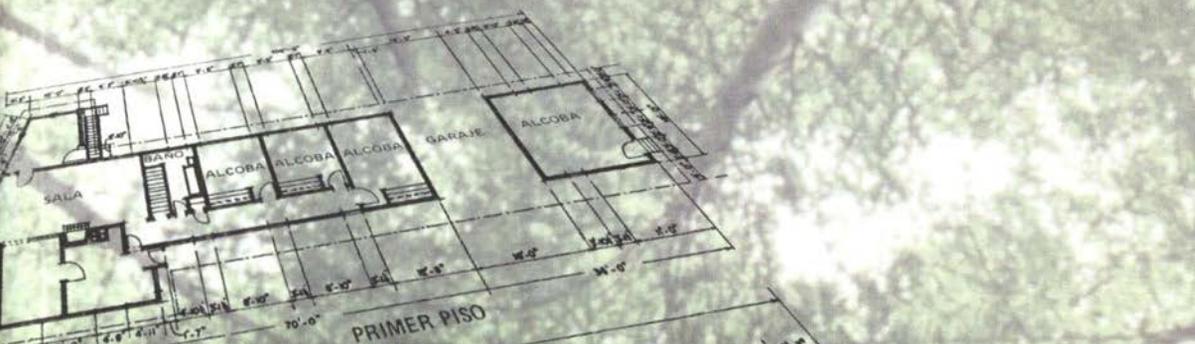


I.C. Luis Octavio González Salcedo



# Uso del bambú en el concreto reforzado



UNIVERSIDAD  
**NACIONAL**  
DE COLOMBIA

Sede Palmira



USO DEL BAMBÚ  
EN EL CONCRETO REFORZADO  
RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA



Proyecto Semilla 99CG5108  
Bases para el diseño de elementos  
estructurales en concreto,  
reforzados con bambú,  
usando especies del Valle del Cauca.

# Uso del bambú en el concreto reforzado

Recopilación Bibliográfica

Material de apoyo docente para las asignaturas:

- Estructuras y materiales de construcción
- Construcciones agrícolas

I.C. LUIS OCTAVIO GONZÁLEZ SALCEDO  
Profesor Asistente

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
SEDE PALMIRA  
2001

© Universidad Nacional de Colombia - Sede Palmira  
Diciembre de 2001

ISBN: 958-8095-13-1

Publicación Financiada por DIPAL

Impreso en los talleres gráficos  
de Impresora Feriva S.A.

Calle 18 No. 3-33

Teléfono: 883 1595

E-mail: [feriva@feriva.com](mailto:feriva@feriva.com)

[www.feriva.com](http://www.feriva.com)

# Índice general

	Pág
<b>Presentación</b>	11
<b>1. Introducción</b>	13
<b>2. Historia del uso del bambú como refuerzo del concreto</b>	16
2.1 Experimentos realizados por la Jefatura de Conservación de Whangpoo, China, para la construcción de concreto reforzado con bambú (segunda década del siglo xx)	17
2.2 Experimentos realizados por K. Datta sobre la utilización del bambú como refuerzo en el concreto	18
2.3 Experimentos realizados por H.E. Glenn sobre el empleo del bambú como refuerzo en el concreto de cemento portland	21
2.4 Estudios sobre concreto reforzado con bambú, realizados por H.G. Geymayer y F.B. Cox	30
<b>3. Limitaciones en el uso del bambú como refuerzo del concreto</b>	33
3.1 Limitaciones en la adherencia entre el bambú y el concreto	33
3.1.1 La adherencia entre el bambú y el concreto	33
3.1.2 Falta de adherencia en el concreto	34
3.1.3 Tratamientos para aumentar la adherencia	34
3.1.4 Resistencia a la extracción de astillas de bambú enclavadas en concreto	35
3.2 Limitación en el área de refuerzo	38
<b>4. Uso de cables de bambú como refuerzo del concreto</b>	39
4.1 Reseña histórica del uso de cables de bambú	39
4.2 Concreto reforzado con cables de guadua	40
4.3 Ventajas de los cables de bambú	40
<b>Bibliografía</b>	43

## Lista de Cuadros

	Pág.
1. Resultados de los ensayos mecánicos en los experimentos realizados por la Jefatura de Conservación de Whangpoo, China (Segunda década del siglo xx).	17
2. Resultados de los estudios de las propiedades mecánicas en los experimentos realizados por K. Datta (Technische Hochschule, Stuttgart, Alemania, 1935).	18
3. Principales conclusiones de los estudios de las propiedades mecánicas en los experimentos realizados por K. Datta (Technische Hochschule, Stuttgart, Alemania, 1935).	19
4. Resultados de los experimentos realizados por H.E. Glenn sobre el empleo del bambú como refuerzo en el concreto de cemento portland (Clemson Agricultural College, South Carolina, Estados Unidos, 1944).	21
5. Principios de diseño y construcción recomendados por H.E. Glenn para el concreto reforzado con bambú (Clemson Agricultural College, South Carolina, Estados Unidos, 1944).	22
6. Resultados obtenidos sobre concreto reforzado con bambú realizados por Geymayer y Cox (United States Engineer Waterways Experimental Station, Estados Unidos, 19??).	30
7. Promedios de las fuerzas de arrancamiento aplicadas (kN).	37
8. Promedios de las fuerzas de arrancamiento aplicadas (kN).	42

## Lista de Figuras

	<b>Pág.</b>
1. Viga de experimentación B1	20
2. Viga de experimentación B2	20
3. Viga de experimentación B3	20
4. Viga de experimentación B4	21
5. Refuerzo de losas y vigas, edificio de carpintería (Concreto reforzado con bambú, Clemson College).	24
6. Planta del primer piso del edificio de carpintería prefabricado de concreto reforzado con bambú (Concreto reforzado con bambú, Clemson College).	25
7. Plantas y detalles del refuerzo, edificio para la prensa (Concreto reforzado con bambú, Clemson College).	26
8. Detalles de refuerzo, pisos 1o., 2o., 3o. y cubierta, edificio para la prensa (Concreto reforzado con bambú, Clemson College).	27
9. Primer piso, sótano y planta de cimientos, residencia campestre (Concreto reforzado con bambú, Clemson College).	28
10. Armado de la cubierta, residencia campestre (Concreto reforzado con bambú, Clemson College).	29
11. Resistencia a la adherencia versus longitud de la parte embebida en el concreto.	31



# Presentación

El Cindec (Dipal) de la Sede Palmira, aprobó la realización del Proyecto Semilla 99CG5108, denominado “Bases para el diseño de elementos estructurales en concreto, reforzados con bambú, usando especies del Valle del Cauca”, cuyo objetivo fundamental es definir las bases teóricas para el diseño que permita el uso confiable del bambú como refuerzo en estructuras de concreto reforzado, para la construcción de vivienda rural e instalaciones agropecuarias.

A pesar de que una de las aplicaciones más sobresalientes del bambú en la construcción es su uso como refuerzo del concreto, un desconocimiento técnico por parte del usuario y de nuestros ingenieros y arquitectos acerca de sus bondades y también de sus desventajas, no ha permitido que este novedoso, para nuestro medio, material, el cual se puede denominar bambucreto, tenga un desarrollo técnico y masivo, por lo menos en el medio rural.

El presente documento ha sido elaborado mediante la síntesis del material bibliográfico revisado para los objetivos centrales del Proyecto Semilla; su contenido explica cómo desde hace muchos años, el bambucreto fue utilizado para la construcción de importantes obras, así como para fines experimentales, años en los cuales se pudieron determinar sus ventajas y desventajas. El autor considera que el aprovechamiento de esas ventajas y el desarrollo de nuevas técnicas y teorías de diseño que día a día superan las desventajas, podrán hacer del bambucreto un material factible y seguro.

Otra finalidad del documento es tratar de enriquecer la literatura especializada acerca del bambucreto; la actual es poca y sólo existe gracias a las investigaciones desarrolladas por el arquitecto Oscar Hidalgo López, quien en gran parte de su vida profesional y académica se interesó por la guadua.

Este documento también es producto de la colaboración de todos los estudiantes de pregrado de Ingeniería Agrícola que estuvieron vinculados al Proyecto Semilla como auxiliares de investigación; a todos ellos mis agradecimientos.

Debo finalmente, agradecer la labor de los ingenieros Luis Arnoby Rodríguez y Mauricio Jair Drada, quienes revisaron el presente texto.

# 1. Introducción

Las dificultades propias del medio rural para elaborar las estructuras de las diferentes obras civiles y de infraestructura agropecuaria en concreto reforzado, como el dificultoso transporte de los materiales a zonas de difícil acceso, así como las herramientas y tecnología necesarias para el corte y figurado del refuerzo; llevan a la investigación sobre diversos materiales vegetales nativos que proporcionen una gran resistencia a la tracción, y que además permitan la construcción de elementos a bajo costo, de disponibilidad inmediata de sus componentes, y la rápida solución en la adecuación de instalaciones de uso rural, ya sean monolíticas o prefabricadas.

Por sus extraordinarias cualidades físicas, su forma y peso (liviandad), el bambú ha sido el material de construcción de uso más diversificado que haya existido; por su bajo costo y fácil disponibilidad ha sido utilizado particularmente por la gente de escasos recursos económicos, en algunos países tanto asiáticos como latinoamericanos.

En nuestro medio rural el bambú, más conocido con el nombre vulgar de guadua y científicamente como *Bambusa guadua*, encuentra gran familiaridad dentro del campesino, por ser un material de gran disponibilidad. Cabe recordar y mencionar que todos los continentes, excepto Europa, tienen especies nativas de bambú; los miembros de los bambusoides tienen un gran rango de distribución, encontrándose bambúes desde 46° latitud Norte hasta 47° latitud Sur y en elevaciones superiores a los 4.000 metros.

Se han encontrado hasta el momento alrededor de 91 géneros en el mundo, distribuidos así: en Asia, donde existe el mayor número, se han descrito 39 géneros localizados en todos los países de la zona suroriental del continente como son China, Corea, Birmania, Tailandia, Laos, Camboya, Viet-

nam, Malasia, India y Paquistán, y en la zona insular en Japón, Formosa, Filipinas, Indonesia y Ceilán. En Africa y en la Isla de Madagascar, se han registrado hasta 15 géneros. En Oceanía es nativo de Australia, Nueva Guinea e Islas del Pacífico.

En el Nuevo Mundo se han descrito 37 géneros, que se extienden desde la parte oriental de los Estados Unidos hasta Chile. Según Pérez, la guadua se desarrolla muy bien entre los 0 y 1.600 metros, pero también crece en buenas condiciones hasta los 1.800 metros, por encima de esta altura hasta los 2.000 metros, los rendimientos son más bajos; para Calderón y Clark, la guadua se da por debajo de los 1.700 metros y para McClure, particularmente en Colombia y en el Ecuador, la *Bambusa guadua* se da en alturas inferiores a los 1.500 metros.

