

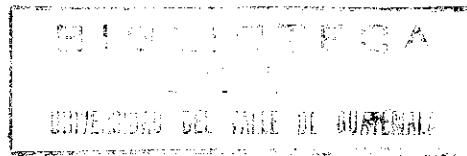
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades

Departamento de Ingeniería Civil

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA MUROS PREFABRICADOS A  
BASE DE MORTERO DE ARENA VOLCANICA REFORZADO CON  
BAMBU**

**ERICK FERNANDO MORALES MORALES**



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

GUATEMALA

1999

## AGRADECIMIENTOS:

A Dios

A mis padres:

Raúl Antonio Morales Bathen  
Aura Silvia Morales Maldonado de Morales

A mis hermanos:

Jacobo Raúl Morales Morales  
Manolo Morales Morales (+)

A mi abuelitos:

Eloísa Maldonado vda. de Morales  
Máximo Jacobo Morales Girón (+)  
Consuelo Bathen de Morales (+)  
Raúl Morales Castillo (+)

A mis tíos, en especial:

Erick Alejandro Morales Bathen  
Víctor Manuel Morales Maldonado

A mis primos

A mis amigos, en especial:

Familia del Busto de León  
6ª. Promoción del Colegio Von Humboldt

A mis maestros, en especial:

Ing. Franklin Matzdorf  
Ing. Héctor Valdez  
Ing. Rafael Girón

Y con muy especial cariño a mi mejor amiga:

María del Pilar del Busto de León

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades

Departamento de Ingeniería Civil

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA MUROS PREFABRICADOS A  
BASE DE MORTERO DE ARENA VOLCANICA REFORZADO CON  
BAMBU**

**ERICK FERNANDO MORALES MORALES**

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

GUATEMALA

1999

# CONTENIDO

## Estudio de factibilidad para muros prefabricados a base de mortero de arena volcánica reforzado con bambú.

	PAG.
I. INTRODUCCION .....	1
II. JUSTIFICACION.....	2
III. OBJETIVOS .....	4
IV. ANTECEDENTES .....	5
V. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA .....	6
A. DISEÑO DEL MURO .....	6
B. DISEÑO DEL PANEL .....	7
1. Armado de refuerzo.....	7
2. Recubrimiento.....	8
VI. MATERIALES .....	9
A. REFUERZO.....	9
1. BAMBU .....	9
i. Características generales.....	9
ii. Ecología y Geografía del Bambú.....	10
iii. Cultivo, corte, curado, secado y pre- servación .....	11
iv. Usos .....	13
v. Especie Guadua Angustifolia .....	15
vi. Especie Bambusa Vulgaris .....	16
2. ACERO .....	17
i. Barras de acero .....	19
ii. Mallas electro- soldadas de alambón .....	20
B. MORTERO .....	20

1. Descripción .....	20
2. Material Aglutinante .....	21
3. Agregados: .....	22
i. Arena volcánica.....	22
ii. Fibra de bambú.....	23
4. Dosificación.....	23
5. Propiedades físicas .....	24
<b>VII. DESARROLLO EXPERIMENTAL .....</b>	<b>25</b>
<b>A. FABRICACION DE</b>	
<b>LA ESTRUCTURA.....</b>	<b>25</b>
1. Número de elementos .....	25
2. Método Constructivo.....	25
i. Construcción	
de paneles.....	25
ii. Construcción	
de muro:.....	26
<b>B. ENSAYOS .....</b>	<b>27</b>
1. ENSAYOS MORTERO .....	27
i. Ensayo de	
Compresión del Mortero..	27
2. ENSAYO DEL PANEL .....	28
i. Ensayo a Flexión.....	28
<b>VIII. EVALUACION DE RESULTADOS.....</b>	<b>30</b>
<b>A. CALCULOS .....</b>	<b>31</b>
<b>B. ANALISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>32</b>
<b>IX. PRESUPUESTO .....</b>	<b>35</b>
<b>X. CONCLUSIONES Y</b>	
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>36</b>
<b>A. CONCLUSIONES .....</b>	<b>36</b>
<b>B. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>37</b>
<b>XI. BIBLIOGRAFIA Y ANEXOS .....</b>	<b>38</b>
<b>A. BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>38</b>
<b>B. ANEXOS .....</b>	<b>39</b>



## I. INTRODUCCION

Debido a la creciente demanda de vivienda y de nuevos sistemas para construcción, más baratos y de calidad, se presenta una opción que puede ser útil para reducir costos y utilizar los recursos.

Para realizar esto se propone un sistema de muros prefabricados o cercos prefabricados, tipo CIFA, es decir de planchas de concreto colocadas una sobre otra y entre postes en forma de H, en donde las planchas que se utilizarán, son reforzadas con bambú y recubiertas con un mortero hecho con arena volcánica, traída del área del volcán de Acatenango y de Fuego.

En lo que se refiere al refuerzo se colocaron dos opciones, es decir dos especies, especie *Bambusa Vulgaris* y especie *Guadua Angustifolia*. La primera es la más común en el territorio guatemalteco y la segunda es considerada la mejor para la construcción, por su resistencia y dureza. Estas a su vez fueron comparadas con refuerzo de acero, para tener un parámetro y así tener una idea más clara de su eficiencia.

Para realizar este estudio, se llevaron a cabo dos tipos de ensayo, el de compresión del mortero y el de flexión de la plancha.

Al final se advertirá la verdadera importancia que el bambú y la arena volcánica deben tener en la construcción, y demostrar que en el futuro, se deberán aprovechar mayores recursos naturales como éstos, en búsqueda de un mejoramiento de la calidad de vida de nuestra población.

## II. JUSTIFICACION

La decisión de llevar a cabo este trabajo, se debe a que durante años de estar en contacto con el fenómeno de la vivienda y la búsqueda de nuevas técnicas de construcción. Se ha visto como durante los últimos diez años, la necesidad de vivienda está creciendo a un ritmo acelerado debido al aumento de población. Se habla de más o menos un déficit de 1.2 millones de viviendas, el cual debe ser cubierto a un ritmo parecido para poder llegar a solucionar este problema que nos aqueja constantemente.

En los últimos 2 años, el crecimiento de la construcción ha sido de hasta 195.8 % lo cual es esperanzador, pero a la vez en el último trimestre de 1998 el incremento del costo ha sido de 4.2 % (1), eso sin contar la devaluación que se ha producido en el primer semestre de 1999. Debido a esto se ha llegado al punto de buscar soluciones baratas y eficientes que puedan satisfacer las necesidades de la población, así como que puedan estar al alcance de la misma.

Por otra parte, otro tema que ha llegado a ser de gran importancia es el recurso natural, tan desaprovechado en Guatemala, y tan mal manejado.

Al pensar en el bambú y la arena volcánica, se está tratando de dar una idea, aunque ya ha sido estudiada y tomada en cuenta con anterioridad, para dar un ejemplo de la utilización de estos recursos en un problema que todavía no se ha podido controlar.

Por esto se tomaron dos especies de bambú, ya que la Vulgaris es la especie más común en Guatemala. Puede ser usada para ciertos elementos sin necesidad de mano de obra tan especializada para ponerla en uso. La segunda es una especie, ya estudiada con

anterioridad que nos da un parámetro de comparación y a la vez una demostración de las bondades de este material.

Ahora bien, ¿por qué escoger el bambú? Pues simplemente porque es una de las plantas más bondadosas que existen en la tierra, su facilidad de cultivo, su poco mantenimiento, su fácil corte y manejo, por ser renovable y de rápido crecimiento, y sumado a que logran buenas resistencias, lo hacen un material ideal para la construcción.

Por otra parte, ¿por qué escoger la arena volcánica? Pues porque es un recurso o suelo que toda la población y las autoridades ven como simplemente un estorbo, estorbo para el cultivo, para la construcción, etc. Por tanto, se tratará de mostrar que también puede ser utilizado y que lo que ahora es un estorbo puede ser considerado una ayuda importante en el futuro.

Espero que éste sea un trabajo que aporte algo para la solución de la vivienda, y que los constructores lleguen a ver las ventajas de este sistema y de estos recursos tan desaprovechados.

### III. OBJETIVOS

1. *Demostrar la utilidad del bambú (Guadua y Vulgaris), en la construcción.* Para esto se utilizarán los ensayos de flexión y su comparación y análisis posteriormente.
2. *Demostrar la gran funcionalidad y resistencia del mortero de arena volcánica en la construcción.* Nuevamente se harán ensayos de flexión y de compresión, los cuales demostrarán el comportamiento de éste.
3. *Observar la funcionalidad de la fibra de bambú como complemento resistente al agrietamiento.* Para esto se harán los ensayos de flexión y se compararán con los ensayos de planchas sin este agregado.
4. *Demostrar lo práctico de este sistema de muros y verificar si es conveniente, estructural y económicamente.* Para realizar esto se tomarán las pruebas anteriores y se comparará con los cercos que se venden en el mercado.
5. *Enseñar un sistema donde se utilicen recursos naturales y demostrar su validez y eficiencia.*

#### IV. ANTECEDENTES

Utilizar el bambú como refuerzo del concreto, ha sido una idea que se ha manejado desde hace mucho tiempo. En 1914 H.K.Chou del *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), Estados Unidos, realizó los primeros experimentos. Desde ese día hasta hoy se han realizado muchas investigaciones sobre el bambú en Colombia, Costa Rica, China, Ecuador, Filipinas, Holanda, Japón, México y otros países con resultados en algunos casos alentadores y en otros con muchas dudas.

Se sigue investigando esta utilización, para definir las propiedades físico mecánicas de ciertas variedades de bambú, y así ver cual es la que se adapta mejor a la construcción y cuál es la que se comporta de mejor manera como refuerzo del concreto.

En Guatemala, desde 1978 ha renacido la inquietud de estudiar el bambú como refuerzo, y por ello se han dado proyectos como el que CIFA realizó conjuntamente con IDESAC, que fue la Iglesia del Espíritu Santo, en el municipio de El Jícaro (El Progreso) en el cual se utilizó el bambú como elemento principal.

Actualmente, INTECAP, junto con la Cámara Guatemalteca de la Construcción, ha llevado a cabo un programa de introducción del bambú como alternativa de viviendas de interés social, para que los empresarios lo conozcan y lo utilicen.

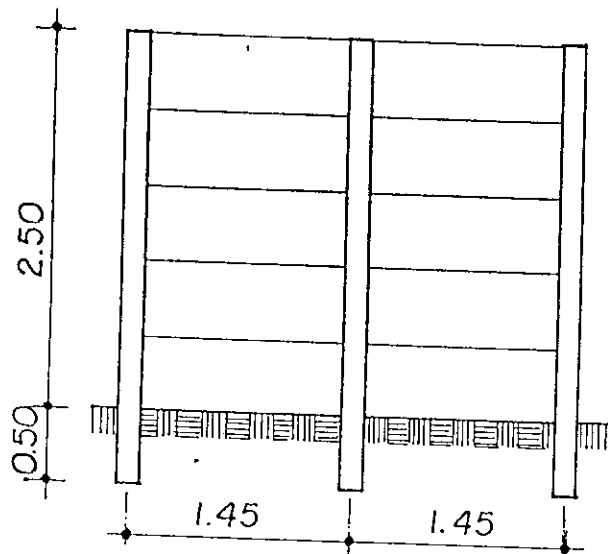
## V. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

### A. DISEÑO DEL MURO

El diseño que se pensó para esta prueba es un muro o cerco tipo CIFA, que consiste en postes de concreto, de forma H, entre los cuales se colocan planchas planas o paneles.

Estas planchas son colocadas una sobre otra para dar la altura deseada, la cual depende también de la altura del poste. En nuestro caso se utilizarán postes de 3.00 mts de alto, y se colocarán 5 planchas de alto.

Los postes H ya mencionados, deben tener una pata o una parte de éste enterrado en el suelo por lo menos unos 50 cms. para lograr buena estabilidad, adicionalmente, y para mejorar la estabilidad, se llenará con concreto alrededor de la parte enterrada, ver la figura siguiente:



## **B. DISEÑO DEL PANEL:**

Como se mencionó anteriormente, el panel o plancha se construirá con las medidas siguientes:

(50 cms \* 140 cms \* 5 cms)

Estas medidas se escogieron por dos razones: la primera es para mantener el estándar que más o menos se utiliza en este tipo de cercas prefabricadas, y tener un punto de referencia.

Segundo para obtener un elemento lo suficientemente maniobrable, es decir no muy pesado y tampoco muy pequeño, ya que si no es así, se necesitarían demasiados elementos para construir el muro.

