, o en puentes colgantes. Así mismo, si el bambú va a emplearse como puntal de andamios, losas, vigas, voladizos, etc. serán los esfuerzos de compresión los que determinen cómo obtener los mejores resultados.

4. El contenido de humedad incide notablemente en las propiedades físico-mecánicas del bambú. Aunque el secado al aire consigue que los tallos mantengan la misma humedad de equilibrio, son los tallos maduros los que presentan los mayores índices de

resistencia.

5. El bambú no es un material homogéneo, su comportamiento, por tanto, se ha de entender bajo los requerimientos de la teoría del ensayo y la naturaleza estadística de los datos recabados, al evaluar los resultados y variaciones de las propiedades de las muestras.

XIV. RECOMENDACIONES

1. Por poseer una estructura física característica que le proporciona alta resistencia en relación a su peso y la presencia de tabiques rígidos colocados transversalmente, se recomienda el empleo del bambú como sustituto de ciertos materiales de construcción tradicionales.
2. Se recomienda el establecimiento de una serie de normas técnicas, basadas en estudios experimentales, que permitan, al igual que la madera, su aplicación técnica como elemento estructural o refuerzo en el concreto.
3. Implementar el cultivo del bambú en las diversas regiones del país, con el fin de promover su uso en la construcción, la industria e incluso para fines de reforestación y control de erosión de suelos.
4. Promover trabajos de investigación con el fin de elaborar diseños de viviendas de bajo costo que utilicen el bambú y que puedan adaptarse a las condiciones de las diferentes regiones del país, como clima, cultura, materiales, etc.

5. Se recomienda la creación de instituciones que familiaricen al trabajador con el empleo del bambú para lograr la obtención de mano de obra calificada.

6. Se hace un llamado a las instituciones y entidades involucradas en la explotación y utilización de los recursos forestales, para que, en forma conjunta, colaboren en la realización de nuevos estudios del empleo del bambú como sustituto de la madera, con el propósito de plantear una solución al problema de deforestación que existe en Guatemala.

XV. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. American Society for Testing Materials. Book of ASTM standards. Philadelphia, 1979. v.22
2. Marden, Luis. "Bamboo, the giant grass". National Geographic magazine. 158(4). October 1980.
3. Hidalgo López, Oscar. Nuevas técnicas de construcción con bambú. Colombia, Estudios técnicos colombianos, 1978.
4. Glenn, H.E. Bamboo reinforcement in portland cement concrete. Clemson, South Carolina, Engineering Experiment Station, 1950. 171 p. (Bulletin, No 4)
5. Heck, G.E. Static bending tests of internodal bamboo splints from basal, middle, and top cuts of one culm each of bambusa tuloides and guadua angustifolia. Madison, Wisconsin, Department of Agriculture, Forest Products Laboratory, 1945.
6. Reda Youseff, M.A. Bamboo as a substitute for steel reinforcement in structural concrete. Lehigh University, 1976. v.1.
7. Wu, Schuen-Chao. The effect of cutting rotation of bamboo on its mechanical properties. Lehigh University, 1976. v.1.
8. Hidalgo López, Oscar. Bambú, su cultivo y aplicación en fabricación de papel, construcción, arquitectura y artesanías. Colombia, Estudios Técnicos Colombianos. 1974. 318 p.

9. Pinot Leiva, Leonel. Materiales de construcción para la vivienda mínima en Guatemala. Tesis - Ingeniero civil. Guatemala, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1959.
10. Urrutia, J. Fernando. Propiedades Físico-Mecánicas del bambú. Tesis - Ingeniero civil. Guatemala, Facultad de Ingeniería de San Carlos de Guatemala, 1983.
11. Swallen, J.R. Flora of Guatemala. Part II. United States Department of Agriculture, 1955. 390 p.
12. Mclure, F.A. Genera of bamboos native to the new world. Washington, Smithsonian Institution Press, 1973.
13. Hidalgo López, Oscar. Bambú, su cultivo y aplicación. Colombia, Estudios Técnicos Colombianos, 1974. 200 p.
14. Mclure, F.A. Bamboo: A Fresh Perspective. Cambridge, Massachusetts, Harvard University Press, 1967. 347 p.
15. Simmons, C. Clasificación de reconocimiento de los suelos de Guatemala. Traducción: Pedro Tirado Sulsona. Guatemala, José Pineda Ibarra.
16. Instituto Geográfico Nacional de Guatemala. Atlas climatológico de Guatemala. Guatemala, 1974.
17. Proyecto. Determinación de las propiedades técnicas del bambú. Dirección general de Investigación de la Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Arquitectura, Ingeniería y Agronomía. Guatemala, 1984.