Según McClure, “la distribución natural de los bambúes en América se extiende desde la parte oriental de los Estados Unidos, hasta Chile (Dusín) y aun hasta la Argentina (Parodi); vale la pena anotar que la distribución natural ha sido modificada por el hombre, particularmente en América, donde se han destruido grandes plantaciones de bambú con el fin de utilizar la tierra, en variados cultivos. Esto ha sucedido en los Estados Unidos donde el bambú se ha reducido mucho; en Centroamérica la *Bambusa aculeata* (Ruprecht) Hitchcock que era antes abundante en varios países, ha sido completamente eliminada en algunas áreas. En Colombia, la *Bambusa guadua* o *Guadua angustifolia* Kunth, tiende a ser eliminada en el valle geográfico del río Cauca y en las fértiles áreas del Quindío, donde además se vende para ser empleada como combustible en hornos de la industria panelera”.

Los rodales de guadua constituyen una cobertura forestal bastante eficiente como protección de suelos en cuencas hidrográficas, en razón de lo complejo de su sistema radicular, su alta densidad y la diversidad de edades de población, cualidad ésta que permite efectuar un aprovechamiento sostenido conservando siempre su característica protectora; como regulador de humedad es la especie que presenta mayor intercambio de agua con el suelo, favoreciendo con ello la regulación de los caudales. Como recurso forestal la guadua es una especie de crecimiento muy rápido (el promedio durante los primeros 120 días es de 10 cm/día, obteniendo su altura definitiva a los 120 días) lo cual admite un aprovechamiento de gran volumen en tiempos cortos (madura entre 4 y 5 años), constituyéndose en una gran inversión rentable que asegura un ingreso económico sostenido. La guadua es de fácil aprovechamiento y transporte, lo cual representa una ventaja comparativa en relación con otras especies forestales, especialmente para el campesino de escasos recursos económicos, ya que implica ahorros en lubricantes en los procesos de corte, desrame y troceo; por su bajo peso permite ser transportada muy fácilmente, por su alta capacidad de regeneración natural no requiere de la ejecución de una nueva plantación después de su cosecha.

Los productos obtenidos de la guadua tienen gran diversidad de usos, tales como la construcción de vivienda en forma estética y económica, la industrialización de la construcción a través de casetones, el suministro de estacones para la actividad agropecuaria, obtención de pulpa para la industria papelería y hasta la generación de energía en forma de leña, pasando por las artesanías, utensilios domésticos y trinchos para control de erosión.

Este vegetal, además de sus excepcionales características físicas, posee también unas inmejorables cualidades y propiedades mecánicas, cuyos estudios e investigaciones demuestran que su tallo tiene un tipo de estructura, quizás la más perfecta que existe en la naturaleza.

Sin embargo, su empleo en la construcción se ha hecho en forma empírica, basado generalmente en los sistemas tradicionales establecidos en cada país, los cuales algunas veces están relacionados por creencias y criterios que por ser en muchos casos empíricos, interfieren la evolución de la arquitectura y aun la aplicación apropiada de este material en la ingeniería y en la construcción.

Aunque sus propiedades estructurales, tomadas como la relación peso-resistencia, superan en tal magnitud a las demás maderas, que sólo se pueden comparar con las del acero o fibras de alta tecnología, existe una asociación de subcultura de la miseria y del tugurio ligada a la guadua; toda construcción provisional, todo barrio de invasión, se ejecuta con guadua.

El empleo del bambú como elemento de refuerzo en el concreto, en reemplazo de las varillas de acero que comúnmente se utilizan, es una de las aplicaciones más sobresalientes que este material tiene en la construcción y una de sus muchas ventajas sobre la tierra.

Los chinos fueron los primeros tanto en desarrollar investigaciones en este campo como también en emplear el bambú en la construcción de concreto reforzado. Según Porterfield, las primeras aplicaciones de que se tiene noticia se realizaron en 1918, entre ellas la construcción de un cuarto frío para la International Export Co., donde se emplearon varetas cuadradas de bambú de 6 mm (1/4") como refuerzo de muros en concreto de 5 cm (2") de espesor.

Otras aplicaciones que datan de esa época, son la construcción por parte del gobierno chino de pilotes de fricción en concreto reforzados en bambú, para cimentar algunos puentes; o el uso de placas en concreto reforzado con bambú, para la construcción de muros de protección en ríos.

Anteriormente el bambú fue empleado como refuerzo en el concreto, durante la Segunda Guerra Mundial, en las islas del Pacífico, por las fuerzas armadas de los Estados Unidos y del Japón, en construcciones militares de diversa índole.

## **2. Historia del uso del bambú como refuerzo del concreto**

La idea de utilizar como refuerzo en el concreto cañas de bambú o tablillas obtenidas de dividir radial y longitudinalmente los tallos gigantes, no es nueva. Los primeros experimentos en este campo fueron realizados en 1914 por H.K. Chou en Massachusetts, Institute of Technology, en Estados Unidos, y posteriormente aplicados en China en 1918, entre otros propósitos, en la cimentación de puentes de ferrocarril en la cual utilizaron pilotes de fricción hechos en concreto reforzado con bambú, con el objeto de facilitar su transporte y colocación.

A partir de esa fecha, se han efectuado numerosas investigaciones sobre este particular en China, Japón, Filipinas, Estados Unidos, México, Colombia y en países donde no hay bambú como Alemania, Italia y Egipto. Sobresale la investigación realizada por H.E. Gleen en 1944, en Clemson Agricultural College of South Carolina, Estados Unidos, quien construyó, como parte de su investigación, las primeras estructuras en concreto reforzado con bambú, con resultados muy poco alentadores.

La mayor aplicación que hasta ahora se haya adelantado con respecto al concreto reforzado con bambú, tuvo lugar durante la Segunda Guerra Mundial en las islas del Pacífico, para la construcción de instalaciones militares por parte de las fuerzas armadas de Japón y Estados Unidos. Este último país lo utilizó para los mismos propósitos cuando intentó construir una estructura abovedada en concreto reforzado con bambú, durante la guerra de Vietnam, con resultados catastróficos.

El conocimiento de los resultados en investigaciones realizadas, permite la recopilación de información para obras futuras con el mismo propósito, o en la implementación del material como tal (concreto reforzado con bambú, el

cual podría denominarse bambucreto) para la construcción de viviendas, instalaciones agropecuarias y otros usos de obra civil.

## ***2.1 Experimentos realizados por la Jefatura de Conservación de Whangpoo, China, para la construcción de concreto reforzado con bambú (Segunda década del siglo xx)***

Los estudios experimentales realizados por la Jefatura de Conservación de Whangpoo, tienen gran importancia por haber sido los primeros que se efectuaron sobre la utilización del bambú como refuerzo en el concreto; basados sobre un total de 220 muestras. Los resultados obtenidos en los ensayos mecánicos se presentan en el Cuadro 1

**Cuadro 1**

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS MECÁNICOS EN LOS EXPERIMENTOS REALIZADOS POR LA JEFATURA DE CONSERVACIÓN DE WHANGPOO, CHINA (SEGUNDA DÉCADA DEL SIGLO XX).

ENSAYO	RESULTADO PROMEDIO PSI	RESULTADO PROMEDIO MPa	OBSERVACIONES
Flexión	13300	93.50	150 muestras ensayadas. La resistencia final a la flexión varió entre 11000 a 14000 psi, dependiendo de la forma como se aplicó la carga. El colapso del bambú se presentó siempre de un momento a otro, después de que el material se rajaba en piezas paralelas al eje longitudinal. Ninguna de las fibras se rompió y el colapso fue causado por esfuerzo cortante.
Esfuerzo cortante	1183 1033	8.32 7.26	Valores para muestras secas y muestras verdes, respectivamente.
Módulo elasticidad	1660000	11.67	Valores similares a los encontrados en el pino.
Tensión	14000	98.59	Se ensayaron vigas de concreto reforzado con bambú a flexión y el valor de la resistencia se calculó empleando fórmulas apropiadas. Se presentó agrietamiento debido a alta deflexión.
Compresión	5500	38.67	La elasticidad del bambú es una de las principales desventajas para utilizarlo como refuerzo. Una viga de ensayo en concreto reforzado con bambú, simplemente apoyada en sus extremos, se agrieta antes que se le aplique cualquier carga.

Las investigaciones realizadas determinaron también la gravedad específica, obteniéndose un valor de 0.862; sin embargo, ésta varía en las diferentes zonas de la sección transversal; la gravedad específica de la capa silícea externa que corresponde a 1/16" de espesor de la pared del bambú en especies secas es del orden de un 50% mayor que la de las capas internas.

## 2.2 Experimentos realizados por K. Datta sobre la utilización del bambú como refuerzo en el concreto.

Los experimentos sobre la utilización del bambú en construcciones de concreto desarrollados por K. Datta en la Technische Hochschule (Stuttgart, Alemania) en 1935, se basaron en los estudios de las propiedades mecánicas del bambú realizados en la misma Escuela, por el profesor Bauman, cuyos resultados se presentan en el Cuadro 2.

**Cuadro 2**

RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS EN LOS EXPERIMENTOS REALIZADOS POR K. DATTA (TECHNISCHE HOCHSCHULE, STUTTGART, ALEMANIA, 1935).

PROPIEDAD MECÁNICA	RESULTADO OBTENIDO PSI	RESULTADO OBTENIDO MPa	OBSERVACIONES
Módulo de elasticidad a compresión	2683800 a 2825800	18900 a 19900	Determinado en cañas de bambú; es un valor aproximado al módulo de elasticidad del concreto.
Resistencia a la compresión	11275 a 12301	79.4 a 86.3	Determinado en cañas de bambú con una longitud de 30 cm, un diámetro exterior de 3 cm y un espesor de pared de 0.45 cm; estos valores son mayores a los obtenidos en concretos ordinarios.
Módulo de elasticidad a tensión	2414000 a 2556000	17000 a 18000	Se puede tomar un valor promedio de 17500 MPa.
Resistencia a la tensión	23103 a 29394	162.7 a 207.0	
Módulo de elasticidad a flexión	2414000 a 3124000	17000 a 22000	
Resistencia a la flexión	2499 a 10835	17.6 a 76.3	Determinado en cañas de bambú con diámetro exterior entre 7 y 8 cm, y una distancia entre soportes de 25 veces del diámetro.

Los resultados de las investigaciones realizadas sugieren que un miembro de concreto reforzado con bambú, sujeto a compresión, no es más débil que una pieza similar de concreto de igual área en la sección transversal; por el contrario, si está reforzado con bambú, debe ofrecer una mayor resistencia como resultado de la mayor resistencia a la compresión del bambú. Además, una pieza de concreto reforzado con bambú obviamente es más flexible que una pieza de concreto de igual sección transversal; como el bambú comparado con el concreto posee aproximadamente el mismo módulo de elasticidad, pero mayor resistencia a la compresión, sería ventajoso emplear cañas de bambú en la zona de presión de vigas de concreto reforzado (Hidalgo, 1974).