### **1. Armado de refuerzo:**

El refuerzo de bambú consiste en una malla hecha con tiras de este material, las que se cortarán *con un ancho de 1 pulgada y un grosor de un centímetro, con la longitud que se necesite.*

El refuerzo longitudinal de bambú con un espaciamiento de 9.0 cms. con longitud de 135 cms centrado a lo largo de la plancha, obtiene un recubrimiento de 2.5 cms. de cada lado.

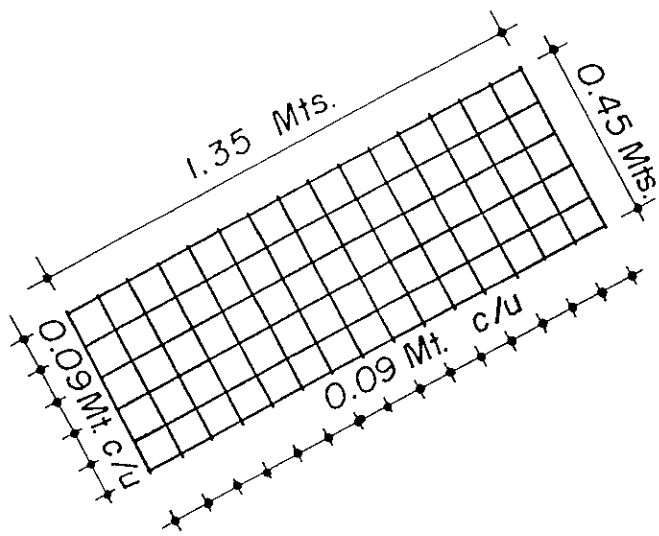
Por otra parte, el refuerzo transversal, el cual va perpendicular al longitudinal, también se colocará a un espaciamiento de 9.0 cms. y éste tendrá una longitud de 45 cms., lo que hará que se tenga un recubrimiento de 2.5 cms. de cada lado, de la misma manera que en el refuerzo longitudinal.

## 2. Recubrimiento:

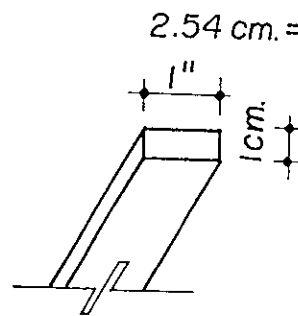
El recubrimiento inferior se tomará de 2.0 cms de la cara inferior del panel hasta el refuerzo transversal, tratando de que la malla de refuerzo quede lo más centrada posible entre el grosor de la plancha.

El recubrimiento lateral será de 2.5 cms., en ambas direcciones.

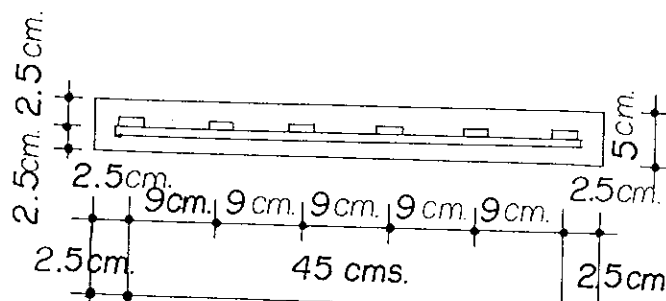
Ver figura siguiente:



DETALLE DEL REFUERZO.



DETALLE DE LA VARILLA.



SECCIÓN DE LA PLANCHA.

## VI. MATERIALES

### A. REFUERZO:

#### 1. BAMBÚ:

##### i. CARACTERÍSTICAS GENERALES:

Planta clasificada como un *bambusoide* perteneciente a la familia de las *gramináceas*. Es una planta de muy alto crecimiento. De hecho es la más rápida que hay en el mundo, capaz de llegar a su madurez en sólo un año. El bambú está formado por una parte aérea y una subterránea. La aérea la constituyen las ramas, hojas, flores y el tallo o caña. Mientras que la parte subterránea la constituye el **rizoma**, el cual está compuesto por pequeñas raíces.

Los bambusoides se dividen en tres grupos:

- 1) **Grupo Paquimorfo:** La mayoría de las especies que componen este grupo, son especies tropicales de clima cálido que no se desarrollan bien bajo temperaturas frías. Son especies de rizomas cortos y gruesos, entrenudos asimétricos más anchos que largos, sólidos y con raíces en la parte inferior, los rizomas llevan yemas laterales de forma casi esférica las cuales dan origen a nuevos rizomas y luego a un nuevo tallo.

Dentro de este grupo están las especies: *Guadua Angustifolia*, *Bambusa Vulgaris*, *Dendrocalamus*, *elytostachys*, *oxytenantera*, *melocanna bacifera*, etc.

- 2) **Grupo Leptomorfo:** En este grupo las especies se desarrollan en lugares donde existen inviernos poco fríos. Es de rizomas cilíndricos y de menor diámetro que los tallos que originan, los entrenudos son simétricos, más largos que anchos, típicamente huecos con tabiques y raramente sólidos. La posición de las ramas

en las plantas de este grupo es alta. Entre las especies que existen en este grupo están: *Arudinaria tacto*, *phyllostachys bambusoides*, *shibataca kowasasa*, *indocalamus sinicus*, *sasa veitchii*, etc.

- 3) **Grupo Anfipodial:** Se caracteriza porque en la misma planta se puede presentar una ramificación del rizoma, ya sea del grupo paquimorfo o leptomorfo. Es un bambú de crecimiento rápido. Entre las especies que existen en este grupo están: *Chusquea fendler*, *Sasa paniculata*.

#### ii. ECOLOGÍA Y GEOGRAFÍA DEL BAMBÚ:

El bambú se desarrolla en zonas con precipitación anual de 6,350 mm. como máximo y 762 mm. como mínimo. Se reporta en un rango de 1,300 a 5,000 mts. sobre el nivel del mar, como la mejor zona para ser desarrollado.

La mayoría de las especies se desarrollan bien en temperaturas que varían de 9°C a 36°C aunque ya se han reportado bambúes en climas con nieves perpetuas.

En todos los continentes con excepción de Europa y la región Euroasiática existe el bambú, calculándose unos 47 géneros con unas 1,250 especies. Sólo en América (desde Estados Unidos hasta Chile y Argentina) se cuenta con aproximadamente 290 especies, correspondiente a 17 géneros distribuidos en forma irregular.

En Asia, Africa y Oceanía se ha determinado el mayor número de especies, solamente en Japón se encontraron 13 géneros con 662 especies.

En Guatemala, se encuentran lugares como el Valle del Polochic, donde fue plantada por primera vez (cerca del año de 1947), la Costa Sur, el Atlántico y se pueden encontrar unas 45 especies, siendo la más común *la Bambusa Vulgaris*.

### iii. CULTIVO, CORTE, CURADO, SECADO Y PRESERVACIÓN:

#### a) Cultivo:

Su cultivo puede hacerse de dos maneras:

**1) Por rizomas:** Es la forma más segura y efectiva; los tallos deben tener de uno a dos años de edad, y yemas aún no desarrolladas, por lo general el primer brote aparece a los treinta días de sembrado.

**2) Por sección de tallos:** No es tan seguro como el anterior, este da resultados positivos cuando el tallo tiene más de dos años de edad.

#### b) Corte:

Para el aprovechamiento del bambú se debe **cortar** con cuidado, por lo tanto se deben cortar los tallos que hayan completado por lo menos tres años de edad.

Para determinar la edad y el tiempo para su **corte**, existen varias técnicas como:

**1)** Cortarlo cuando aparecen en el tallo manchas blancas y que se ven más definidas en los tallos más adultos.

**2)** Poner collares de identificación a los tallos en el momento de nacer, se debe además tener la precaución de que el momento de cortarse, si se ve que en el rizoma ha brotado un nuevo tallo, no deberá cortarse sino hasta el otro año.

#### c) Curado:

Es el proceso mediante el cual se persigue preservar y mejorar su resistencia contra el ataque de los insectos y la humedad. Para esto existen varios métodos de los cuales se enumeran algunos aquí:

**1) Curado en la mata:** Se realiza luego que se cortan los tallos, sin cortarles las hojas y las ramas, al recostar éstos sobre otros bambúes, lo más vertical posible, y

tratando de no apoyar la parte inferior directamente en el suelo. De esta manera debe permanecer como mínimo unas 4 semanas o más si se requiere. Este método es muy recomendado, ya que así no pierde su color.

**2) Curado por Inmersión en Agua:** Este método se realiza sumergiendo los tallos recién cortados en agua durante 4 semanas y, luego, se ponen a secar. No es aconsejable por la pérdida de resistencia y porque este se mancha.

**3) Curado por calentamiento:** Este consiste en exponer el tallo recién cortado al fuego, tratando de no quemarlo. Esto hace que desaparezcan los insectos que existan en la superficie, al mismo tiempo que lo endurece, lo que lo hace invulnerable al ataque de cualquier insecto. También es utilizado para enderezar cualquier tallo torcido.

**4) Curado con borax:** Este consiste en sumergir el material en una solución de borax y agua. La mezcla se hace agregando una libra de borax en 54 galones que tiene un tonel. Como las tiras o listones de bambú son largos, se puede utilizar un depósito que se obtiene al partir a lo largo dos toneles y soldar estas cuatro partes, quitando el sobrante intermedio. Debe permanecer una hora dentro de la solución. Al transcurrir este período se sacan los listones de bambú y se envuelven con plástico (polietileno), para que la penetración del preservante sea más efectiva. Seguidamente se efectúa un segundo secado.

**d) Secado:**

Para evitar el agrietamiento de los tallos y aumentar su resistencia, se debe secar en un lugar especial para ser almacenado, que debe estar techado y bien ventilado. El secado dura de 6 a 12 semanas y puede hacerse al aire o por medio de hornos.

**1) Secado al aire:** Se realiza colocando los tallos verticalmente, en un lugar con buena circulación de viento y protegidos del Sol y la lluvia.

**2) Secado al horno:** Se realiza colocando los tallos dentro de hornos a alta temperatura, siendo mucho más rápido que el anterior, pero con un costo más elevado.

**e) Preservación:**

Para preservar el bambú del fuego, insectos y hongos, el bambú es protegido por medio de preservantes, que podrían dar una vida útil de hasta 20 años.

Para esto se utilizan los mismos preservantes que se requieren en la madera, como el ácido bórico, pentaclorofenol, etc.

**iv. USOS:**

**a) Fuente de alimento:** En Asia se ha utilizado como alimento para el humano, utilizando los cogollos y la semilla, y como alimento animal las hojas.

**b) Materia prima para fabricar la pulpa del papel:** Gracias al rápido crecimiento, la facilidad de cultivarlo y transportarlo, hace de esta planta una fuente con muchas perspectivas para la fabricación de pulpa de papel para los países en vías de desarrollo.

**c) Material de construcción:** Por sus características físicas, forma, poco peso, etc., ha sido el material de construcción de uso más diversificado que haya existido y ha sido utilizado por la gente de bajos recursos económicos.

En Asia ha sido utilizado durante mucho tiempo, principalmente en la región Indochina, Japón y Corea. Existen puentes, casas, andamios, techos, muros, puertas,

etc.y en forma arquitectónica para decoraciones, todos hechos por este material, con lo que se demuestra que es un material con muy buena resistencia y de costo bajo.

En **Guatemala** ha sido muy poca la utilización en la construcción y su empleo se mantiene solamente como un material base como en tabiques de bajareque y otras realizaciones de tipo doméstico.

Pero en los últimos 20 años, en Guatemala se ha despertado la inquietud por iniciar un estudio sobre el bambú. En 1978, la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la USAC, ha hecho pruebas físico-mecánicas y de adherencia al concreto con algunas especies de bambú que existen en el medio.

Luego, la empresa CIFA conjuntamente con IDESAC, realizaron un proyecto físico, la Iglesia del Espíritu Santo, en el municipio de El Jícaro (Depto. de El Progreso) en el cual se utilizaron nuevas técnicas de construcción cuyo elemento principal fue el bambú.

Actualmente, INTECAP está llevando un proyecto en donde se analizan las probabilidades de utilizar el bambú para la construcción de vivienda popular, con distintas técnicas para la ejecución de ésta.

También por su excelente capacidad a la compresión, se puede usar como pilotes de cimentación de estructuras livianas.

**d) Bambú como refuerzo estructural para concreto:** Actualmente son pocos los usos que se tienen de bambú como refuerzo estructural del concreto, pero por sus características, éste cumple perfectamente con su función de refuerzo mínimo de estructuras livianas.