XVI. BIBLIOGRAFIA

- Davis, Harmer E., et. al. Ensayo e inspección de los materiales en Ingeniería. Traducción: Juan Moreno Cruz. México, CECSA, 1976. 577 p.
- Espina Lee, Edwin Romeo. Paneles de Concreto Liviano con Refuerzo de Bambú. Tesis Ingeniero Civil. Guatemala, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1984. 66p.
- Kreyszig, Erwin. Introducción a la Estadística Matemática. 4a. ed. México, Limusa, 1979.
- Mclure, F. A. The Bamboos: A Fresh Perspective. Cambridge, Massachusetts, Harvard University Press, 1967. 347 p.
- Pineda del Cid, Luis. Estudio de las Propiedades Físico-Mecánicas de la Madera Pinus Caribaea. Tesis Ingeniero Civil. Guatemala, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1963. 130 p.
- Timoshenko, S. y Young, D. H. Resistencia de materiales. Traducción: Luis Ibañez Morlán. Barcelona, Montaner y Simón, S.A. 1970. 404 p.
- Pinot Leiva, Leonel. Materiales de construcción para la vivienda mínima en Guatemala. Tesis - Ingeniero Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1959.
- Popov, Egor. Introducción a la Mecánica de Sólidos. Editorial Limusa, México, 1980.

APENDICE A

TABLA 1

Peso específico aparente

ESPECIE	Bambusa vulgaris
No. de probetas	15
Media muestral (g/cm³)	0.72
Desviación estándar (g/cm³)	0.11
Coefficiente de variación (%)	15.2
Intervalo de confianza (± %)	10.9
Contenido de humedad (%)	16.2

APENDICE B

TABLA 2

Tensión paralela a la fibra

Muestra	con nudo	sin nudo
No. de ensayos	10	10
Media muestral (Kg/cm²)	2023	1356
Desviación estándar (Kg/cm²)	212.2	166.4
Coefficiente de variación (%)	10.5	12.2
Intervalo de confianza (± %)	7.5	8.8

TABLA 3

Módulo de elasticidad en tensión

Muestra	con nudo	sin nudo
No. de ensayos	10	10
Media muestral (Kg/cm ² x 10 ⁵)	1.65	2.25
Desviación estándar (Kg/cm ² x 10 ⁵)	0.32	0.44
Coefficiente de variación (%)	19.4	19.6
Intervalo de confianza (± %)	13.9	14.0

TABLA 4

Compresión paralela a la fibra

Muestra	con nudo	sin nudo
No. de ensayos	10	10
Media muestral (Kg/cm ²)	549	487
Desviación estándar (Kg/cm ²)	35.8	32.8
Coeficiente de variación (%)	6.5	6.7
Intervalo de confianza (± %)	4.7	4.8

TABLA 5

Módulo de elasticidad en compresión

Muestra	con nudo	sin nudo
No. de ensayos	10	10
Media muestral (Kg/cm ² x 10 ⁵)	1.21	1.55
Desviación estándar (Kg/cm ² x 10 ⁵)	0.28	0.26
Coefficiente de variación (%)	23.1	16.8
Intervalo de confianza (± %)	16.5	12.0

TABLA 6

Módulo de ruptura a flexión estática

Muestra	con nudo	sin nudo
No. de ensayos	10	10
Media muestral (Kg/cm ²)	136	103
Desviación estándar (Kg/cm ²)	10.7	8.2
Coefficiente de variación (%)	7.9	8
Intervalo de confianza (± %)	6.7	8.1

TABLA 7

Esfuerzo de corte a flexión estática

Muestra	con nudo	sin nudo
No. de ensayos	10	10
Media muestral (Kg/cm ²)	52	45
Desviación estándar (Kg/cm ²)	5.5	6.2
Coeficiente de variación (%)	10.6	13.8
Intervalo de confianza (± %)	9.0	14.0