Las cañas de bambú poseen considerablemente mayor resistencia a la tensión que el concreto; por esta razón pueden usarse en la zona de tensión en lugar del acero de refuerzo de una viga de concreto reforzado. En comparación con el acero, el bambú posee un reducido módulo de elasticidad a la

tensión, por lo cual es necesario reemplazar el área de la sección transversal en la zona de tensión de la viga de concreto reforzado, por una mayor área de sección transversal de bambú, para lograr el mismo efecto; en cualquier caso el uso del refuerzo de bambú como sustituto del acero parece posible solamente en vigas que no presten una función vital (Hidalgo, 1974). Las principales conclusiones a los experimentos de K. Datta se resumen en el Cuadro 3.

### Cuadro 3

PRINCIPALES CONCLUSIONES DE LOS ESTUDIOS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS EN LOS EXPERIMENTOS REALIZADOS POR K. DATTA (TECHNISCHE HOCHSCHULE, STUTTGART, ALEMANIA, 1935).

ASPECTO	CONCLUSIÓN
Interacción química	No se observó ninguna interacción química entre el bambú y el concreto durante los experimentos y se supone que no exista.
Hinchamiento	El bambú no impermeabilizado absorbe humedad después de estar embebido en el concreto. La tensión interior del concreto puede hacerse tan alta, de acuerdo con la dimensión de la sección transversal del bambú, que puede causar fisuras en el recubrimiento del concreto fresco; posteriormente con el tiempo el bambú se contrae en grado mayor y más rápidamente que el concreto, perdiendo la adherencia con el concreto.
Resistencia al deslizamiento	La resistencia al deslizamiento entre el concreto y latas o tabillas de bambú sin las paredes de los nudos, se obtuvo en el laboratorio, halando el bambú embebido previamente en cubos de concreto, obteniéndose un resultado de 0.35 MPa. La resistencia al deslizamiento entre el concreto y latas de bambú impermeabilizado con las paredes o tabiques de los nudos fue tan grande que alcanzó una resistencia a la compresión de 82.5 MPa. Por otra parte se observó que los nudos en las cañas de bambú evitaron el deslizamiento de la misma dentro del concreto, hasta una resistencia a la tensión del bambú de 56.5 MPa.
Fisuramiento	Las fisuras que aparecieron en el recubrimiento de concreto de vigas reforzadas con bambú, como resultado del hinchamiento del refuerzo del bambú no tiene efectos en los valores de la carga de ruptura de la viga. El sistema de colocación del refuerzo de bambú que se empleó en las vigas B1 y B2 (Figuras 1 y 2) resultó ser el más apropiado. Cuando el refuerzo de bambú se coloca como se indica en las vigas B3 y B4 (Figuras 3 y 4), puede asegurarse que los estribos de acero distribuidos a lo largo de la viga previenen las fisuras en el concreto.  Los resultados demuestran que las vigas de concreto reforzado con bambú pueden sustituir tanto las vigas de concreto reforzado con acero como a las vigas de madera en casas pequeñas y económicas.
Capacidad de carga	El refuerzo con cañas o tallos de bambú no reduce la capacidad de carga de la viga de concreto en la viga. Un refuerzo suficiente de cañas de bambú, produce un ligero aumento en la capacidad de carga. Su uso es más apropiado en la construcción de paredes.
Seguridad	En la zona de tensión, encima del refuerzo de acero, se aumenta la seguridad de las vigas de concreto reforzado.
Empleo del bambú como refuerzo	Para restringir la expansión del bambú, se puede impermeabilizar con el bambú con blanco de plomo o material aislante Mayorit.  El empleo de una mezcla de concreto muy rica, estribos de acero y la impermeabilización de las cañas de bambú del refuerzo; previenen la destrucción del recubrimiento de concreto como resultado del hinchamiento del refuerzo de bambú.  Los tallos o cañas de bambú deben ser en lo posible rectos y fuertes, deben estar secos en el momento de ser embebidos en el concreto, y deben preferirse cañas de pequeño diámetro exterior y paredes de gran espesor.  Cuando el refuerzo de bambú se va a usar como sustituto del refuerzo de acero en la zona de tensión de una viga de concreto, el área de la sección transversal del bambú, debido a su módulo de elasticidad de tensión, debe ser por lo menos doce veces mayor que el área de la sección transversal del acero.

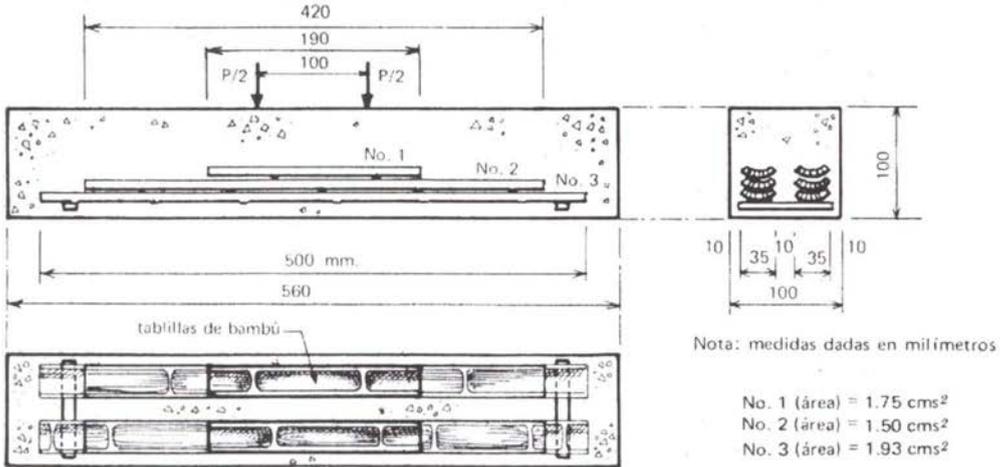


Figura 1: Viga de experimentación B1

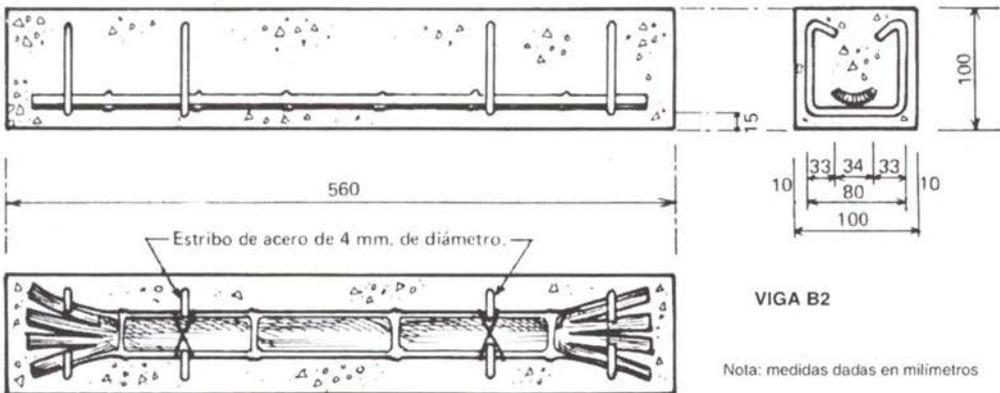


Figura 2: Viga de experimentación B2

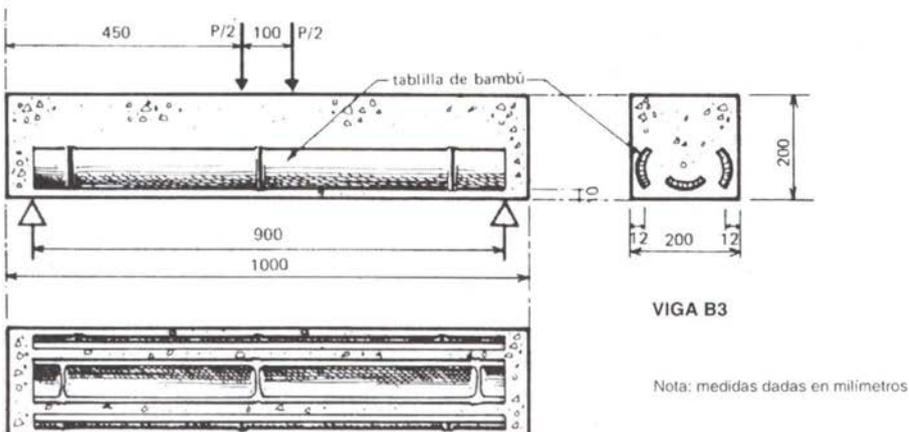


Figura 3: Viga de experimentación B3

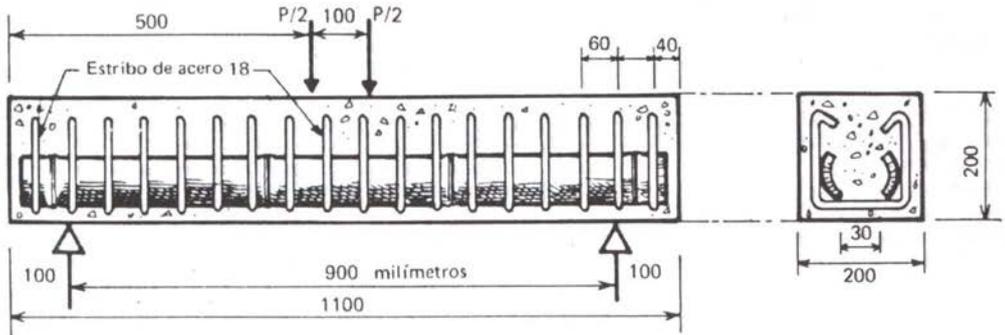


Figura 4: Viga de experimentación B4

### 2.3 Experimentos realizados por H.E. Glenn sobre el empleo del bambú como refuerzo en el concreto de cemento portland

En 1944, H.E. Glenn realizó en Clemson Agricultural College, South Carolina (Estados Unidos), con la cooperación de la War Production Board, una serie de experimentos encaminados a la utilización del bambú como material de refuerzo en el concreto. Los resultados obtenidos se presentan en el Cuadro 4 (Hidalgo, 1974).