Existe una teoría (teoría Datta) que menciona una relación entre las varillas de acero y cañas o cables de bambú que se necesitan para sustituir a las primeras.

Esta menciona que el área de bambú necesaria para emplearse en la zona de tensión debe ser por lo menos 12 veces el área del acero.

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. El 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, para aumentar su tiempo de vida se recomienda:

1. Recubrir el bambú con una capa 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.

#### **v. ESPECIE GUADUA ANGUSTIFOLIA:**

**Rango:** Se encuentra mucho en América del Sur, principalmente en Ecuador y Colombia. Aunque se da en todo el mundo.

**Descripción:** Uno de los mejores bambúes para la CONSTRUCCIÓN del mundo. Bastones verdes oscuros fuertemente verticales que cabecean a las puntas crean una posición bonita e impresionante. Anillo blanco espeso en la base de cada nudo. Ésta es la madera de bambú más fuerte, más durable y resistente a la pudrición que se conoce. Tiene espinas. Una vez la planta es madura, y el material juvenil se ha quitado, las espinas serán a una altura sobre la cabeza.

Edificios por encima de los 100 años, construidos con Guadua Angustifolia están deteniéndose en buenas condiciones y están en uso en Colombia, América del Sur.

Esta especie, junto con G., chacoensis, fue escogida en Costa Rica por el Costa Rican Housing, con un proyecto como uno de sus 2 plantas principales. De su plantar inicial de 1750 acres ellos estiman que ellos pueden producir 3000 casas anualmente sin replantar.

#### **vi. ESPECIE BAMBUSA VULGARIS:**

##### **Origen:**

Su origen real es desconocido, se cree que es original del sur de China.

##### **Descripción:**

El bambú más común es el Bambusa Vulgaris. Tiene un rango de altura de 10-20 metros y de 5 a 15 cms. de diámetro en condiciones óptimas, robusto en temperaturas como a 27 grados Fahrenheit. Tal altura puede ser obtenida fácilmente gracias a un crecimiento vertical que puede alcanzar 60 a 90 cm por día. Los tallos de bambú consisten en tubos huecos y segmentados que crecen verticalmente, no en diámetro.

El bambú también es único en su reproducción sexual. A diferencia de otras plantas, los bambúes no florecen con fruta cada año. Algunos no florecen hasta por 120 años.

Los bastones amarillos gigantes con rayas verdes estarán familiarizados a muchos. Los grupos de este gigante se forman con tallos individuales tan anchos como cinco pulgadas en diámetro y sesenta pies de alto y proporcionan una atmósfera oriental. Por los tallos constantemente entra la brisa que crea a menudo un sonido de gemido asustadizo. El crecimiento de un nuevo tallo es rápido. Tanto como un pie o más puede crecer en un período de 1 hora aunque el nuevo tejido es

muy suave. La florescencia es rara y puede provocar la muerte de un grupo entero de hecho.

## **2. ACERO:**

Esencialmente es una solución sólida de carbono y hierro. Es usado en estructuras de concreto como armaduras que se colocan en un encofrado antes del fundido. Las deformaciones en el acero, como en el hormigón endurecido son causadas solamente por cargas que actúan sobre la estructura, excepto por posibles cargas parásitas producidas por retracción o similares.

El acero al carbono es el más común, barato y aplicable de los metales que se emplean en la industria. Tiene una ductilidad excelente, lo que permite que se utilice en muchas operaciones de formado en frío. El acero también se puede soldar con facilidad.

Aparte de las barras de armadura simples, se usan comúnmente otros dos tipos de armaduras para losas y otras superficies como láminas. Uno de estos son las mallas soldadas de alambre que es un arreglo de acero en sentido longitudinal y transversal, que forma intersecciones rectangulares soldadas. El tamaño y separación pueden ser los mismos en ambos sentidos o diferente según las exigencias del proyecto.

Para lograr una efectiva acción del refuerzo, es esencial que el acero y el concreto se deformen en forma conjunta, es decir, es necesario que exista una adherencia suficientemente fuerte entre los dos materiales para evitar que se produzcan movimientos relativos entre las barras de acero y el concreto

circundante. Esta unión se produce por la *adhesión química* relativamente fuerte que se desarrolla en la interfase acero-concreto, por la *rugosidad natural* de la superficie de las barras de refuerzo laminadas en caliente y por *estrias superficiales* poco espaciadas con que se suministran las barras de refuerzo (barras corrugadas) con el fin de proveer un alto grado de adherencia entre los materiales.

Aspectos adicionales que llevan a un comportamiento conjunto satisfactorio entre el concreto y acero son los siguientes:

1. Los coeficientes de expansión térmica de los dos materiales, aproximadamente  $6.5 \times 10^{-6}$  °F para el acero y un promedio de  $5.5 \times 10^{-6}$  °F para el concreto, están suficientemente cerca para impedir agrietamiento y otros efectos no deseables debidos a diferencias en las deformaciones térmicas.
2. En tanto que la resistencia a la corrosión del acero al descubierto es pobre, mientras que cubierto por el concreto se crea una excelente protección que minimiza los problemas de corrosión y los costos de mantenimiento.
3. La resistencia al fuego del acero desprotegido se ve perjudicada por su alta conductividad térmica y por esto su resistencia disminuye de manera considerable a temperaturas altas. Por el contrario el concreto tiene una conductividad térmica relativamente baja, por lo que los daños producidos por la exposición al fuego, están limitadas a la superficie exterior del concreto sin llegar al refuerzo embebido.

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

## Propiedades

Resistencia a la tensión $\text{kg/cm}^2$	4200-5000
Punto de cedencia, mínimo, $\text{kg/cm}^2$	2300
Por ciento de alargamiento mínimo, en 8 cm	21
Por ciento de alargamiento mínimo, en 2 cm	28
Módulo de elasticidad (E)	2160000 $\text{kg/cm}^2$

### i. Barras de acero:

El tipo más común de acero de refuerzo (diferente del acero de preesfuerzo) viene en forma de barras circulares llamadas por lo general *varillas*, disponibles en un amplio intervalo de diámetros aproximadamente de  $\frac{3}{8}$  a  $1 \frac{3}{8}$  de pulgada para aplicaciones ordinarias y en tamaños de barras pesadas aproximadamente de  $1 \frac{3}{4}$  y  $2 \frac{1}{4}$  de pulgada.

Los tamaños se denominan mediante números. Los más utilizados son los Nos. 3 a 11 y los Nos. 14 y 18 que representan las dos barras de tamaño especial mencionadas previamente. Los números se han organizado de manera que la unidad de la denominación corresponde muy cercanamente al número de octavos de pulgada del tamaño del diámetro.

En el concreto reforzado es evidente una tendencia a largo plazo hacia la utilización de materiales de alta resistencia tanto para el acero como para el concreto. Las barras de refuerzo con esfuerzo de fluencia de 40 klbs/pulg<sup>2</sup>, casi estándares hace 20 años, han sido ampliamente sustituidas por barras con esfuerzo de fluencia de 60 klb/pulg<sup>2</sup>, puesto que éstas últimas son más económicas y su uso

permite reducir la congestión de acero en las formaletas. Las barras están denominadas en grados de 40 hasta 80 lo que significa son las klbs/pulg<sup>2</sup> que resiste hasta su esfuerzo de fluencia.

## ii. **Mallas electrosoldadas de alambón:**

Además de las barras sencillas de refuerzo, por lo general, se utilizan las *mallas electrosoldadas de alambón* para reforzar losas y otras superficies como cascarones, y para reforzar a cortante el alma de vigas delgadas en particular con vigas preesforzadas. Estas constituyen un conjunto de alambrones de acero extruidos en frío, colocados longitudinal y transversalmente de sus respectivos ángulos rectos, y soldados entre sí en todos los puntos de intersección. El tamaño y espaciamiento de los alambrones puede ser el mismo en las dos direcciones o ser diferente dependiendo de los requisitos del diseño.

La nomenclatura convencional utilizada para describir el tipo y tamaño de las mallas se encuentra en período de transición y actualmente se utilizan dos sistemas.

## **B. MORTERO:**

### **1. DESCRIPCIÓN:**

Al igual que el refuerzo, se trató de buscar un recurso natural que actualmente se está desperdiciando. Debido a esto, se escogió un material no utilizado y que se encuentra en grandes cantidades que abaratan de esta manera su costo, además que cumple las funciones de ser un aglomerante con grano grueso fino, por lo cual, se escogió la arena volcánica.

Junto a esto se agregará a la dosificación la fibra natural del bambú, que trata de imitar con esto la función de la fibra mineral en el fibrocemento y de la paja en el adobe, y da una mayor resistencia a la tensión en el mismo mortero y que ayuda al refuerzo por temperatura.

En nuestro caso particular se utilizó arena volcánica que se encuentra en el área de San Pedro Yepocapa, departamento de Chimaltenango, en las cercanías de los volcanes Fuego y Acatenango.

## **2. MATERIAL AGLUTINANTE (CEMENTO):**

Un material cementante es aquel que tiene las propiedades de adhesión y cohesión necesarias para unir agregados inertes y conformar una masa sólida de resistencia y durabilidad adecuadas.

Entre esta categoría están no solamente el cemento, sino también los limos, asfaltos y alquitranes, utilizados mayormente en carreteras. En el caso de la fabricación de concreto y morteros se utilizan los *cementos hidráulicos*, es decir que se necesita agua para completar el proceso químico (hidratación), mediante el polvo de cemento se fragua y endurece para convertirse en una masa sólida. De los diferentes cementos hidráulicos desarrollados el más común es el *Cemento Portland*, patentado en 1824.

El Cemento Portland es un material grisáceo finamente pulverizado, conformado fundamentalmente por silicatos de calcio y aluminio. Las materias primas usuales a partir de las cuales se fabrica son limolitas que proporcionan el CaO y arcillas o esquistos que proveen el SiO<sub>2</sub> y el Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Estos materiales se muelen, mezclan y se funden en un horno hasta obtener el llamado *clinker*, que a su

vez se enfría y se muele para lograr la finura requerida. El material es despachado a granel o en bultos que contienen 94 libras (42.5 Kg.) de cemento. Los concretos hechos con este tipo de Cemento, alcanzan su resistencia de diseño después de 28 días y continúan ganando resistencia de ahí en adelante a una tasa decreciente.

Según H. Rüsck, para completar la hidratación de determinada cantidad de cemento se requiere químicamente una cantidad de agua equivalente aproximadamente a 25 % del peso del cemento, es decir una relación agua-cemento de 0.25. Para concretos normales la relación agua-cemento varía por lo general en el intervalo de 0.40 a 0.60, aunque para los concretos de alta resistencia, se hayan utilizado relaciones tan bajas como 0.25. En este caso, la manejabilidad necesaria se obtiene con uso de aditivos.

### **3. AGREGADOS:**

#### **i. ARENA VOLCÁNICA:**

La arena volcánica pertenece a una parte de los materiales sedimentarios que son expulsados por una erupción volcánica, en este caso se utilizó arena volcánica en las cercanías de los volcanes Fuego y Acatenango.

Los materiales expulsados de los volcanes consisten en pequeñas partes de vidrio, cristales o fragmentos de roca, además de polvo, cenizas y arena.

Los grupos de partículas sedimentarias son separados de acuerdo a su diámetro, siendo sus principales las gravas, arenas, limos y arcillas.

Las formas de estas partículas sedimentarias son el resultado de formas iniciales en sus rocas paternas y de la manera en que cambian durante el transporte. El cambio resulta por *abrasión*.

Las arenas volcánicas están compuestas por gran cantidad de cuarzo.

## **ii. FIBRA DE BAMBÚ:**

La fibra de bambú será utilizada de la misma manera que se utiliza la fibra mineral u orgánica en el fibrocemento. Es decir pequeñas fibras unidas y uniformemente dispersas a una pasta de cemento hidráulico. La mezcla hace que se vuelva más cohesiva durante el fraguado, lo que ayuda a reducir la formación de grietas o rajaduras ocasionadas por el proceso de fraguado del cemento, siempre condicionado a que las fibras sean lo suficientemente resistentes y a la vez se adhieran bien a la mezcla.

En Centroamérica se han determinado en proyectos de investigaciones con relación a fibras, las propiedades del henequén, palma africana, manila, kenaf, sisal y fibras artificiales tales como los vidrios, polietileno y acero, como ideales para refuerzo.

## **4. DOSIFICACIÓN:**

Para la dosificación se escogió la proporción **(2:1:0.25)**, es decir dos partes de arena volcánica por una de cemento y por un cuarto de fibra de bambú.