TABLA 8

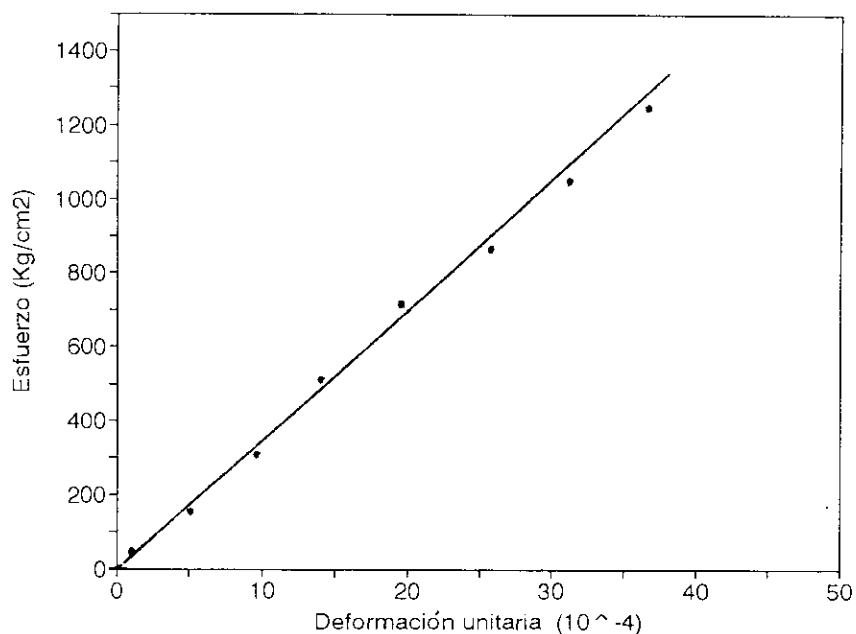
Tabla comparativa del bambú
y la madera de pino

Muestra	con nudo	sín nudo	madera
Peso específico aparente (g/cm ³)		0.72	0.5
Tensión paralela a la fibra (Kg/cm ²)	2023	1356	190
Compresión paralela a la fibra (Kg/cm ²)	549	487	70
Flexión estática (Kg/cm ²)	136	103	120
Módulo de elasticidad a tensión (Kg/cm ² x 10 ⁵)	1.65	2.25	0.80
Módulo de elasticidad a compresión (Kg/cm ² x 10 ⁵)	1.21	1.55	0.80

TABLA 9

Curva esfuerzo-deformación de muestras sin nudo en tensión

Especie: Bambusa vulgaris
Tipo de carga: axial
Incremento de carga: cada 900 Kg
Fecha de ensayo: 24 de junio de 1993



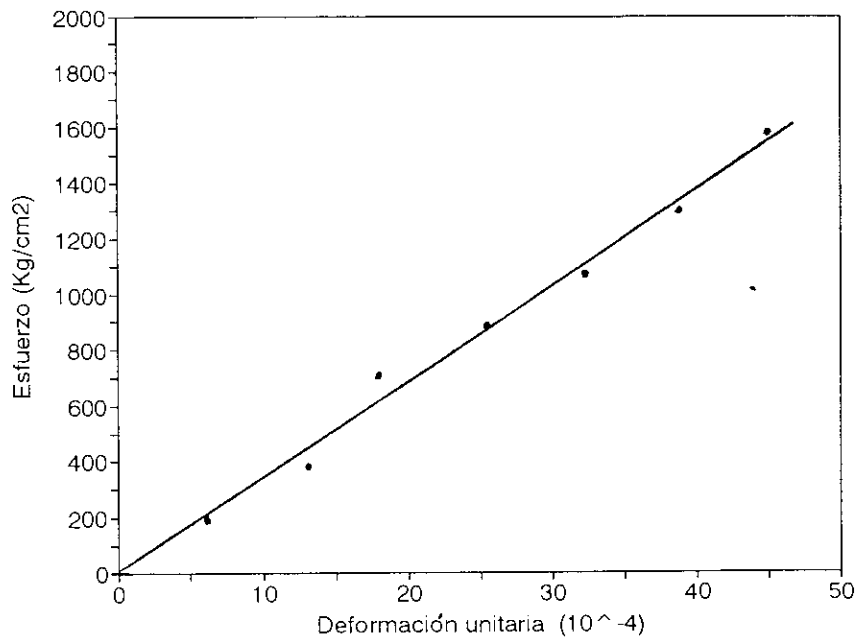
Resultados de los ensayos de tensión

Muestra	Módulo Elástico (Kg/cm ²)	Resistencia (Kg/cm ²)
3't	1.98 x 10 ⁵	1296

TABLA 10

Curva esfuerzo-deformación de muestras con nudo en tensión

Especie: Bambusa vulgaris
Tipo de carga: axial
Incremento de carga: cada 900 Kg
Fecha de ensayo: 28 de junio de 1993