#### Cuadro 4

RESULTADO DE LOS EXPERIMENTOS REALIZADOS POR H.E. GLENN SOBRE EL EMPLEO DEL BAMBÚ COMO REFUERZO EN EL CONCRETO DE CEMENTO PORTLAND  
(CLEMSON AGRICULTURAL COLLEGE, SOUTH CAROLINA, ESTADOS UNIDOS, 1944)

PROPIEDAD MECANICA	RESULTADO PSI	RESULTADO MPa	OBSERVACIONES
Módulo de elasticidad a la flexión	1500000 a 3000000	10546.5 a 21093.0	El curado y tratamiento de los tallos de bambú con metilurea aumentó la resistencia a la flexión y el módulo de elasticidad, con relación a tallos verdes y sazonados. Los resultados deducen la existencia de una gran variabilidad de las características de flexión del bambú, de acuerdo con la especie, como sucede con la madera.
Resistencia a la tensión directa	26000 a 50000	182.8 a 351.6	La resistencia máxima a la tensión indica la misma variación para las especies y variedades ensayadas con o sin nudos. El promedio de la máxima resistencia a tensión de todas las especies y variedades fue de 37500 psi (263.7 MPa) en el internudo, y de 32500 psi (228.9 MPa) en el nudo.
Módulo de elasticidad a la tensión	2000000 a 4500000	14062.0 a 31639.5	El módulo de elasticidad y resistencia a la tensión no varían de manera consistente con la edad del tallo. Ni el módulo de elasticidad ni la resistencia a la tensión de las especies y variedades ensayadas se modificaron por el tratamiento con metilurea Dupont.

Resistencia a la compresión	8000	56.3	Valores máximos. El valor de la resistencia a la compresión del bambú es mucho menor que el de la resistencia a tensión en una misma especie, en una relación aproximada de 1:4.
Módulo de elasticidad a la compresión	2156554	15187.0	Valores máximos. El módulo de elasticidad a la compresión es ligeramente inferior que el módulo de elasticidad a tensión.
Adherencia entre el bambú y el concreto	350	2.5	Valores máximos. El bambú tiene un factor de contracción relativamente alto del estado verde al seco; esta contracción es mucho mayor a través del diámetro que a lo largo de la longitud del tallo. Varios factores influyen en el grado de contracción cuando un bambú acabado de cortar se sazona, como la edad del tallo, y la estación del año en que se corta.

Las principales recomendaciones de diseño y construcción para el uso de concreto reforzado con bambú, resumidas de los resultados obtenidos en las investigaciones realizadas por H.E. Glenn, se presentan en el Cuadro 5 (Hidalgo, 1974)

### Cuadro 5

PRINCIPIOS DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN RECOMENDADOS POR H.E. GLENN  
PARA EL CONCRETO REFORZADO CON BAMBÚ  
(CLEMSON AGRICULTURAL COLLEGE, SOUTH CAROLINA, ESTADOS UNIDOS, 1944).

Aspecto	Principios de diseño y construcción
Características del tallo de bambú	El uso de tallos de bambú no sazonados, no se recomienda como material de refuerzo en elementos importantes de concreto; se puede usar con éxito en la construcción de losas de concreto y miembros secundarios, cuando los diámetros de los tallos no exceden de 3/4" (20 mm). En lo posible los tallos deben cortarse y dejarse sazonar y secar en un periodo entre 3 a 4 semanas antes de ser utilizados.
Periodo de corte de los tallos de bambú	No se recomienda el empleo de tallos de bambú cortados en primavera o a comienzos de verano, cuando el elemento será sometido a flexión; seleccionándose solamente aquellos tallos con una prolongada coloración café oscura, y una edad menor a tres años.
Uso de tallos de bambú completamente sazonados	En miembros importantes de concreto sujetos a flexión, se deben usar tallos de bambú completamente sazonados y con algún tipo de impermeabilizante. Para losas y miembros secundarios, y donde las secciones de concreto son de tales dimensiones que permiten la colocación del bambú con una separación libre de 1" a 2" (38 a 50 mm) entre listones o latas de bambú y entre capas sucesivas, es recomendable el uso de listones no sazonados de bambú, siempre y cuando se utilice un concreto de fraguado rápido, y en ningún caso el ancho del listón debe exceder de 3/4".
Esfuerzos de tensión diagonal	Se recomienda el empleo de listones o latas verticales de bambú a fin de soportar los esfuerzos de tensión diagonal en miembros que van a estar sometidos a flexión en tal forma que cubran la porción del miembro donde el esfuerzo cortante vertical sea alto y donde no es práctico doblar hacia arriba.
Espaciamiento en el refuerzo de bambú	Cuando el refuerzo principal está muy unido, la resistencia a la flexión del miembro se afecta adversamente. Cuando el refuerzo principal longitudinal se utiliza en hileras verticales y la hilera superior está próxima al eje neutro de la viga, el área de concreto en esta sección sometida a un esfuerzo cortante horizontal, puede ser disminuida suficientemente hasta causar la falla de la viga debido al esfuerzo cortante horizontal.

Aspecto	Principios de diseño y construcción
Diseño de miembros estructurales de concreto reforzados con bambú, sometidos a cargas de flexión.	<p>En todos los miembros de concreto sometidos a cargas de flexión, se presenta un alto grado de deflexión antes de que ocurra la falla.</p> <p>Se deben usar valores de diseño que no excedan de 3000 a 4000 psi para refuerzos de flexión permisibles del refuerzo de bambú, si la tensión del miembro debe mantenerse por debajo de 1/360 de la longitud.</p> <p>Se recomienda que en el diseño de vigas T, éstas se diseñen como vigas rectangulares, ignorando el ancho del ala.</p>
Area de la sección transversal del refuerzo de bambú.	<p>El bambú como refuerzo en vigas de concreto aumenta la capacidad de carga hasta la falla final considerablemente por encima de la que puede esperarse de una viga de iguales dimensiones pero sin refuerzo. La capacidad de carga de vigas de concreto reforzado con bambú se incrementa con el aumento del porcentaje del refuerzo de bambú hasta un valor óptimo, el cual se logra cuando el área de la sección transversal del refuerzo longitudinal de bambú es de 3 a 4% del área de la sección transversal de la viga de concreto.</p>
Esfuerzos de tensión	<p>Los miembros que tienen el porcentaje óptimo de refuerzo de bambú entre 3 y 4%, pueden producir en el bambú esfuerzos de tensión entre 8000 y 10000 psi. Como valores de esfuerzos de seguridad se pueden utilizar entre 5000 y 6000 psi.</p>

Las investigaciones también condujeron a la construcción de edificaciones, las cuales fueron diseñadas para ser usadas como estructuras experimentales y estudiar los resultados de los principios de diseño. En las Figuras 5, 6, 7, 8, 9 y 10, se muestran los prototipos construidos detallando las dimensiones de los elementos estructurales y el refuerzo en bambú empleado (Hidalgo, 1974).



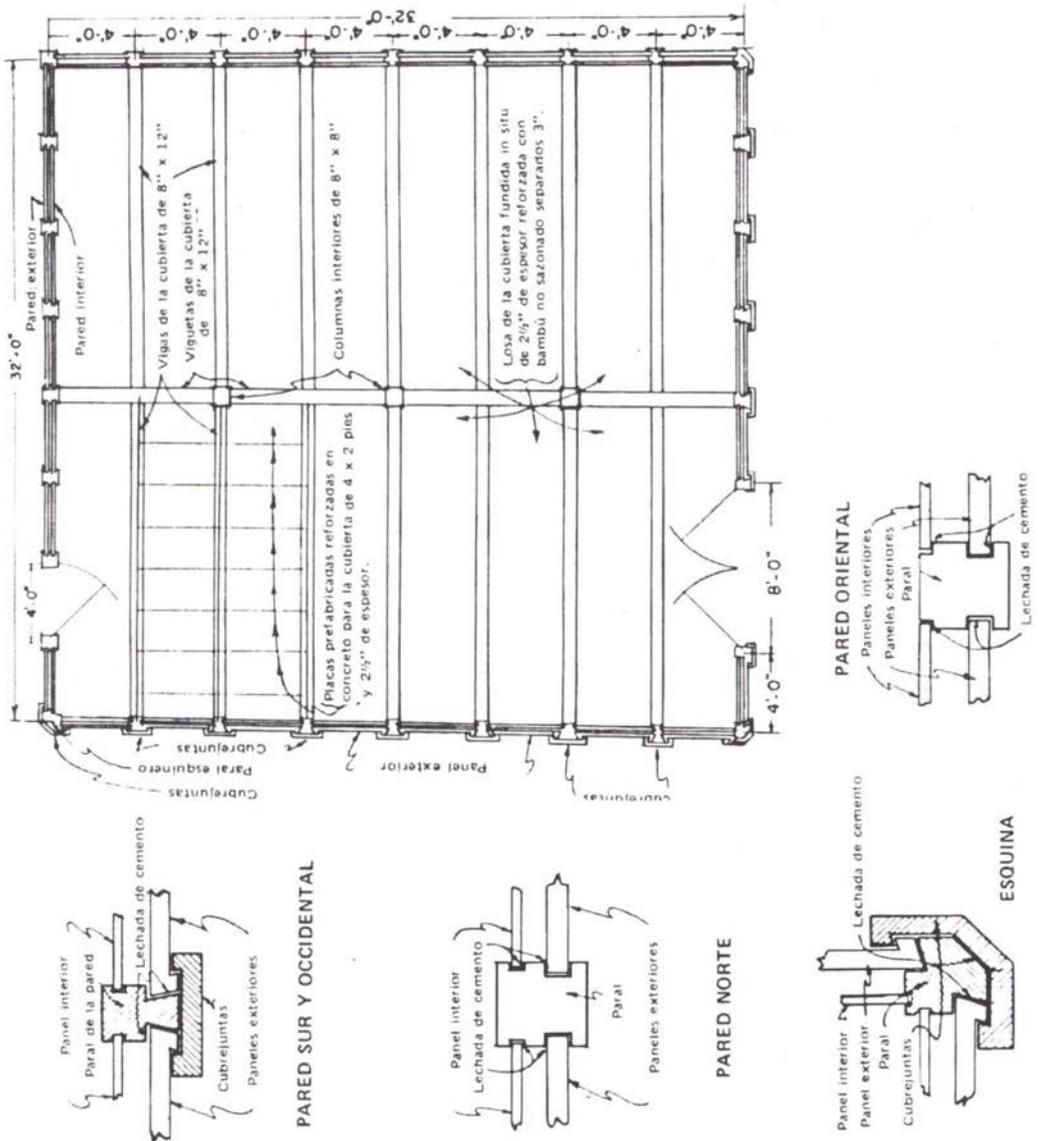


Figura 6: Planta del primer piso del edificio de carpintería, prefabricado de concreto reforzado con bambú (concreto reforzado con bambú, Clemson Agricultural College)