Esto se escogió por ser una manera parecida a la proporción que se utiliza en la dosificación de la sabieta o mortero de arena utilizada en construcción.

En cuanto a la cantidad de agua se utilizó la relación agua-cemento igual a **0.75**.

## **5. PROPIEDADES FISICAS:**

Para esto se tomaron los pesos, los cuales dieron un resultado medio de un peso aparente de:  $D = 2.020 \text{ g/cm}^3$ .

## VII. DESARROLLO EXPERIMENTAL

### A. FABRICACION DE LA ESTRUCTURA:

#### 1. NÚMERO DE ELEMENTOS:

Para el desarrollo de los experimentos, se probaron los paneles, los cuales se hicieron con las siguientes características:

- 4 paneles reforzados con acero a un espaciamiento de 9 cms.
- 4 paneles reforzados con bambú de la especie *Guadua Angustifolia* a un espaciamiento de 9 cms. 2 con fibra y 2 sin fibra.
- 4 paneles reforzados con bambú de la especie *Bambusa Vulgaris* a un espaciamiento de 9 cms. 2 con fibra y 2 sin fibra

#### 2. MÉTODO CONSTRUCTIVO:

##### i. CONSTRUCCIÓN DE PANELES:

Para la construcción de los paneles se deben seguir los siguientes pasos:

- a) **Preparación de la formaleta:** Para la formaleta se debe usar un marco de madera cepillada de medidas de 2" x 2" (5.08 cms x 5.08 cms), con largos de 1.40 mts. en el sentido largo y de 0.56 mts. en el sentido corto (ambas a rostros interiores).

Para los empalmes en las esquinas se usan clavos de 3".

- b) **Armado del elemento:** La armadura se debe realizar en la forma ya

explicada en el capítulo 5 (secc. B.2), se marcan en las tiras o varillas con crayón donde esté el espaciamiento deseado.

**c) Fundición:** Después de hecha la formaleta se debe colocar sobre una superficie lisa y plana, en donde se realizará la fundición. Sobre esta superficie y en la formaleta se echa una capa de aceite quemado con brocha, lo que nos permite que no se produzca adherencia entre el mortero y la superficie, así como con la formaleta.

Se hace el mortero (cap. 5, secc. B.2) y se vierte una primera capa de 2.0 cms. Se nivela, luego se coloca la armadura ya hecha y se vierte la segunda capa hasta dar con la altura necesaria (5 cms.). Se nivela de nuevo, dando así por terminado la fundición.

**d) Fraguado:** Los paneles se riegan periódicamente durante las próximas 24 horas, durante el día. Luego se desencofran y se colocan de canto durante 21 días, que es lo necesario para poder ser analizadas en el laboratorio.

## ii. CONSTRUCCIÓN DE MURO:

Para realizar la construcción del muro se deben seguir los siguientes pasos:

**a) Preparación de terreno y trazo:** En este renglón se traza la línea a seguir por el muro. Una vez trazado se nivela el terreno para poder mantener horizontalidad de este.

- b) **Cimentación:** Esto es simplemente excavar el agujero, de aproximadamente 25 cms x 25 cms, con una profundidad de 50 centímetros.
- c) **Colocación de primer poste:** Utilizando plomos y niveles se coloca el primer poste, lo más vertical posible, dejando los 50 cms. necesarios enterrado. Luego se le hecha una altura de 25 centímetros de concreto en el agujero excavado, y se rodea así la pata del poste para formar un bulbo de concreto, lo que le da estabilidad hacia el volteo.
- d) **Colocación de los paneles:** Seguidamente, se colocan los paneles uno sobre otro, depende de la altura que se desee, que en nuestro caso serán 5 paneles, ensabietando la unión entre los dos paneles.
- e) **Colocación de segundo poste:** De la misma manera que el primero se coloca y se llena su base de concreto, para que casen bien con los paneles ya colocados. Se aconseja que se llene de sabieta la unión entre los postes y los paneles, para evitar algún juego que se produzca por la separación entre ellos.

## **B. ENSAYOS:**

### **1. ENSAYOS DEL MORTERO:**

#### **i. ENSAYO DE COMPRESIÓN DEL MORTERO:**

Se realizaron varias pruebas de compresión del mortero, para poder tener un resultado significativo. Se hicieron 4 elementos los cuales tienen 21 días de haber sido fundidos. Estos elementos son:

- 4 cilindros de 19 cms. de diámetro por 30 cms. de alto.

Para hacer la prueba se coloca el cilindro en la máquina compresora y se aumenta hasta el punto de ruptura dando así, una lectura de esfuerzo máximo a compresión del mortero.

## **2. ENSAYO DEL PANEL:**

### **i. ENSAYO A FLEXIÓN:**

Para realizar este ensayo, se utilizaron planchas con 21 días de haber sido fundidas, y se siguen los pasos siguientes:

- 1) Pesar la plancha para saber su peso propio.
- 2) Colocar la plancha en forma horizontal, sobre dos apoyos simples en los extremos, y colocar un deformímetro bajo esta.
- 3) Pesar una cubeta vacía.
- 4) Llenar la cubeta con arena de río y pesarla nuevamente.
- 5) Colocar alguna formaleta, alrededor de la plancha, de manera que quede en forma de corral.
- 6) Echar la arena en la plancha, poco a poco, y regarla uniformemente sobre la superficie, tomar varias lecturas por medio del deformímetro.

- 7) Luego de 100 lbs. se colocan pisos con el peso obviamente ya medido y también se chequean las deflexiones a diferentes pesos.
- 8) Parar al momento en que llegue la plancha hasta el punto de ruptura.

## VIII. EVALUACION DE RESULTADOS

### A. CALCULOS:

#### a) Gráficas esfuerzo deformación:

Para realizar los cálculos y las gráficas, se siguieron los siguientes pasos:

1. El peso medido en libras se sumó al peso propio de la plancha y se dividió entre 2.2 para pasarlo a Kgs.
2. La deflexión de la plancha medida (que está en unidades de  $1 \times 10^{-3}$  pulgs.) se pasa a cms. multiplicándola por  $2.54 \times 10^{-3}$ .
3. Seguidamente se divide el peso entre el ancho de la plancha, para dar una carga distribuida (Kg./ cms).
4. A esta carga distribuida se le encuentra su momento en el centro de la plancha con la fórmula:  
$$M = (w L^2) / 8$$

Fórmula para vigas simplemente apoyadas, donde  $w$  es la carga distribuida y  $L$  es la longitud.

5. Para encontrar el esfuerzo a flexión producido, se aplica la fórmula:

$$F_b = M y / I$$

donde  $y$  es la distancia al eje neutro e  $I$  es el momento de inercia

(  $I = b \cdot h^3 / 12$ , donde  $b$  es el ancho,  $h$  es la altura de la plancha).

6. El procedimiento anterior se repite para todos los puntos.
7. Ya con estos resultados, el esfuerzo y la deflexión se plotean en gráfica.
8. En la gráfica se identifica la fase elástica del material, y con esto se puede realizar una regresión lineal que marque la tendencia de esta fase.

**b) Módulo de Elasticidad (E) :**

En la gráfica de Esfuerzo-deformación unitaria se encontrará el módulo de Elasticidad, al dividir la diferencia de esfuerzos, entre la diferencia de deformaciones unitarias.

<b>Con fibra</b>			
	<b>Esf1 – Esf2</b>	<b>Def1 – Def2</b>	<b>E</b>
<b>E vulg.</b>	3.64381818	0.00005715	<b>63,758.85</b>
<b>E guadu.</b>	2.72118881	0.0002117	<b>12,856.51</b>
<b>E hierr.</b>	57.46	0.0019957	<b>28,793.52</b>
<b>Sin fibra</b>			
	<b>Esf1 – Esf2</b>	<b>Def1 – Def2</b>	<b>E</b>
<b>Evulg</b>	2.67272727	0.00005715	<b>46,766.88</b>
<b>Eguadua</b>	2.36055755	7.1332E-05	<b>33,092.42</b>
<b>Ehierro</b>	4.00909091	0.00016329	<b>24,552.61</b>

**c) Esfuerzo de compresión del mortero:**

<b>MUESTRA</b>	<b>Densidad(g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>F'c(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>
Muestra 1	1.8772	190.86
Muestra 2	1.817	142.76
Muestra 3	2.08	209.79
Muestra 4	2.3121	275.69
<b>PROMEDIO</b>	<b>2.02</b>	<b>204.78</b>

## **B. ANALISIS DE RESULTADOS:**

Se comenzará por analizar la influencia de la fibra de bambú en las planchas y su comportamiento al serle aplicada la carga.

Con los datos y las gráficas se puede ver que en los casos donde el refuerzo es de bambú, se produce un mayor esfuerzo de fluencia en las planchas que fueron compuestas con fibra. Pero de nuevo este esfuerzo no es tan significativo como para considerar que ayuda en la resistencia, mientras que en el hierro se notó un comportamiento adverso, es decir fluyó mucho antes que el que no tiene fibra. Algo que es notorio, es que se produce una fluencia más abrupta en los casos en que se tiene la fibra como parte de la plancha. Esto se puede entender, ya que fluye no sólo la parte donde está el refuerzo, sino que también fluye en las partes del mortero donde está la fibra, haciéndolo más general.

Por otra parte, se observa que realmente afecta al módulo de elasticidad, aunque se nota considerablemente que produce un efecto en el caso del Guadua, en el cual tiene un cambio de hasta tres veces más que el que no tiene fibra. También hay un aumento en el caso de la plancha reforzada con acero, al igual que en la reforzada con Vulgaris.

Con esto se puede llegar a concluir que cuando está la fibra presente, tiene un comportamiento donde se deforma más con menos esfuerzo, en otras palabras la plancha se hace más elástica y un poco más dúctil, pero nuevamente no es significativo. Esto sólo sucede en el rango elástico, ya que se puede ver que luego de sobrepasar la fluencia, se llega a tener un comportamiento parecido en el rango plástico. Analizando el por qué de este comportamiento, se puede mencionar que la fibra hace que el mortero esté menos consolidado y por lo tanto es menos rígido.

Entre los tres el reforzado con Vulgaris, es el más rígido, por lo que también es el que fluye antes que los demás.

Al analizar el caso del hierro con la fibra de bambú, en este caso bambú Vulgaris, se notó que hubo una fluencia no tan pronunciada a un esfuerzo de  $43 \text{ Kg/cm}^2$  y luego sucede otra a más o menos unos  $60 \text{ Kg/cm}^2$ . Lo que se puede mencionar con esto, es que la primera magnitud mencionada, es cuando fluye el bambú Vulgaris. Por lo tanto, se concluye que cuando la plancha llega al esfuerzo de flexión con el cual la fibra fluye, se logra que tenga menos consolidación y por lo tanto ésta se agrieta. En otras palabras, la primera fluencia producida fue por la fibra y no por el acero, el cual fluye considerablemente a más o menos  $60 \text{ Kg/cm}^2$ .

Ahora, en lo que concierne a qué material es mejor para la construcción de las planchas, se puede notar que si se comporta como se ha explicado anteriormente. Es decir, el hierro es el mejor para el refuerzo, seguidamente el bambú Guadua, se comporta de excelente manera para ser utilizado como refuerzo. Y por último el Vulgaris, que aunque sea mucho menor, si llena las expectativas necesarias para transporte y capacidad para ser utilizado en un muro prefabricado, aunque no para ser utilizado en un elemento que tenga mayor que resistir un mayor esfuerzo.

Al hacer las relaciones entre los refuerzos, se encuentra que se necesita, más o menos, unas 7 veces el área de especie Vulgaris, y unas 5 veces de área de Guadua para igualar, al acero de grado 40.

En lo que se refiere a la utilización de la arena volcánica, se puede considerar que en lugar de mortero, se está utilizando un concreto mediano, y que está dando resultados lo suficientemente altos para ser considerado un concreto de 3000 psi ( $210 \text{ Kg/cm}^2$ ).

Después de haber analizado todo lo anterior, analicemos el costo por metro cuadrado del cerco de bambú. Se puede ver que éste respecto de las otras empresas que fabrican muros parecidos, el precio es menor. Mientras que en comparación con el block, la diferencia estriba en que la mano de obra es mucho menor y el tiempo también es mucho más corto. A esto debe sumarse que se está considerando un transporte desde Santa Lucía Cotzumalguapa, pero si se considerara en el mismo sitio o en otro sitio más cercano a la capital, el valor por metro cuadrado disminuiría debido a que baja o desaparece el precio del flete.

## IX. PRESUPUESTO

**Precio por m<sup>2</sup> de un muro o cerco prefabricado, con las planchas hechas en Santa Lucía Cotzumalguapa y transportados a la Capital.**

Los postes de 3 mts. son comprados de Empresa A, y colocados con las planchas.