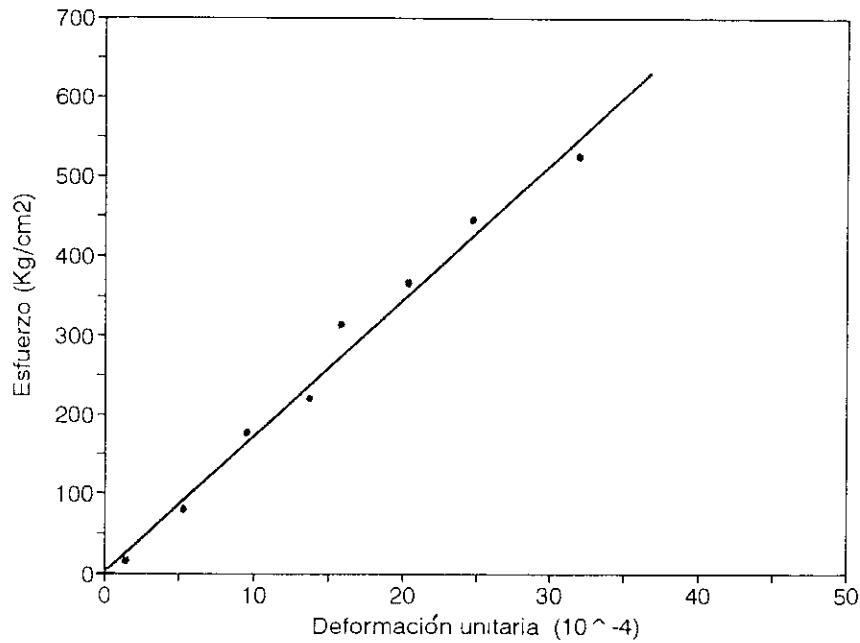
Resultados de los ensayos de tensión

Muestra	Módulo Elástico (Kg/cm ²)	Resistencia (Kg/cm ²)
8 t	1.53 x 10 ⁵	1945

TABLA 11

Curva esfuerzo-deformación de muestras sin nudo en compresión

Especie: Bambusa vulgaris
Tipo de carga: axial
Incremento de carga: cada 900 Kg
Fecha de ensayo: 15 de mayo de 1993



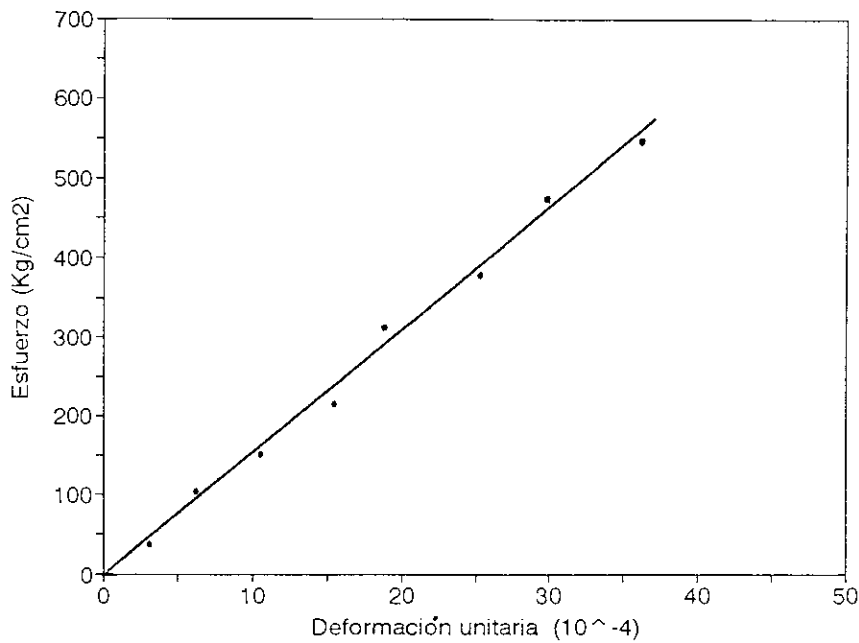
Resultados de los ensayos de compresión

Muestra	Módulo Elástico (Kg/cm ²)	Resistencia (Kg/cm ²)
4 c	1.43 x 10 ⁵	475

TABLA 12

Curva esfuerzo-deformación de muestras con nudo en compresión

Especie: Bambusa vulgaris
Tipo de carga: axial
Incremento de carga: cada 900 Kg
Fecha de ensayo: 17 de mayo de 1993