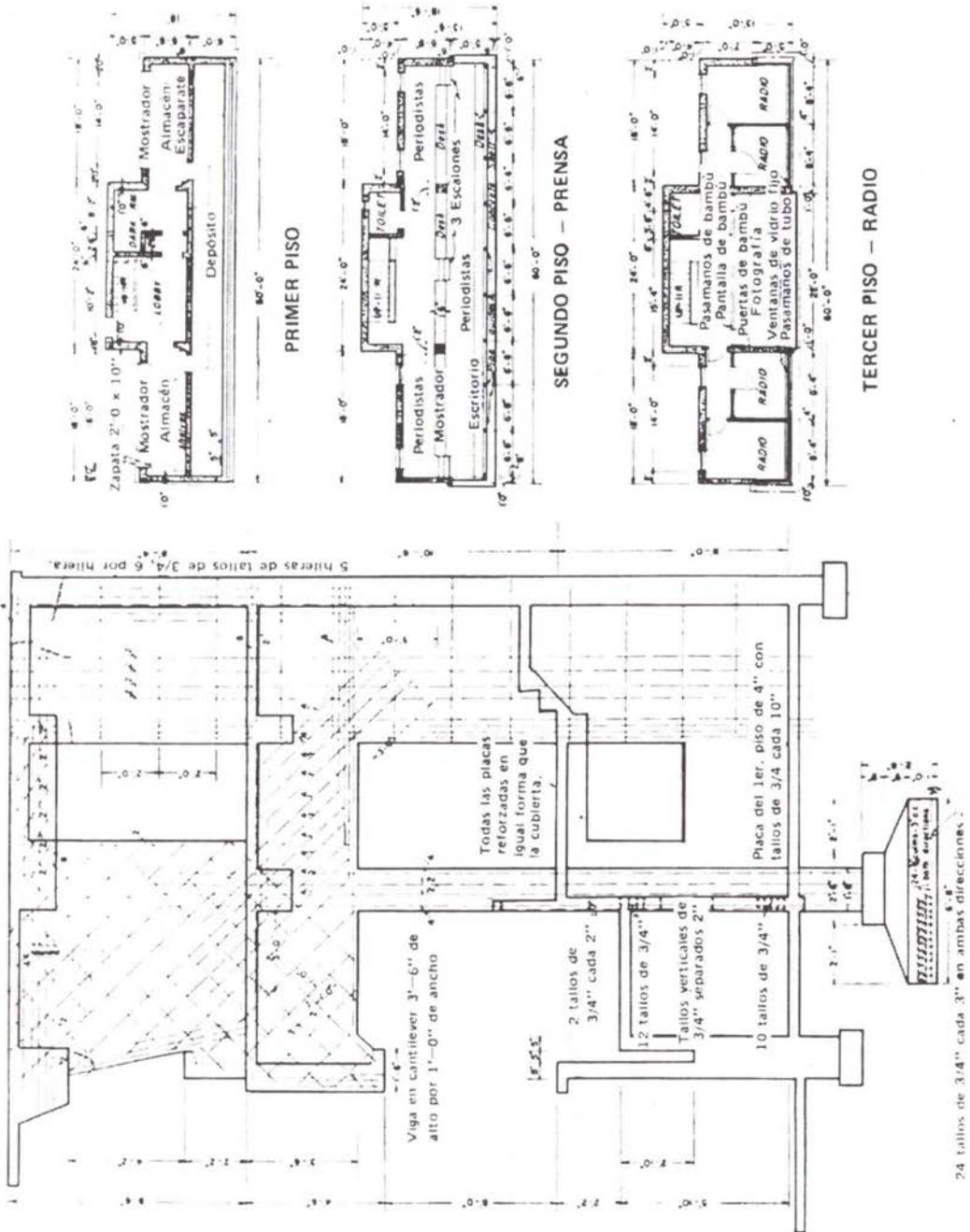


Figura 7: Plantas y detalles del refuerzo, edificio para la prensa (concreto reforzado con bambú, Clemson Agricultural College).

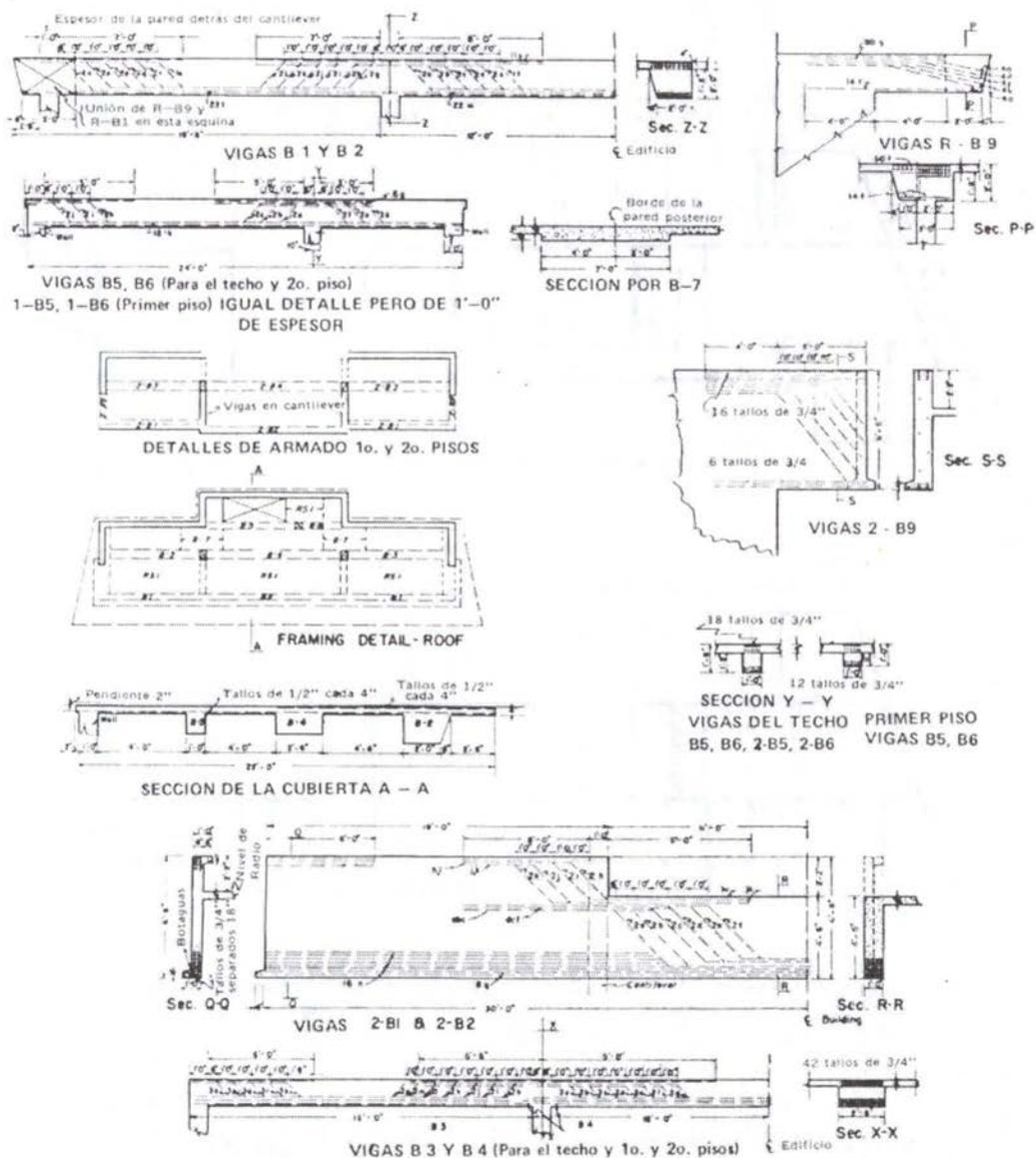


Figura 8: Detalles de refuerzo de los pisos 1o., 2o., 3o. y cubierta, edificio para la prensa (concreto reforzado con bambú, Clemson Agricultural College).

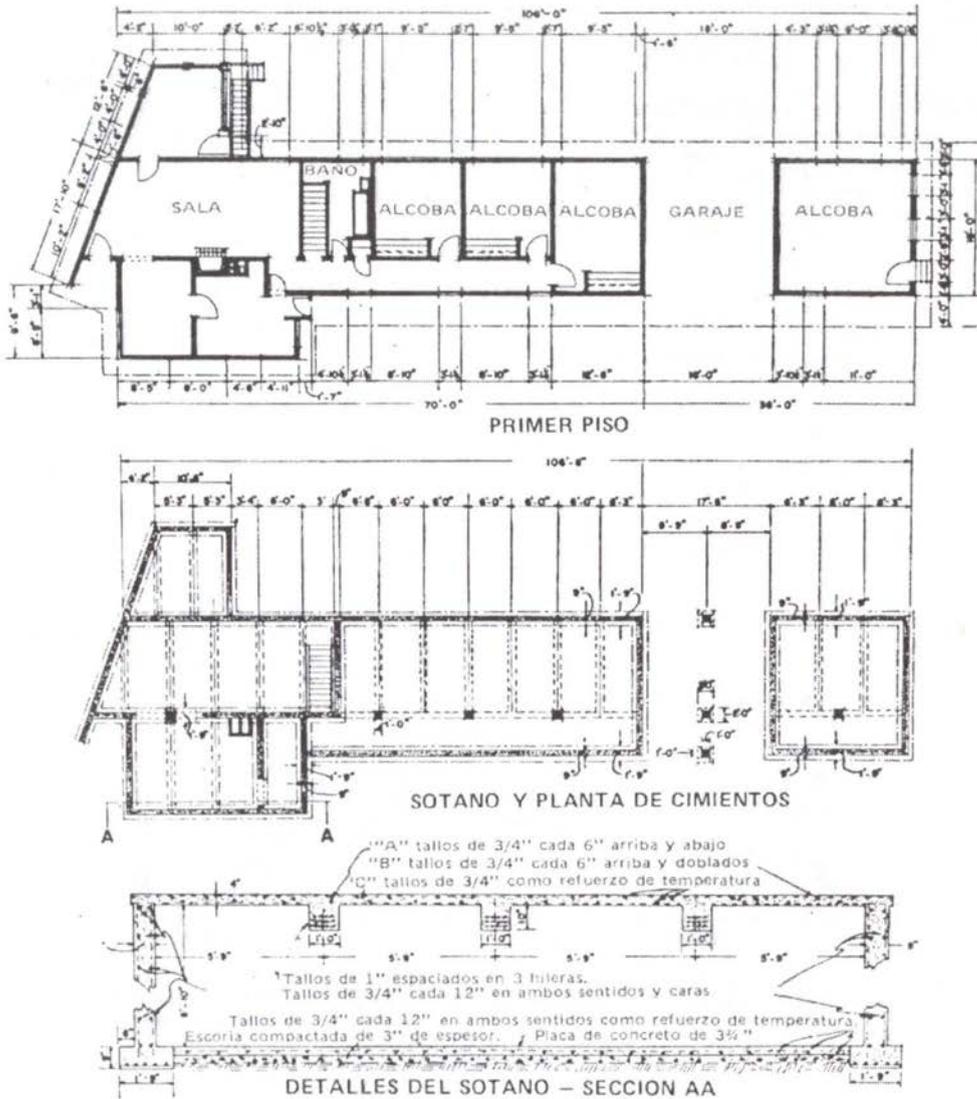


Figura 9: Primer piso, sótano y planta de cimientos, residencia campestre (concreto reforzado con bambú, Clemson Agricultural College).