Precio por plancha	Q 36.60							
Precio de flete (4%)	Q 1.46							
Total con flete	Q 38.06							
Precio de dos tramos de planchas	Q380.64							
Precio de dos postes	Q146.98							
Precio total de dos tramos	Q527.62							
Imprevistos (2%)	Q 10.55							
TOTAL DE PLANCHAS	Q538.17							
AREA A CUBRIR	7.35							
<b>TOTAL / M<sup>2</sup></b>	<b>Q 73.22</b>							<b>TOTAL/M<sup>2</sup></b>
<b>MATERIAL</b>								
<b>PRECIO AL 6 de junio de 1999</b>								
Precio Empresa B / m <sup>2</sup>	Q 85.00	Precio Mano de obra máximo =	Q 18.00					Q 103.00
Precio Empresa A / m <sup>2</sup>	Q 82.40	Precio Mano de obra máximo =	Q 18.00					Q 100.40
Precio Block/ m <sup>2</sup>	Q 59.56	Precio Mano de obra máximo =	Q 51.99					Q 111.55
		Ahorro Empresa B	-13%					
		Ahorro Empresa A	-10%					
		Ahorro BLOCK	-22%					

Para ver cómo se hicieron los cálculos de éstos ver las tablas en los anexos.

## X. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### A. CONCLUSIONES:

Después de analizar los resultados se ha llegado a las siguientes conclusiones:

1. La fibra NO aumenta en forma significativa, el valor de esfuerzo de fluencia en las planchas reforzadas con bambú, a su vez aumenta el precio de mano de obra al tener que agregar el renglón de la hechura de la fibra, y el tiempo que ésta lleva. Por lo tanto *no es necesario incluir la fibra en la plancha.*
2. *La fibra disminuye la rigidez de la plancha,* y a su vez aumenta el Módulo de Elasticidad, pero como se mencionó anteriormente no aumenta demasiado el esfuerzo de fluencia.
3. *En las planchas con refuerzo de acero, la fibra es contraproducente,* esto se debe a que la fibra fluye antes que el acero, por lo que afecta la resistencia de la plancha.
4. La presencia de fibra hace fluir más abruptamente al elemento, debido a que fluye la fibra en varios puntos de la plancha, lo que la debilita en diversos puntos.
5. Las planchas reforzadas con Bambú de la especie Vulgaris, son más rígidas que con las de otros refuerzos, lo que también hace que fluya o falle antes que las demás.
6. La especie Vulgaris, es una especie con baja resistencia, pero lo suficientemente resistente para ser utilizado en el cerco prefabricado,. En otras palabras, *el bambú Vulgaris es adecuado para cercos prefabricados o divisiones (tabiques), pero no para muros de carga.*
7. La especie Guadua, es una especie lo suficientemente efectiva para ser utilizada no sólo en cercos, sino en otros elementos que resisten más esfuerzos que el de un muro prefabricado o cerco.
8. *Las dos especies pueden ser utilizadas sin ningún problema para refuerzo por temperatura.*
9. *El mortero de arena volcánica debe ser considerado como un concreto mediano,* esto se debe a que tiene un peso aparente ( $2.02 \text{ g/cm}^3$ ) cercano al del concreto normal ( $2.4 \text{ g/cm}^3$ ) y tiene un  $f'c$  cercano a 3000 psi, lo que lo hace lo suficientemente resistente para un elemento con una mediana carga o expuesto a un esfuerzo mediano.

10. *Un cerco o muro prefabricado con los materiales anteriores son una solución barata para cercos y para divisiones en viviendas en las cuales no se utilice un diafragma rígido en el techo.* Estas conclusiones se pueden dar, ya que cumple con la resistencia necesaria para ser transportada y también para durar lo suficiente. Esto es una solución muy aplicable para lugares como la costa sur y poblados o fincas cercanas a los volcanes, como por ejemplo San Vicente Pacaya, Acatenango, San Pedro Yepocapa, etc.

## **B. RECOMENDACIONES:**

Después de analizar todas las conclusiones y resultados, se pueden recomendar los siguientes puntos:

1. Tomar en cuenta esta solución para viviendas de nivel popular, viviendas de fincas y cercos prefabricados o de división.
2. Hacer estudios sobre qué elementos pueden resistir una especie lo suficientemente resistente como la Guadua.
3. A las autoridades de gobierno, a instituciones INTECAP, la Cámara de Construcción, al Colegio de Ingenieros, a las Universidades y a las empresas privadas apoyar al estudio del bambú en la construcción, ya que puede ser una solución excelente y barata para el problema de vivienda que existe en Guatemala.
4. Utilizar la arena volcánica como un concreto mediano en lugares o poblaciones cercanas a los volcanes.
5. También instar a las autoridades y las instituciones antes mencionadas, a estudiar la utilización de la arena volcánica en la construcción.

## XI. BIBLIOGRAFIA Y ANEXOS

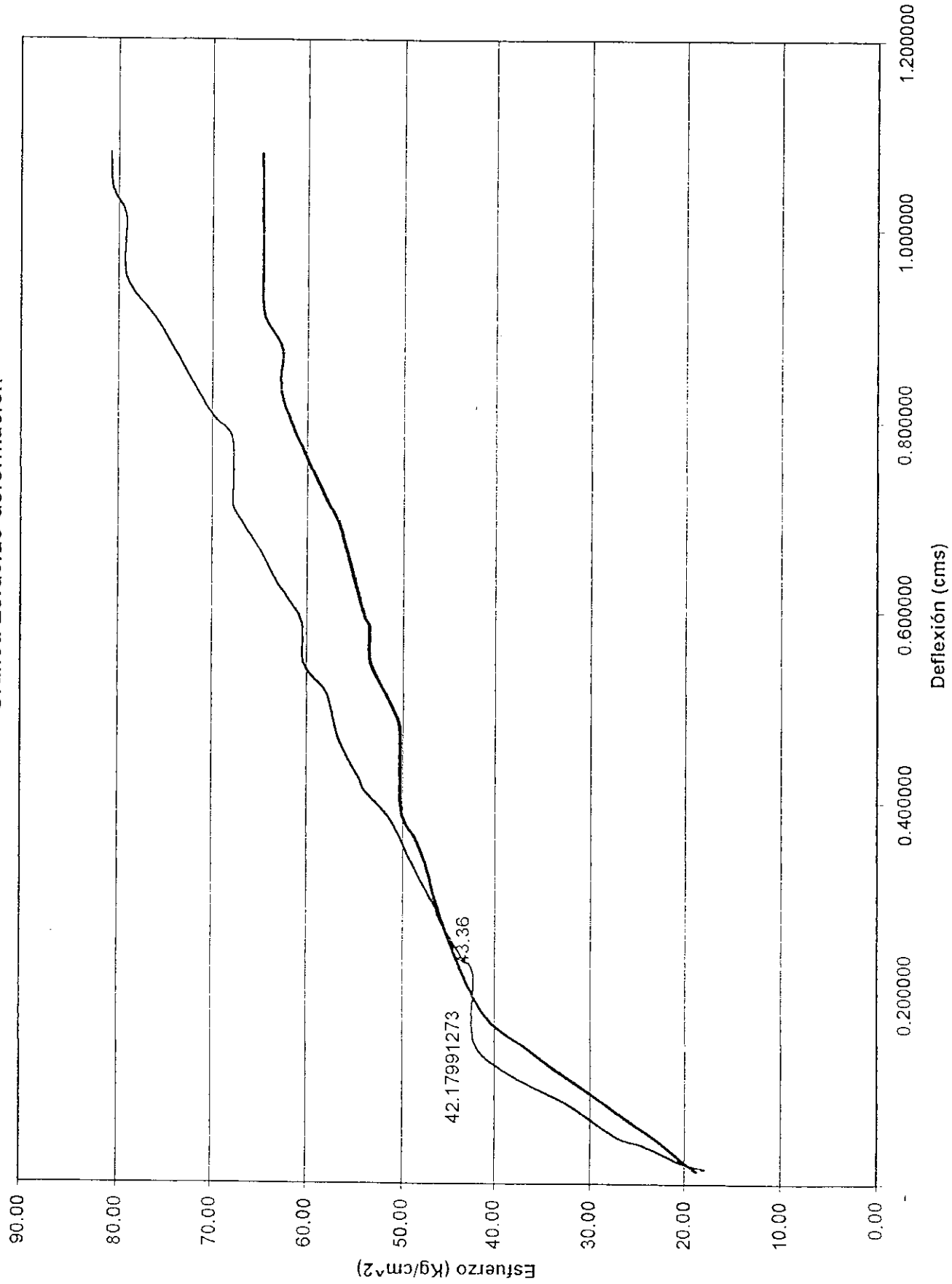
### A. BIBLIOGRAFIA:

1. Espina Lee, E., 1984, *PANELES DE CONCRETO LIVIANO CON REFUERZO DE BAMBU (Construcción y evaluación)*, Facultad de Ingeniería, USAC, Guatemala, 11 40 pp.
2. Figueroa Calderón, M., 1990, *EL BAMBU Y EL FIBROCEMENTO EN LA VIVIENDA ECONOMICA DE MAZATENANGO*, INTECAP, Guatemala, 145 pp.
3. Goyzueta, E., 1993 *EL USO DEL BAMBU EN LA CONSTRUCCION*, Universidad del Valle, Guatemala.
4. Hidalgo López, O. 1974, *BAMBU, su Cultivo y Aplicación en fabricación de papel, construcción, arquitectura, ingeniería, artesanía*. Estudios Técnicos Colombianos, Cali.
5. Instituto Técnico de Capacitación y productividad. Misión China. *Cultivo del Bambú*. 1987
6. Instituto Técnico de Capacitación y productividad. Misión China. *Guía técnica para la identificación de las especies de bambú, sus plagas y enfermedades*. 1986
7. INTECAP, *EL BAMBU UNA ALTERNATIVA PARA VIVIENDAS DE INTERES SOCIAL*, 1999, Cuarta conferencia del ciclo: Técnicas constructivas industrializadas para vivienda de interés social.
8. Cámara Guatemalteca de la Construcción, *Boletín Estadístico 76*, período de Oct. – Dic. 1998.
9. Nilson, A., et al., *DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO*, 11ª. Edición, 1994, McGraw-Hill, Colombia, 770 pp.

## **B. ANEXOS**

# ESPECIE VULGARIS

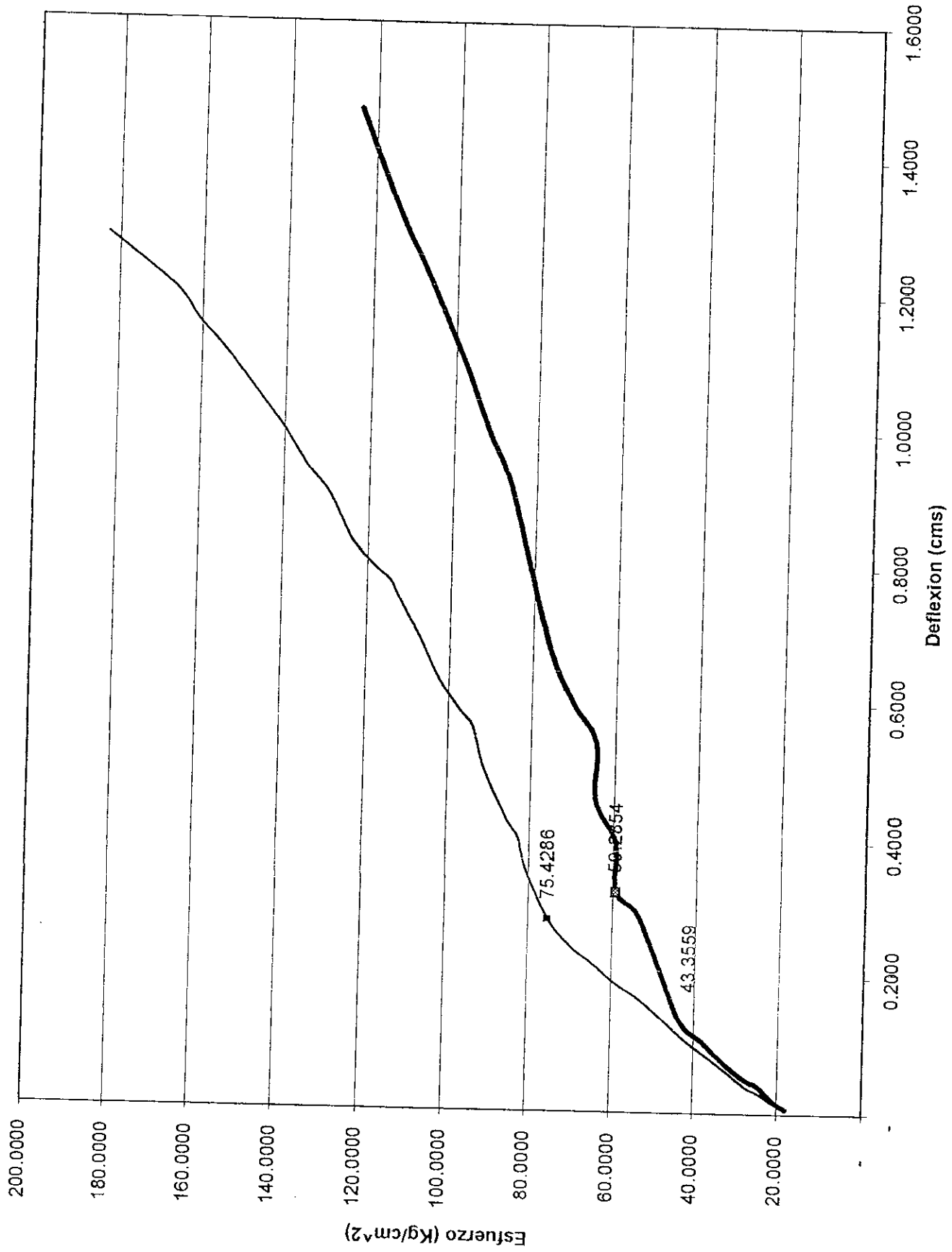
Comparación de Con fibra vrs Sin fibra  
Gráfica Esfuerzo-deformación