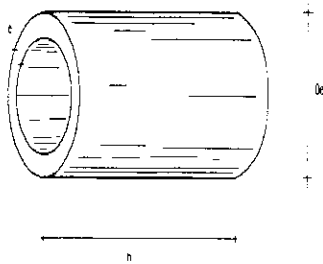


Resultados de los ensayos de compresión

Muestra	Módulo Elástico (Kg/cm ²)	Resistencia (Kg/cm ²)
10' c	1.12×10^5	525

APENDICE C
FORMULARIO

En orden de aplicar las fórmulas teóricas para estimar las propiedades físicas y mecánicas del bambú, se consideró necesario trabajar con un modelo geométrico idealizado. Las dimensiones fueron valores promediados de las dimensiones hechas con un micrómetro apropiado.



De: diámetro externo
e: espesor de la pared
h: altura o longitud

A continuación se presentan las distintas propiedades geométricas referentes al modelo utilizado.

NOMBRE	SIMBOLO	FORMULA
Diámetro interno	Di	$De - 2e$

Area de la sección	A	$\frac{\Pi}{4} (De^2 - Di^2)$
Volumen	V	$\frac{\Pi h}{4} (De^2 - Di^2)$
Módulo de sección	S	$\frac{\Pi}{32De} (De - Di)$
Módulo de inercia	I	$\frac{\Pi}{64} (De - Di)$
Centroide del área semicircular	Y	$\frac{2 (De^3 - Di^3)}{3\Pi (De^2 - Di^2)}$

GLOSARIO BOTANICO

ARQUEADO	Curado a manera de arco.
BAMBU	Hierba de aspecto arbóreo, perteneciente a la familia <u>Gramineae</u> y a la sub-familia <u>Bambusoideae</u> .
CULMO	Tallo articulado de las gramíneas, sólido en los nudos y de forma cilíndrica.
EJE	Parte central de la planta que se divide en dos secciones. Una donde se originan las ramas, hojas y demás órganos aéreos, y la otra donde nacen las raíces y órganos subterráneos.
ENTRENUDO	Parte del tallo comprendida entre dos nudos consecutivos.
ESPECIE	Subdivisión principal de un género, compuesto por miembros que reúnen caracteres comunes heredados y procrean únicamente con los de la misma subdivisión.
GENERO	Subdivisión biológica de una subfamilia, divisible por sí mismo en especies.
HERBACEO	Referente a la hierba y en oposición a leñoso.
LANCEOLADAS	La hoja alargada y aguda en la punta con bordes más o menos convexos.
MACOLLA	Conjunto de vástagos, flores o espigas que nacen de un mismo pie.
NUDO	Parte dura y saliente del eje de un vegetal.
RIZOMA	Tallo subterráneo rastrero, que da inserción a hojas reducidas a escamas y a pequeñas raíces.
TALLO	Nombre dado a la parte del eje de un vegetal en que se insertan hojas, flores y frutos. En este trabajo se le usa como sinónimo de caña o culmo.

SIMBOLOGIA

A	Area
a, b	Distancias entre el punto de aplicación de carga y los apoyos
De	Diámetro externo
Di	Diámetro interno
E	Módulo de elasticidad
e	Espesor de la pared del tallo
f	Esfuerzo
h	Altura
I	Módulo de inercia
i	Intervalo de confianza del valor promedio en %
L	Longitud entre apoyos
M	Momento
n	Número de muestras
P	Carga
P	Probabilidad de ocurrencia de un suceso
Q	Fuerza cortante
S	Desviación estándar muestral
T	Variable aleatoria de la distribución "t" de Student
tp	Percentil de la distribución "t" de Student
V	Volumen
v	Coefficiente de variación en %
\bar{X}	Media muestral
Y	Centroide
π	Constante pi
μ	Media poblacional