## 2.4 Estudios sobre concreto reforzado con bambú realizados por H.G. Geymayer y F.B. Cox.

Los estudios experimentales realizados por Geymayer y Cox, de la United States Engineer Waterways Experiment Station, se refieren al análisis de problemas que se presentan en el empleo del bambú como refuerzo del concreto y a la forma como pueden ser solucionados; así mismo, establecieron procedimientos tentativos para el diseño de miembros estructurales y placas de concreto. Para estos estudios se emplearon las especies *Arundinaria tecta* (caña pequeña) y la *Arundinaria gigantea* (caña del sur) que son las más comunes en los Estados Unidos.

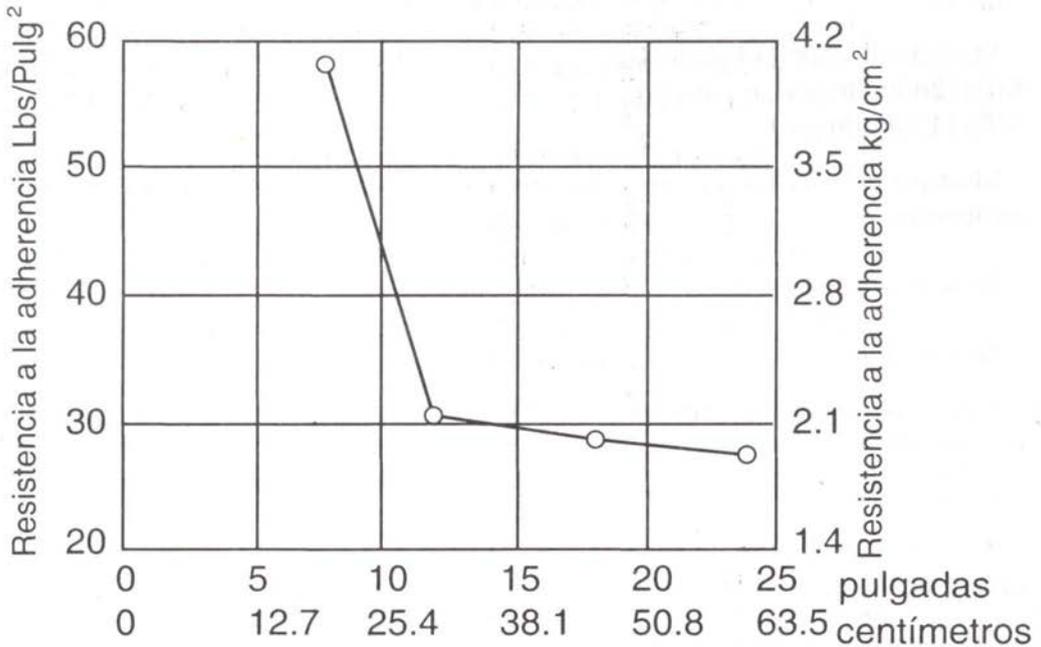
En el Cuadro 6 se presentan los resultados obtenidos (Hidalgo, 1974).

### Cuadro 6

RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS SOBRE  
CONCRETO REFORZADO CON BAMBÚ, REALIZADOS POR GEYMAYER Y COX  
(UNITED STATES ENGINEER WATERWAYS EXPERIMENT STATION, ESTADOS UNIDOS, 19??).

PROPIEDAD MECANICA	RESULTADO PSI	RESULTADO MPa	OBSERVACIONES
Resistencia a la tensión	15000	105.5	Los valores anotados corresponden al valor promedio; se alcanzaron valores máximos hasta de 53000 psi (327.6 MPa).  La resistencia a la tensión del bambú sometido a cargas prolongadas es considerablemente menor a la obtenida en los ensayos del laboratorio, encontrándose reducciones hasta del 50%.
Módulo de elasticidad	?	?	El módulo de elasticidad del bambú es relativamente bajo comparado con el del acero, usualmente menos de 1/10, lo que produce grandes deflexiones y fisuras cuando miembros de concreto reforzado con bambú son cargados hasta el límite de su capacidad. Especímenes sazonados de las mismas especies después de estar sometidos a esfuerzos de tensión, alcanzaron hasta un 40% de la elongación elástica bajo la carga respectiva.
Resistencia a la adherencia del bambú	?	?	La resistencia a la adherencia obtenida en los ensayos de adherencia de especímenes con una longitud de empotramiento de 6", fue casi dos veces tan alta como la resistencia a la adherencia lograda con los especímenes de 12, 18 y 24" de longitud de empotramiento (Figura 11).

Con base en los datos obtenidos de los resultados de la investigación anterior, se concluyeron los siguientes procedimientos tentativos y recomendaciones para el diseño de miembros de concreto reforzados con bambú, en particular vigas y losas (Hidalgo, 1974).



**Figura 11:** Resistencia a la adherencia versus longitud de la parte embebida en el concreto.

Para el diseño de vigas de sección rectangular, se recomendó no tener en cuenta el bambú y diseñar la viga de concreto como si no estuviera reforzada, calculando la sección más adecuada y considerando un esfuerzo permisible de tensión igual a:

$$\sigma_T = 2.12 f'_c \quad [\text{kgf/cm}^2] \quad (1)$$

$$\sigma_T = 8 f'_c \quad [\text{psi}] \quad (2)$$

donde,

$\sigma_T$  es la resistencia a la tensión del concreto

$f'_c$  es la resistencia a la compresión del concreto (a los 28 días)

Se deben utilizar tablillas o latas de tallos de bambú previamente remojadas, preferiblemente tratadas, como refuerzo a la tensión, en una cuantía del 3 al 4%. Se conforma así un factor de seguridad total de 2 a 2.5.

Para la realización de un diseño elástico, de acuerdo con el procedimiento de las cargas de trabajo del ACI, se recomiendan los siguientes esfuerzos de

trabajo:

Módulo de elasticidad del bambú en tensión ( $E_b$ ): tomar un valor de 14061.4 MPa (2000000 psi), o para un análisis de deflexión, asumir un valor de 8788.4 MPa (1250000 psi).

Módulo de elasticidad del concreto ( $E_c$ ): calculado mediante la siguiente expresión:

$$E_c = 15246 \sqrt{f_c} \quad [\text{kgf/cm}^2] \quad (3)$$

$$E_c = 57500 \sqrt{f_c} \quad [\text{psi}] \quad (4)$$

Esfuerzo en la fibra extrema de concreto ( $f_c$ ): calculado mediante la siguiente expresión:

$$f_c = 0.8 f_c \quad (5)$$

Esfuerzo de tensión en los tallos de bambú inferiores ( $f_b$ ): asumir un valor máximo de 35.15 MPa (5000 psi).

Esfuerzo cortante en el concreto ( $V_c$ ): usar  $V/bh$  en vez de  $V/bd$ , calculado mediante la siguiente expresión:

$$V_c = 0.292 \sqrt{f_c} \quad [\text{kgf/cm}^2] \quad (6)$$

$$V_c = 1.1 \sqrt{f_c} \quad [\text{psi}] \quad (7)$$

Fuerza de anclaje por tallo ( $F$ ): para un mínimo de longitud de empotramiento de 30.48 cm (12"), calculado así:

$$F = 437.8 P \quad [\text{N}] \quad (8)$$

$$F = 250 P \quad [\text{lb}] \quad (9)$$

donde,

$P$  es el perímetro del tallo, en centímetros para la ecuación 8, y en pulgadas para la expresión (9).

Para el diseño de losas, se sugiere colocar una cuantía de refuerzo del 3%, y espesores mínimos de 3" (6.62 cm) con el objetivo de asegurar un recubrimiento suficiente. Para los procedimientos de diseño, se diseñan las placas como si no tuvieran refuerzo, empleando un esfuerzo permisible del concreto de:

$$\sigma_T = 1.59 \sqrt{f_c} \quad [\text{kgf/cm}^2] \quad (10)$$

$$\sigma_T = 6 \sqrt{f_c} \quad [\text{psi}] \quad (11)$$

### **3. Limitaciones en el uso del bambú como refuerzo del concreto**

Como refuerzo para el concreto, su utilización tropieza con la poca adherencia que el bambú desarrolla en la matriz. La variación volumétrica del material responsable por la aparición de fisuras longitudinales en el concreto reforzado con bambú provoca la disminución de su carga y empeora la adherencia entre el concreto y el bambú; tales fisuras aumentan cuando el porcentaje de bambú en la matriz de concreto es alto (mayor del 4%).

Varias medidas se han tomado con el fin de superar esta dificultad natural del bambú, pero algunas han alcanzado mejores resultados que otras; no obstante, subsisten desventajas asociadas principalmente al hecho de que el bambú sufre alteraciones volumétricas al secarse o al humedecerse. Este, además de ser un material abundante en los trópicos, se caracteriza también por presentar alta resistencia a la tracción, fácil manejo, bajo costo y alta relación resistencia por peso.

Se concluye que el bambú como refuerzo del concreto no es sólo un material viable, sino también de fácil aplicación y pronta disponibilidad, adecuado para el uso en construcciones rurales y urbanas, constituyéndose en una excelente opción para construcciones de bajo costo, tema que interesa sobremanera a los países en desarrollo.

#### ***3.1 Limitaciones en la adherencia entre el bambú y el concreto***

##### ***3.1.1 La adherencia entre el bambú y el concreto***

Al ser incorporado a una pieza de concreto, funcionando como armadura de tracción, el bambú puede sufrir variaciones volumétricas durante el pro-

ceso de fraguado de concreto; en un primer momento, el bambú tiende a hincharse debido al humedecimiento provocado por el contacto con el concreto fresco; y posteriormente se invierte esa tendencia. El concreto, aún fraguando, pero ya endurecido, pasa a absorber el agua del bambú y éste tiende a secarse marchitándose.

Varios trabajos han sido orientados con la intención de superar este problema. Gran parte de ellos han tenido como enfoque principal la disminución de las alteraciones volumétricas del bambú a través de un bloqueo del paso del agua por este material, y se sugiere también el uso de tratamientos químicos sobre el bambú para hacerlo más impermeable; el empleo de productos químicos puede no solamente encarecer el producto final obtenido (bambuceto), sino también desanimar a sus eventuales usuarios, principalmente pequeños y medianos agricultores (Argollo; Freire; Barros; 1992).