— Con fibra  
- - Sin fibra

F

### Con fibra vrs Sin fibra Curva esfuerzo-deformación

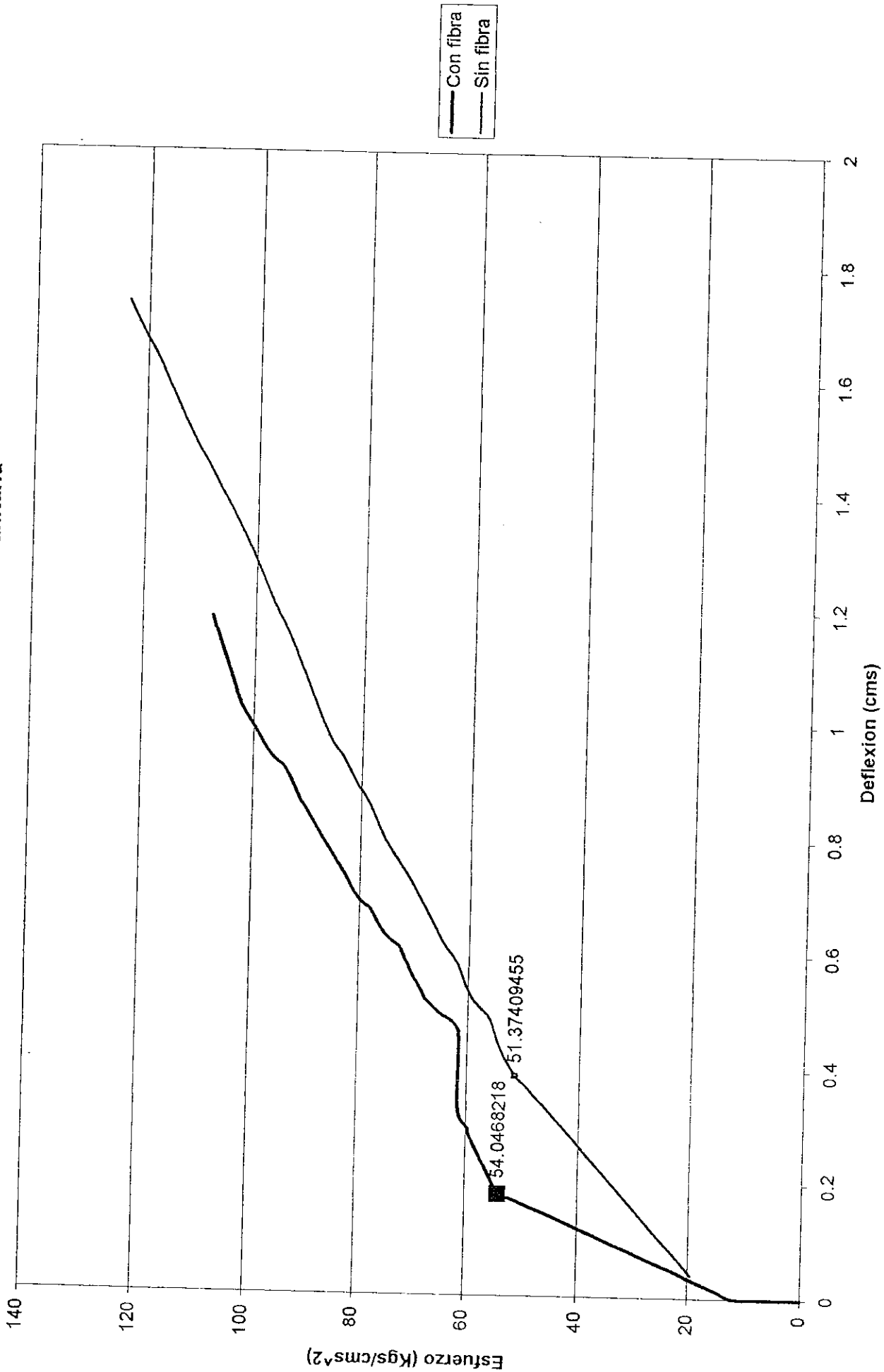


— Sin fibra  
— Con fibra

# ESPECIE GUADUA

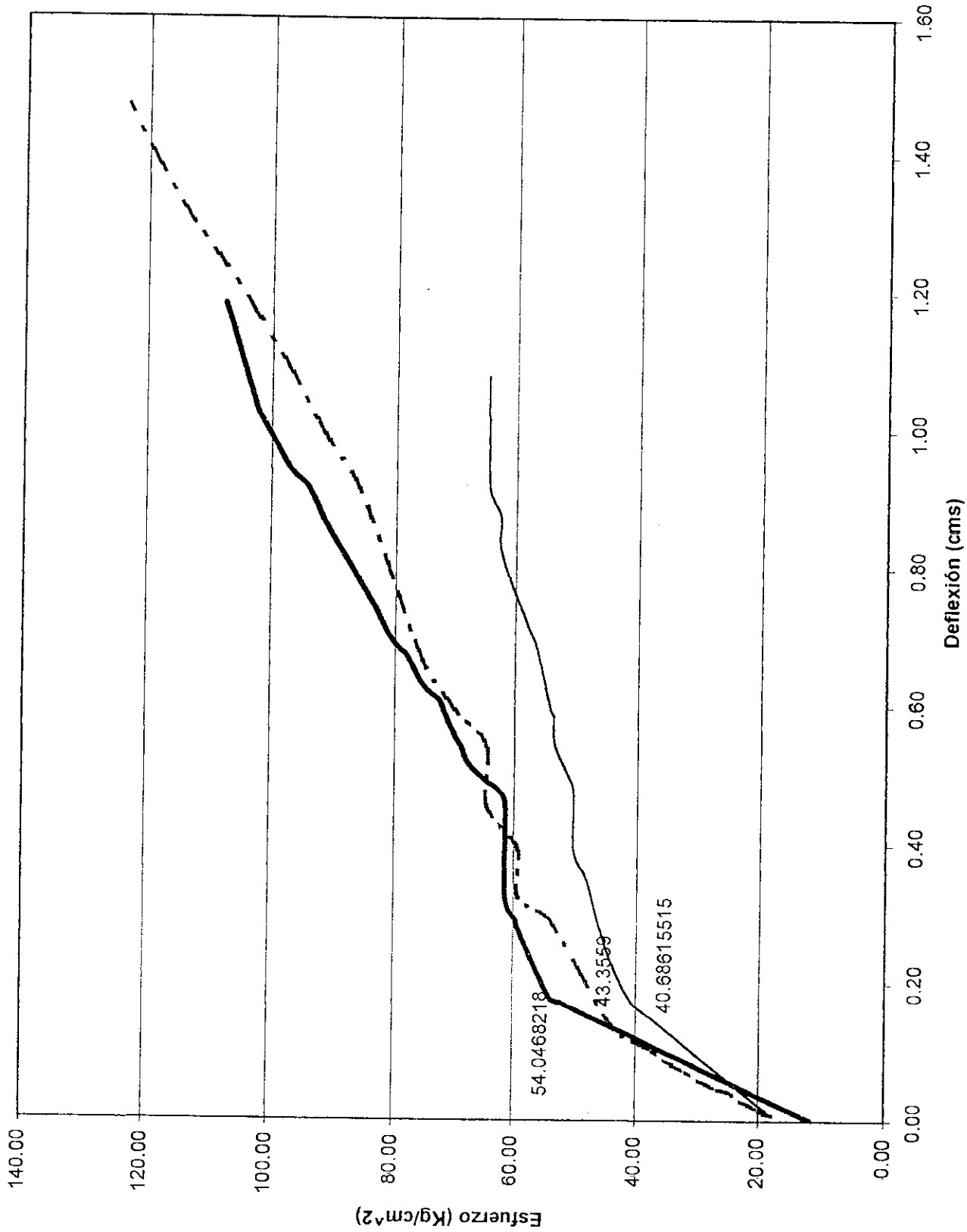
Con fibra vrs. Sin fibra

Curva esfuerzo-deformación no unitaria



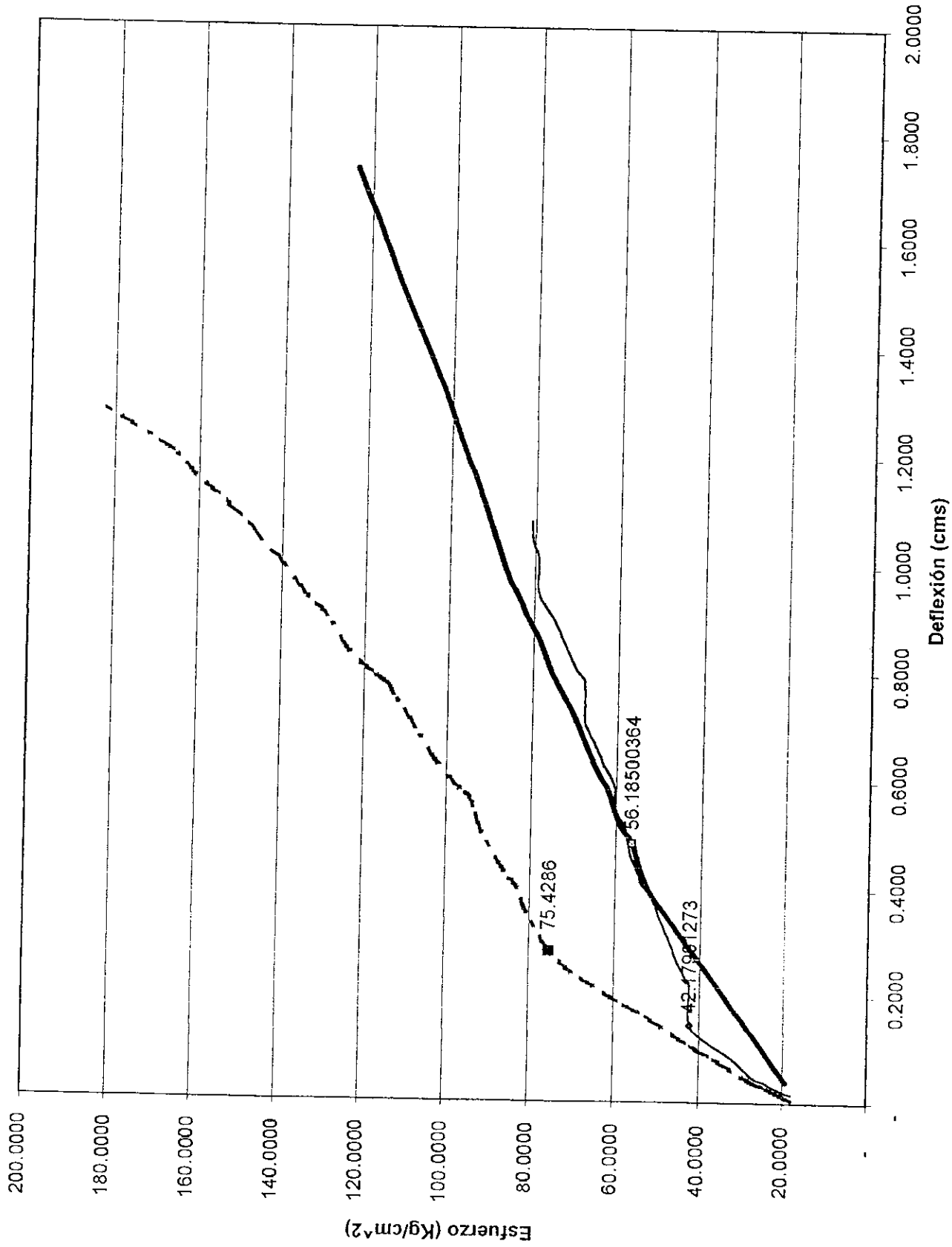
# PRUEBAS CON FIBRA

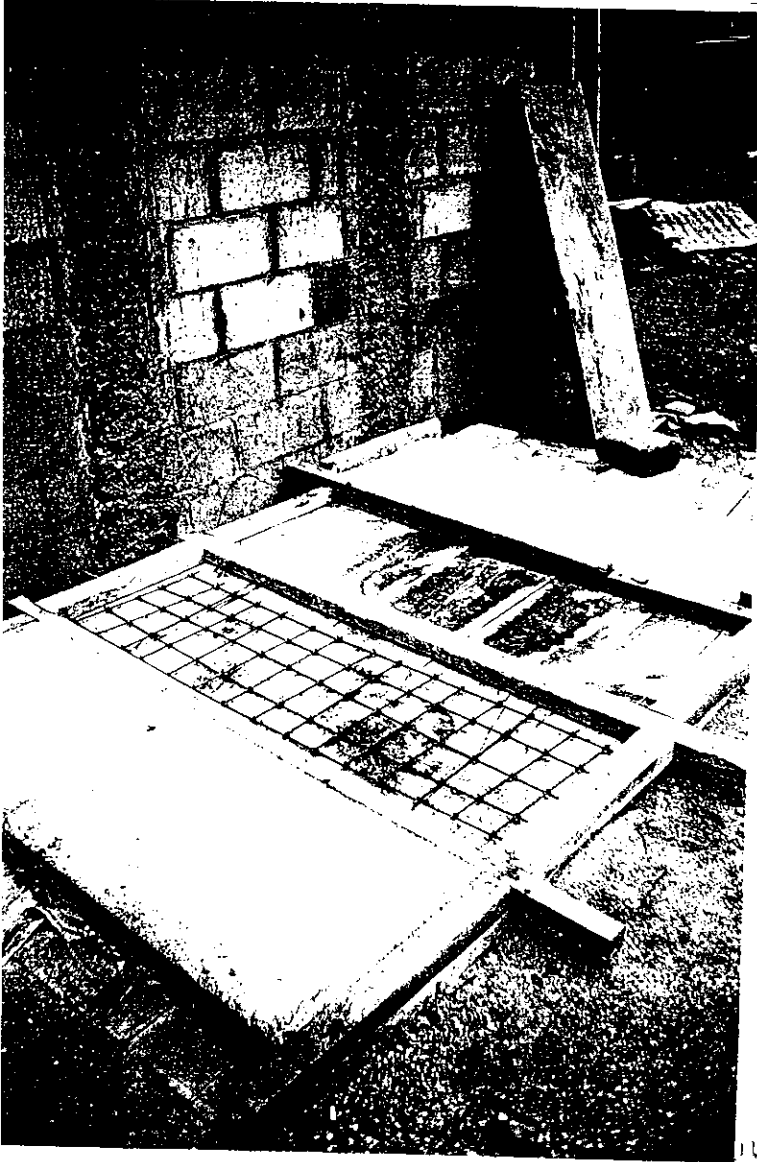
## Curva esfuerzo - deformación



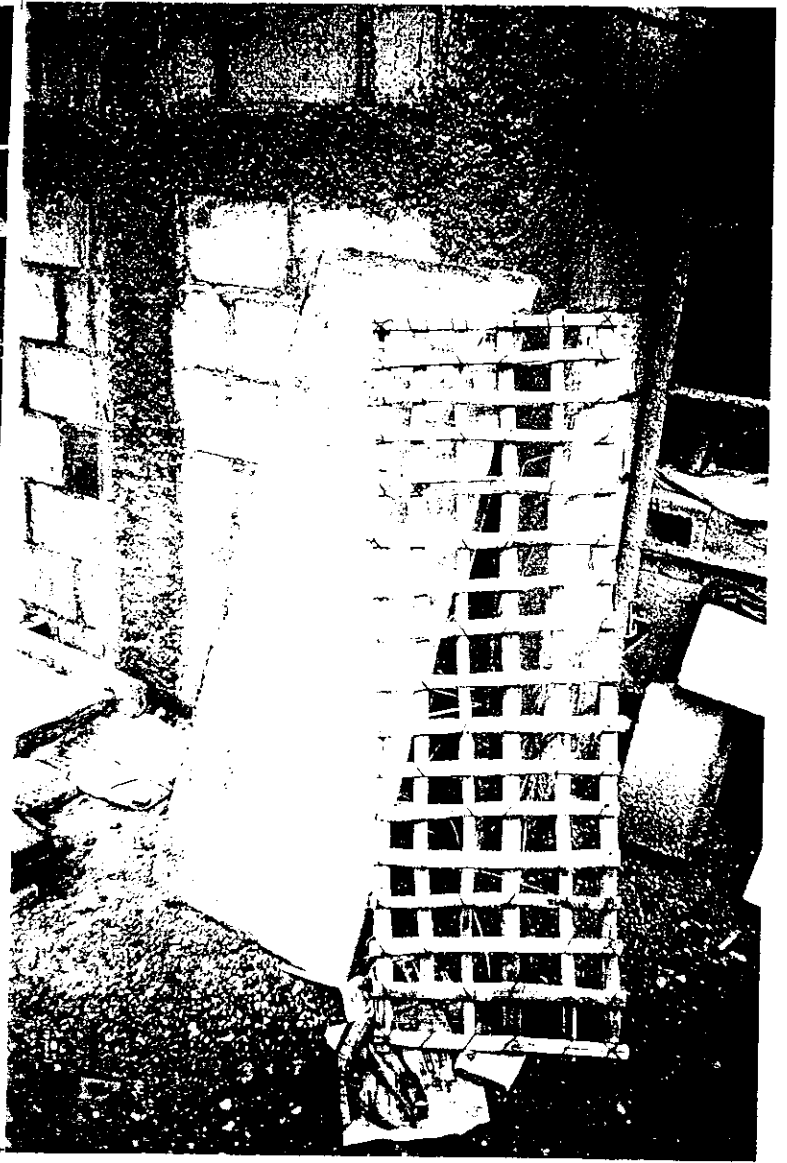
# PRUEBAS SIN FIBRA

## Curva esfuerzo-deformación





a) Refuerzo de acero.