### **3.1.2 Falta de adherencia en el concreto**

De las formas como hasta ahora se ha utilizado el bambú como refuerzo, la más recomendada ha sido el empleo de tablillas, debido a que éstas desarrollan mayor adherencia en el concreto que las cañas o bambúes completos, que tienen una superficie lisa y cerosa; sin embargo, en cualquiera de las formas en que sea empleado como refuerzo, al estar embebido en el concreto absorbe el agua de la mezcla, aumentando de volumen y posteriormente al secarse se contrae perdiendo la adherencia con el concreto.

En experimentos realizados (Hidalgo, 1978) con secciones del tallo y con tablillas de guadua (*Bambusa guadua*) que se han dejado sumergidas en agua por espacio de ocho días, se ha observado que el diámetro de las secciones aumenta en un 2.5% en las primeras 24 horas y en un 5% al cabo de ocho días. En las tablillas, el espesor de su pared aumenta en un 8% en 24 horas, y un 15% en ocho días. Estos cambios de volumen se presentan en forma similar en todos los bambúes, siendo menores cuando mayor es su edad.

La mayor parte de los investigadores centraron sus experimentos en buscar una solución a este problema, coincidiendo, como es de lógica, que el bambú debe recubrirse con una sustancia impermeable con el fin de evitar que éste absorba el agua de la mezcla de concreto; muchos de estos investigadores, en su afán de dar una solución al problema, olvidaron que el usuario principal de estas investigaciones es el campesino de pocos recursos económicos y recomiendan tratamientos tan sofisticados y costosos, que en la mayoría de los casos resulta mucho más económico el empleo de acero que el de bambú (Hidalgo, 1978).

### **3.1.3 Tratamientos para aumentar la adherencia**

Algunos tratamientos que se recomiendan, tanto para impermeabilizar el refuerzo como para aumentar su adherencia, son los siguientes:

- **GLENN (1944)**: Recomienda recubrir las tablillas de refuerzo con una capa muy delgada de emulsión asfáltica como impermeabilizante; este tratamiento tiene el peligro de que el usuario aplique una mayor cantidad de emulsión, obteniéndose un efecto contrario por lubricación de refuerzo, perdiendo éste totalmente su adherencia. También se ha sugerido el uso de pinturas y barnices, que además de costosos corren el mismo peligro en su aplicación.
- **PALMA (1976)**: Recomienda un tratamiento por inmersión del refuerzo de bambú en una solución al 2% de cloruro de zinc, o el recubrimiento del mismo con un adhesivo de neopreno sobre el cual se rocía arena gruesa con el fin de lograr mayor adherencia; este tipo de adhesivo no se consigue fácilmente en el mercado y su costo es muy elevado.
- **KOWALSKI (1974)**: Recomienda usar como refuerzo principal medios tallos, es decir, dividiéndolos longitudinalmente en dos partes, los cuales deben secarse previamente hasta un contenido de humedad del 20%, después, sus extremos, en una longitud de 25 cm se impregnan con un adhesivo, ya sea una resina poliésterica o epóxica, sobre la cual se rocía arena fina o polvo fino de sílice para lograr mayor adherencia. Posteriormente, la parte restante se sumerge por espacio de cuatro días en una mezcla 1:1 de aceite de linaza y trementina, teniendo el cuidado de no sumergir los extremos ya tratados.
- **GEYMAYER, COX**: Recomiendan el recubrimiento completo del refuerzo de bambú con resinas epóxicas o poliéstericas, cuyo costo de adquisición es elevado.
- **FANG (1976)**: Recomienda un tratamiento de azufre, arena para recubrir cañas de bambú que se utilicen como refuerzo; el proceso seguido en sus experimentos es el siguiente: se perforan parcialmente los tabiques de los nudos, luego se remueve la cutícula o parte brillante del bambú con un chorro de arena a presión (sandblasting), después de lo cual se envuelve con alambre con el fin de evitar el aumento de volumen, finalmente se sumerge en azufre derretido a una temperatura de 120°F (49°C).

### **3.1.4 Resistencia a la extracción de astillas de bambú enclavadas en concreto**

Para averiguar la adherencia entre el bambú y el concreto fueron moldeados cuerpos de prueba de concreto con astillas de bambú incrustadas en cada una de ellas (Argollo; Freire; Barros; 1992). Todas las astillas fueron sometidas a un pretratamiento de inmersión por treinta minutos en agua hirviendo

y posteriormente secamiento al aire libre durante un mes, y la delineación estadística utilizada en el experimento fue la de los bloques casualizados.

Los tratamientos comprendieron:

- (TT) Testigo: astillas de bambú sin ningún tratamiento físico.
- (AA) Alquitrán con arena: astillas inmersas en alquitrán caliente y salpicadas con arena media.
- (GC) Grapas de cerca: astillas clavadas con grapas de alambre.
- (AP) Alambre de púa: astillas envueltas con alambre de púa.
- (RC) Raspado de la cáscara: astillas con la cáscara raspada.

Todos los tratamientos probados son de bajo costo y fácilmente aplicables por cualquier usuario, sea de la zona urbana o rural; por cada tratamiento se probaron tres profundidades de anclaje diferentes: a 10, 20 y 30 centímetros. Las astillas fueron obtenidas a través de un corte longitudinal hecho con machete circular de 6 láminas, y cada vara al ser seccionada de esta forma proporcionó 6 astillas de bambú.

El área de las secciones transversales de las astillas de bambú utilizadas no fue diferente significativamente entre sí, estando comprendidas entre 1.66 y 2.19 cm<sup>2</sup>, con un promedio de 1.90 cm<sup>2</sup>. Los cuerpos de prueba usados en el experimento fueron moldeados en concreto de mezcla 1:3:3 (cemento: arena: grava), con una relación agua/cemento igual a 0.70.

Los moldes utilizados para fundir los cuerpos de prueba fueron confeccionados a partir de placas de madera aglomerada con un espesor de 6 milímetros. Los cuerpos de prueba moldeados en esos moldes, obtuvieron forma prismática con las siguientes dimensiones:

- 15cm x 15cm x 20cm      con astillas incrustadas a 10 cm.
- 15cm x 15cm x 30cm      con astillas incrustadas a 20 cm.
- 15cm x 15cm x 40cm      con astillas incrustadas a 30 cm.

El desmolde se dio después de 48 horas, a partir de la fundición, cuando estos cuerpos de prueba fraguaron por humedecimiento durante 28 días. En el fraguado, los cuerpos de prueba envueltos en sacos de yute para mantener la humedad quedaron al aire libre, protegidos del sol, en un ambiente fresco, y fueron mojados tres veces al día, al amanecer, al medio día y al atardecer.

Al alcanzar el final del período de fragua, los cuerpos de prueba fueron sometidos a la prueba de extracción con la ayuda de una máquina hidráulica de tracción cuyos encajes fueron adaptados de manera que fijaran el prisma de concreto y traccionaran la astilla de bambú, con la intención de arrancarla del prisma; la fuerza de tracción aplicada sobre las astillas de bambú enclava-

das en los prismas fijos de concreto se denominó fuerza de extracción.

En el Cuadro 7 se presentan los valores de la fuerza aplicada sobre las astillas para arrancarlas de los cuerpos de prueba de concreto, que varían de acuerdo con el tratamiento y con la profundidad de anclaje probada (a un nivel de significancia de 5%). Los valores de la fuerza de extracción se encontraron entre los intervalos de 2.11 kN (215 kgf) y 18.13 kN (1848 kgf), con un promedio de 8.22 kN (837.61 kgf).

Se observa que extraer una astilla de bambú tratada con alquitrán y arena (AA), enclavada en un cuerpo de prueba de concreto, exigió mayor fuerza que arrancar astillas sin cualquier tratamiento físico o tratadas con el simple raspado de la cáscara (AP); de igual forma se observa que para arrancar astillas de los cuerpos de prueba con 10 cm de extracción se requiere la mayor fuerza que para las profundidades de 20 y 30 cm.

**Cuadro 7**

PROMEDIOS DE LAS FUERZAS DE ARRANCAMIENTO APLICADAS (KN)

Tratamientos	Profundidad de anclaje			Promedios
	10 cm	20 cm	30 cm	
TT	2.11	6.47	8.07	5.55
AA	6.62	<b>11.50</b>	<b>18.13</b>	<b>12.08</b>
GC	5.90	8.43	12.85	9.06
AP	<b>8.46</b>	6.16	10.40	8.34
RC	2.77	7.37	7.79	6.04
Promedios	5.17	7.98	11.48	8.22

Especie utilizada: *Bambusa tuldooides*

Algunas observaciones para la ejecución de los tratamientos son:

- La inmersión de la astilla en alquitrán caliente debe ser hecha con cuidado, para que la película de alquitrán adherida al bambú no sea muy espesa, lo que podría perjudicar su adherencia al concreto cuando sea sometido a una fuerza de extracción (lubricación del bambú).
- Tanto el encaje de grapas de cerca como el envolvimiento con alambre de púas son operaciones considerablemente más trabajosas que la inmersión en alquitrán salpicado con arena media, desestimulando el uso a gran escala. Las astillas deben ser lo suficientemente gruesas para que no se rajen durante la ejecución de los tratamientos; cuando son sometidas a una fuerza de extracción muchas veces se parten antes de ser arrancadas, por tener su área transversal considerablemente disminuida por el adelgazamiento

provocado por el roce con las grapas de cerca o el alambre de púa durante el proceso de extracción.

- El raspado de la cáscara fue hecho con la lima y se mostró poco interesante en la medida que no proporciona un aumento considerable de adherencia, cuando se comparó con el tratamiento TT, además de disminuir el área externa de las astillas, justamente donde hay mayor concentración de fibras.

### ***3.2 Limitación en el área de refuerzo***

En muchos casos, el bambú puede alcanzar una resistencia a la tensión aun mayor que la del acero y por ello se cree que es posible reemplazar una determinada área de refuerzo en acero por otra igual de bambú, lo que no es cierto (Hidalgo, 1978). 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 de acero.

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 a 4% del área de la sección transversal de la viga de concreto. Con base en lo anterior, si se quisiera sustituir por bambú el refuerzo inferior de un dintel de concreto de doce centímetros de ancho por veinte centímetros de altura, consistente en dos varillas de acero de 3/8 de pulgada de diámetro ( $1,42 \text{ cm}^2$ ), se requeriría un área de bambú equivalente a  $17,04 \text{ cm}^2$  (según Datta) y un área de sección transversal del dintel (según Glenn) de  $12 \text{ cm} \times 20 \text{ cm} \times 0,04$ , es decir  $9,60 \text{ cm}^2$ , lo que quiere decir que habría un exceso en el área de refuerzo de  $7,44 \text{ cm}^2$ .

Lo anterior concluiría que en vigas de importancia estructural, el uso de bambú como refuerzo del concreto, ya sea en tablillas o cañas, podría resultar inoperante y antieconómico, siendo necesario desarrollar nuevas técnicas de construcción con bambú (Hidalgo, 1978), o desarrollar nuevas teorías de diseño, basadas inicialmente en el diseño elástico (González, 2000).

Estas nuevas técnicas corresponderían al empleo de cables hechos con bambú como refuerzo del concreto, en reemplazo de varillas de acero, y de las mismas tablillas o cañas de bambú; superando con éstas la mayoría de las dificultades o problemas descritos de limitación en la adherencia entre los dos materiales (bambú y concreto) y el área, proporcionando seguridad en la construcción de pequeñas estructuras para uso rural en concreto y de elementos prefabricados.

## 4. Uso de cables de bambú como refuerzo del concreto

### 4.1 *Reseña histórica del uso de cables de bambú*

Desde tiempos inmemoriales el hombre asiático ha utilizado cintas de bambú, no sólo en la elaboración de diversos tejidos y artesanías sino también como cordeles para amarrar. La experiencia le enseñó que las cintas extraídas de la zona externa del bambú eran mucho más resistentes que las obtenidas de la zona interna y fue así como juntando varias cintas obtuvo cuerdas de mayor resistencia que utilizadas en sus arcos dieron mayor alcance a sus flechas y amarres más fuertes en sus estructuras de bambú (Hidalgo, 1978).

Siguiendo este mismo principio, los chinos desarrollaron dos métodos para elaborar cuerdas de bambú de mayor diámetro, uno para torsión de las cintas similar al que hoy se emplea en la fabricación de cuerdas de cáñamo o manías, y otro por trenzado de cintas de tres milímetros de espesor alrededor del núcleo o alma formado por una tira, al cual se le suprimía previamente la zona externa para evitar que trozara las cintas. Una vez que la cuerda trenzada se sometía a tensión, el tejido externo se ajustaba al núcleo; estas cuerdas generalmente tenían un diámetro de cinco centímetros y eran utilizadas, entre otros propósitos, para arrastrar sus barcos o juncos contra la corriente de los ríos navegables de China (Hidalgo, 1978).

Sin duda alguna la aplicación más destacada que se dio a las cuerdas de bambú fue en la construcción de gigantescos puentes colgantes con luces superiores a los cien metros, que los chinos construyeron en su afán de superar los grandes ríos y profundas depresiones que impedían su comunicación y comercio con la India y otros países del Asia; para la construcción de estos puentes, utilizaron grandes cables de bambú obtenidos por torsión de varias

cuerdas trenzadas, por lo cual sus diámetros variaban entre 20 y 30 centímetros (Hidalgo, 1978).

Según Meyer (1973), quien realizó ensayos de tracción de las cuerdas trenzadas, una vez que la cuerda se somete a tensión el núcleo se rompe primero, mientras que el tejido, que constituye la mitad del área de la cuerda, muestra una gran resistencia, rompiéndose con una carga de 182.8 MPa (26000 psi), y manifiesta que un cable de cinco centímetros de diámetro puede sostener una carga de cuatro toneladas (Hidalgo, 1978).

## ***4.2 Concreto reforzado con cables de guadua***

Con el fin de establecer una comparación entre el empleo de tablillas y cables hechos con cintas de guadua como refuerzo en el concreto, Hidalgo ensayó un total de 26 vigas de 2.20 metros de largo por 12 centímetros de ancho y 20 centímetros de altura; las vigas se fundieron en grupos de tres, en cada uno de los cuales se utilizaron como refuerzo tablillas y cables de la misma guadua, distribuyendo el refuerzo en tablillas colocadas horizontalmente en la viga 1, tablillas colocadas verticalmente en la viga dos, y cables en la viga 3. El refuerzo superior correspondió a 2 tablillas de 12 milímetros de ancho por 5 centímetros de espesor promedio, sin tener en cuenta la edad.

Todas las vigas se ensayaron a los 28 días de fundidas; con este propósito se colocaron sobre soportes con una luz o separación de 2 metros entre centros y luego sometidas a una carga concentrada en el centro de la viga. Los resultados obtenidos se muestran en el Cuadro 8 (Hidalgo, 1978).

La máxima adherencia en el concreto, obtenida con los cables de guadua fue de 1.82 MPa y la mínima de 0.64 MPa; en las tablillas la adherencia fue de 0.51 MPa.

## ***4.3 Ventajas de los cables de bambú***

Teórica y experimentalmente se ha comprobado que el empleo de cables elaborados con cintas de guadua o de cualquier otro bambú, como refuerzo en el concreto, supera muchas de las dificultades que hasta ahora han hecho inoperantes el uso de tablillas y de cañas de bambú como refuerzo en el concreto, comprobándose que tienen mayor resistencia a la tracción, mayor adherencia con el concreto por tener menores cambios dimensionales y mayor capacidad de refuerzo (Hidalgo, 1978).

Las principales conclusiones al uso de los cables de bambú como refuerzo en el concreto son:

- Un cable hecho con cintas de guadua tiene mayor resistencia a la tracción que una tablilla de igual área transversal, por esta razón la capacidad de la carga de las vigas reforzadas con cables de guadua es mayor que la reforzada con tablillas, como se ha comprobado en estos experimentos.

- La adherencia de los cables de guadua con el concreto es mayor que la de las tablillas y cañas de bambú debido a las entrantes y salientes que forman las cintas. Esta adherencia puede incrementarse utilizando cintas más anchas, o aumentando el número de cintas, o adicionando piedras redondas alargadas con el fin de formar protuberancias.
- El cambio del diámetro del bambú en las cintas como consecuencia de la humedad es del orden del 3.5%, deduciéndose que no es necesario aplicar en los cables de bambú ningún tipo de tratamiento impermeabilizante de los recomendados para las tablillas o cañas que se utilicen como refuerzo. Sin embargo, es necesaria la inmunización. Según Masani (1974) el uso de inmunizantes en el bambú prolonga la vida del bambú dentro del concreto hasta 60 años, en comparación con la duración de 20 años obtenida por no implementarse.

**Cuadro 8**

PROMEDIOS DE LAS FUERZAS DE ARRANCAMIENTO APLICADAS (KN).

Grupo y edad	Separación estribos	Viga número	Area de		Refuerzo Cable	Carga máxima (N)
			Tablilla H.	Tablillas V.		
A2 10 meses	36	1	8.1	7.2	3.6	77.1
		2				96.1
		3				<b>117.9</b>
B3 1 año	18	1	4.3	4.3	4.5	81.6
		2				96.1
		3				<b>117.9</b>
C4 1½ años	18	1	3.6	3.6	4.5	90.7
		2				92.9
		3				<b>117.9</b>
D5 2 años	18	1	10.6	10.1	9.0	N.D.
		2				158.7
		3				<b>172.3</b>
E6 2½ años	10	1	11.5	11.2	11.2	208.6
		2				217.7
		3				<b>222.2</b>
F7 3 años	10	1	10.2	10.3	10.5	181.4
		2				176.9
		3				<b>204.1</b>
G8 3½ años	10	1	3.9	3.9	3.6	122.4
		2				136.0
		3				<b>185.9</b>
H9 4 años	10	1	3.7	4.2	4.8	176.8
		2				160.3
		3				<b>172.3</b>
I9 4 años	10	3			3 cables 3 cables	<b>113.4</b>
		3				<b>104.3</b>

## Bibliografía

**Arbeláez A., A.;** "Manuales sobre bambú: La guadua, el bambú de América Tropical". Módulo 1. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, 1977, 38 p.

**Argollo F., A.M. de; Freire, W.J., Barros S., A.L. de;** "Resistencia a la extracción de astillas de bambú enclavadas en concreto". En: I Congreso Mundial de Bambú/Guadua, Pereira, Agosto 8-15, 1992 (Memorias). Talleres del Sena, Santafé de Bogotá D.C., 1993, pp 157-160.

**CVC.;** "La guadua: alternativa económica para el desarrollo sostenible". Proyecto difusión y fomento del cultivo de la guadua para propósitos múltiples PAFC – BID – VALLE. Ministerio del Medio Ambiente, Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. Santiago de Cali, 1995, 11 p.

**González S., L.O.;** "Estado de arte y aportes del proyecto semilla 99CG5108: bases para el diseño de elementos estructurales en concreto, reforzados con bambú, usando especies del Valle del Cauca". I Encuentro Académico – Cultural Intersedes Palmira y Manizales (Memorias). Julio 25-26, 2000, Manizales, 14 p.

**Hidalgo L., O.;** "Bambú, su cultivo y aplicaciones en fabricación de papel, construcción, arquitectura, ingeniería, artesanía". Estudios Técnicos Colombianos Ltda. Bogotá D.E., 1974, 318 p.

\_\_\_\_\_ ; "Nuevas técnicas de construcción con bambú". Universidad Nacional de Colombia – Estudios Técnicos Colombianos Ltda. Bogotá D.E., 1978, 137 p.

**Mendoza, H.; Villalobos, C.;** "Capacidad estructural de paneles de madera con bambú y caña brava y mortero de cemento". Tesis (Ingeniería Civil). Universidad Nacional de Costa Rica, San José, 1990.

**Salgado, A.L.B.;** "Uso estructural do bambú". Palestra – aula. Brasília, Universidad Nacional de Brasília D.F., 1985, 27 p.

\_\_\_\_\_ ; **Ciaramello, D.; Azzini, A.;** "Bambú como reforco estructural en moioes de carne". O Agronomico (Campinas), 38 (2), 1986.

**Luis Octavio González Salcedo** es Ingeniero Civil egresado de la Universidad del Valle en 1990, actualmente adelanta una maestría en Ingeniería Civil con énfasis en Construcción y Estructuras en Newport University, realizó además estudios sobre Energía Solar (Censolar, Sevilla - España) y en Gerencia de Mercados (Universidad Libre, Cali). El ingeniero González Salcedo ha sido profesor en la Facultad de Administración del Instituto Técnico ITEAN, en las Facultades de Construcción y Administración del Instituto Tecnológico Hispanoamericano, en la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Santo Tomás, y actualmente es Profesor Asistente en la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, donde ha coordinado e impartido docencia en los cursos de Estática, Resistencia de Materiales, Estructuras y Materiales, Construcciones Agrícolas, y de materias electivas y de profundización en el área de la construcción y de la ingeniería estructural. Fue auxiliar de investigación en la Universidad del Valle, Interventor en Estudios Técnicos S.A., Jefe de Sección en IMVIBUGA, Gerente de División en Maquinarias Industriales - Ingersoll Rand de Colombia, Gerente y Socio de Servicoin Ltda., y se encuentra vinculado desde 1999 con la Universidad Nacional de Colombia.

ISBN 958-8095-13-1



9 789588 095134