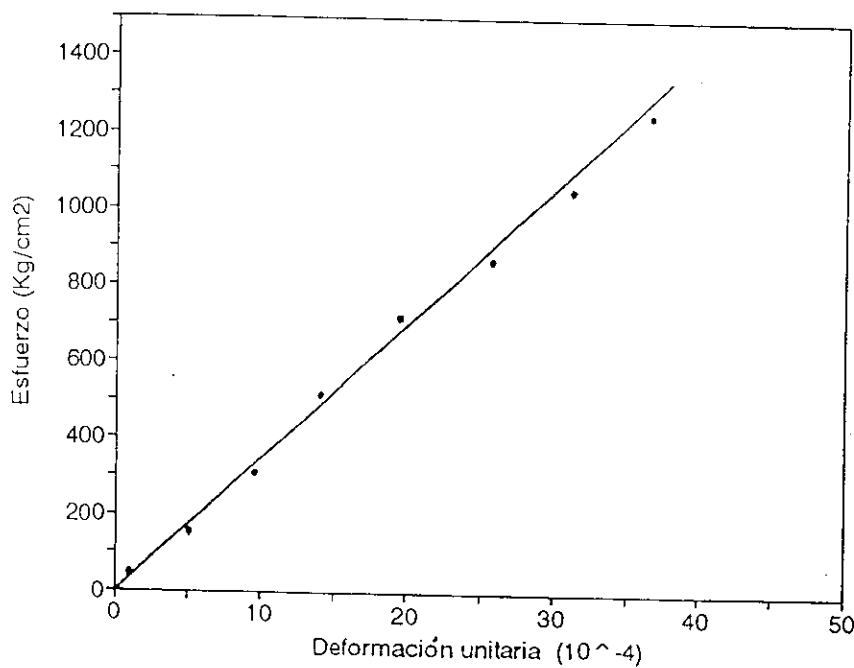


b) Refuerzo de bambú



# 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

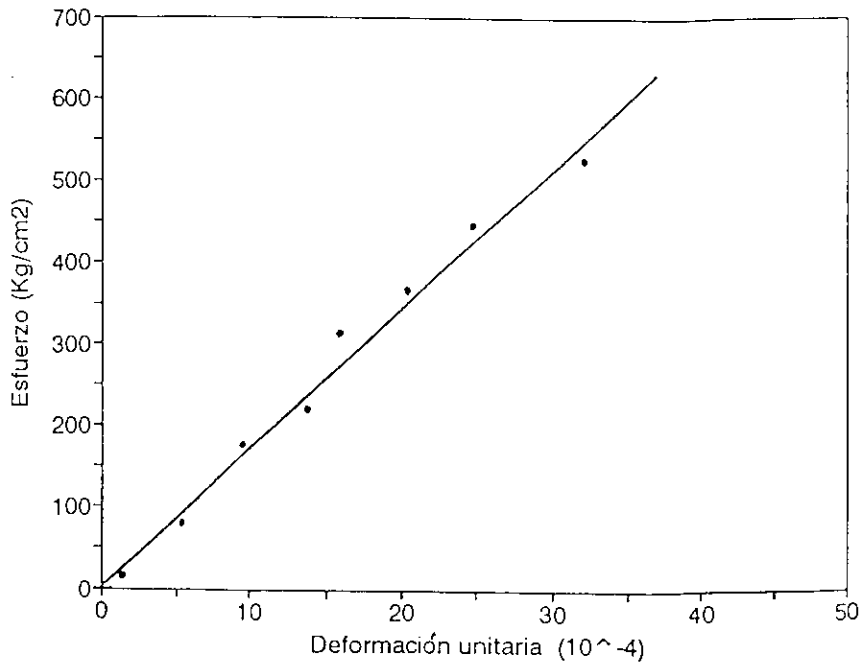
Muestra	Módulo Elástico (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )
3't	$1.98 \times 10^5$	1296

ANEXO 8

Fuente: (3)

# 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

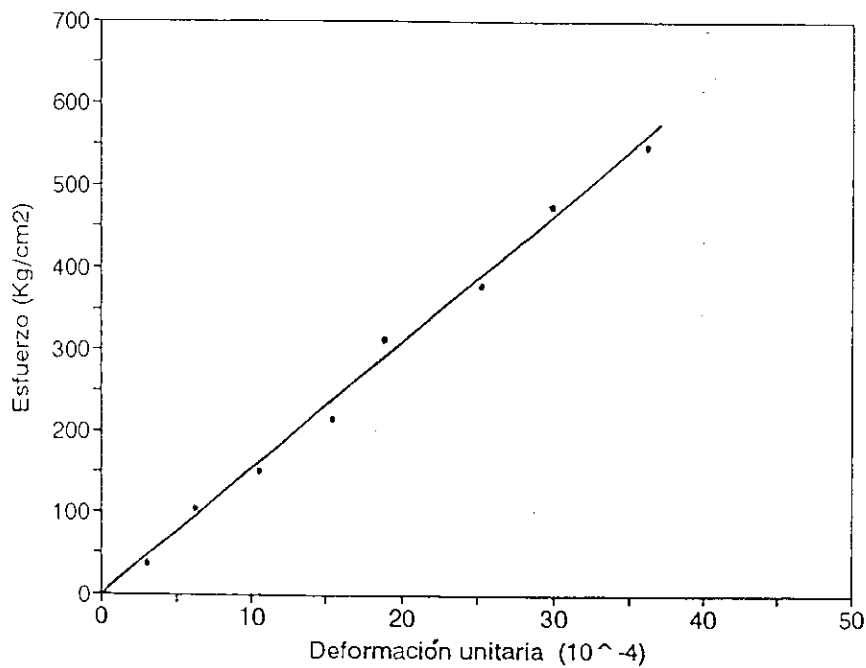


## Resultados de los ensayos de compresión

Muestra	Módulo Elástico (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )
4 c	$1.43 \times 10^5$	475

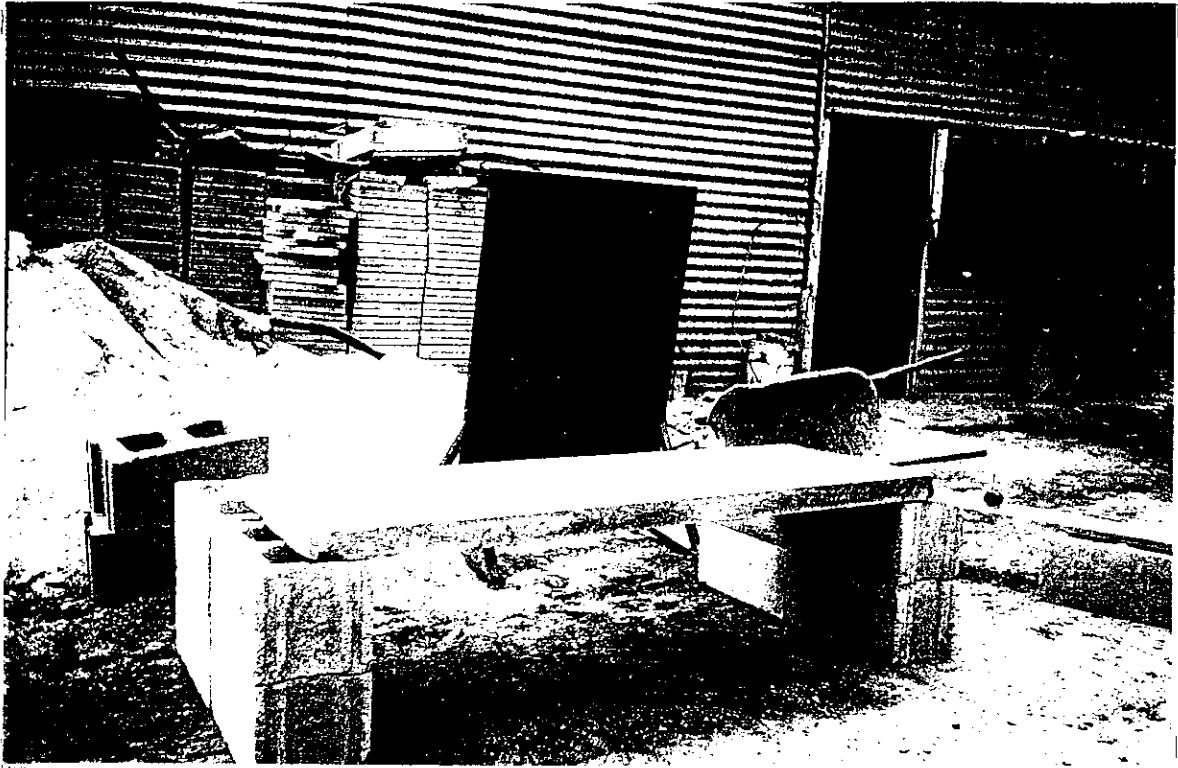
# Curva esfuerzo-deformación de muestras con nudo en compresión

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

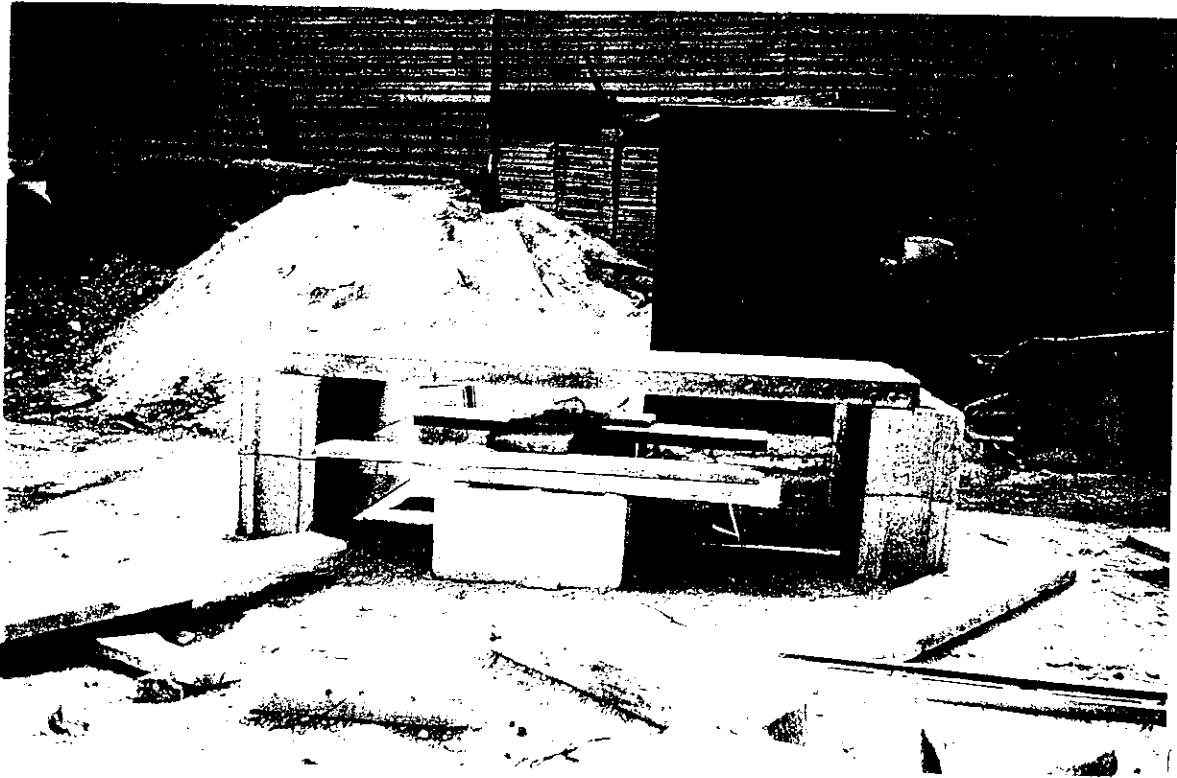


## Resultados de los ensayos de compresión

Muestra	Módulo Elástico ( $\text{Kg/cm}^2$ )	Resistencia ( $\text{Kg/cm}^2$ )
10' c	$1.12 \times 10^5$	525



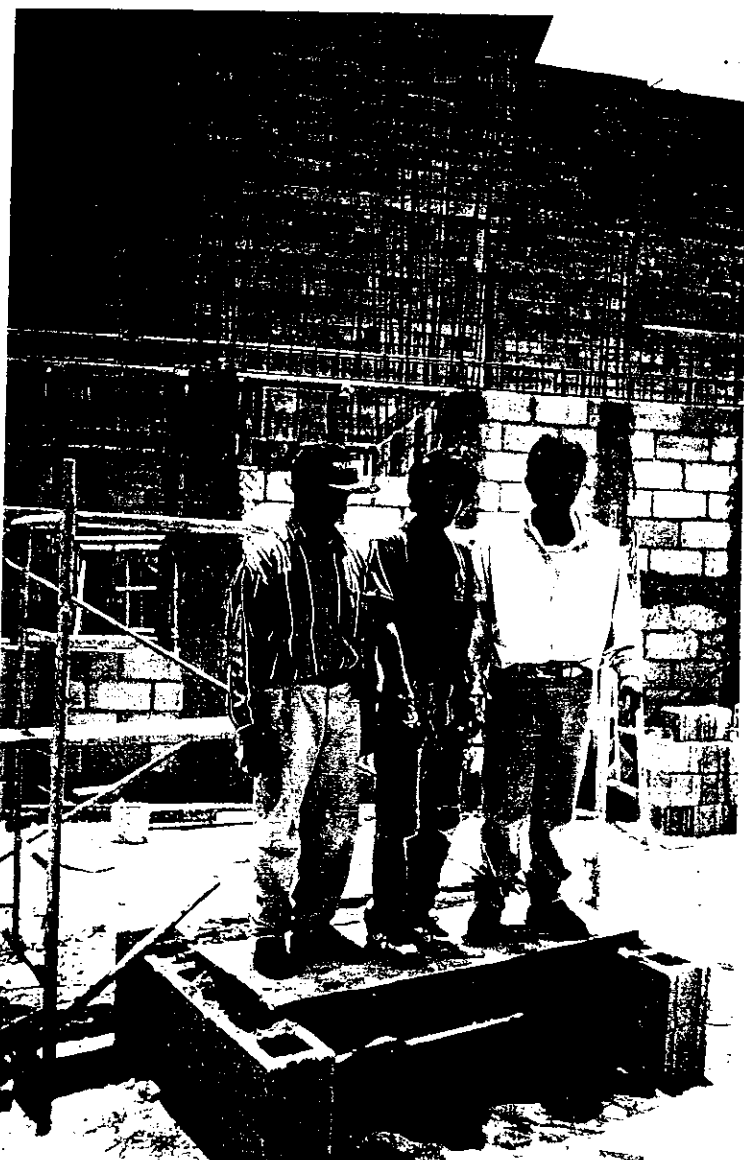
a) Colocado de la plancha para la prueba a flexión.



b) Colocado del deformímetro bajo la plancha a ser ensayada.



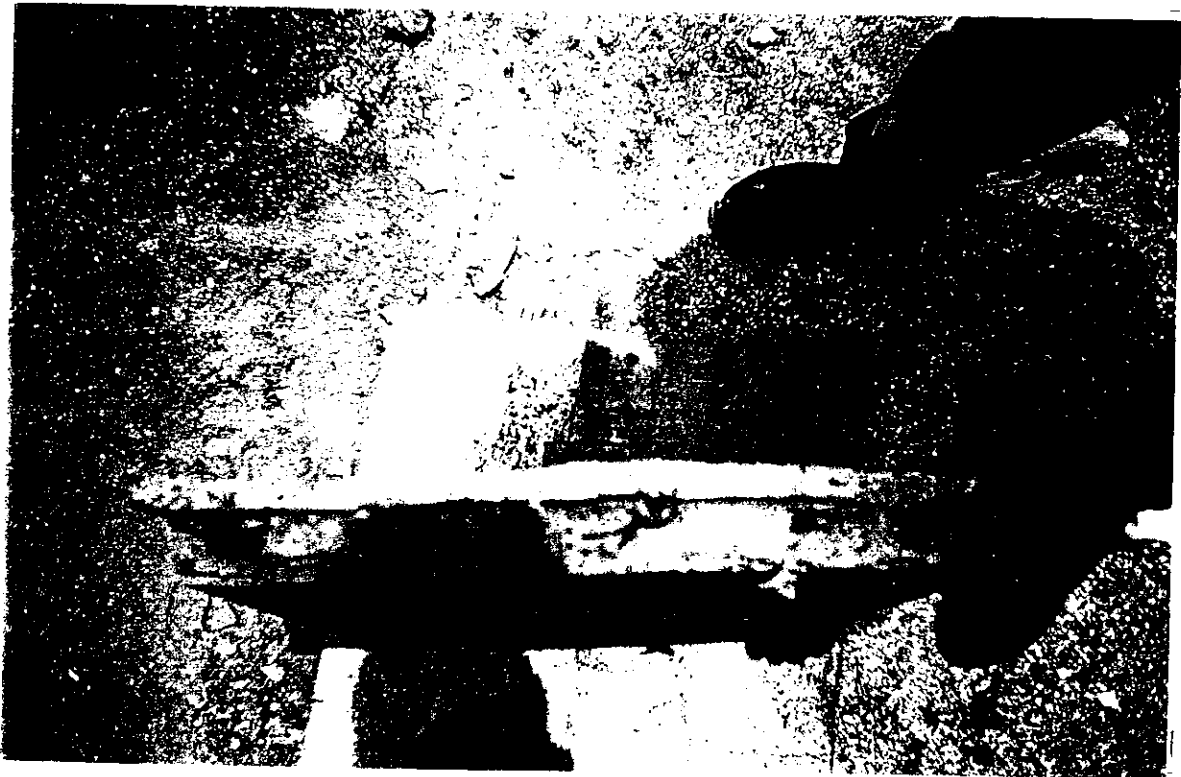
a) Plancha en el momento de ser ensayada.



b) Plancha reforzada con Guadua demostrando su resistencia.



a) Momento en que se forma una grieta en la plancha ensayada.



b) Muestra de la ausencia de espacios vacíos en una plancha ya ensayada.