

MORTEROS REFORZADOS CON FIBRAS DE BAMBU

Anacilia Arbeláez Arce¹

RESUMEN

El término fibras de bambú, hace referencia al material de desecho (aserrín), seleccionado por diferencia de peso, en inmersión en agua. Se atiene a la definición de fibras que presentan la Norma ASTM C-1116-89 "Standard Specification for Fiber-Reinforced Concrete".

Se estudian las propiedades físico-mecánicas del mortero 1:3, reforzado con 15, 50 y 100 kg de fibras de bambú, por metro cúbico de mortero, con el objeto de determinar la factibilidad de uso de este material, como matriz para muros estructurales.

En el caso de matrices de morteros reforzados para paneles, además de determinar el porcentaje de refuerzo, que permita mantener la resistencia mecánica dentro de los límites establecidos, éste debe lograr un control en el agrietamiento. De hecho en condiciones normales bajo carga, el agrietamiento es inevitable, sea cual fuere la cantidad y calidad de refuerzo usado; sin embargo, las fibras tienen la propiedad de controlar la propagación del agrietamiento y por ende transformar una matriz frágil, en un material con cierto grado de ductilidad.

Los compuestos son probados a compresión axial, flexión e impacto. Las propiedades físicas de absorción de humedad y contracciones por secado se miden en probetas con dosificación y porcentaje de refuerzo seleccionado de las pruebas mecánicas.

Palabras clave: bambú, fibras, morteros, propiedades físico-mecánicas.

¹ Profesora Asociada. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Apartado 1779.

ABSTRACT

REINFORCED MORTAR WITH BAMBOO FIBERS

Bamboo fiber terminology refers to swdust, selected by weight difference in water immersion, it is subject to fiber definition as ASTM C-1116-89 "Standard Specification for Fiber-Reinforced Concrete".

Physico-mechanical properties of mortar 1:3, reinforced with 15, 50 and 100 kg of bamboo fiber by cubical meter of mortar are studied, in order to determine the feasibility use of this material, as a matrix for structural panels, made by a timber marking and bamboo tablets as central reinforcement.

Besides to determine the strength average that grant a support to mechanical resistance between the establish limits; reinforced mortar matrix must obtain a control in cracking. Independently of quality and quantity of the reinforcement used, cracking is unavoidable in normal conditions. However, fibers have the property to control propagation and consequently to transform a weak matrix in a ductile material.

Mixtures are proved to axial compression and flexion. Physical properties of moisture absorption, contractions by dried and impact resistance are measured in a dosage test tube, and selected percentage of mechanical proves.

Key words: *Bamboo, fibers, mortar, physico-mechanical properties.*

INTRODUCCION

No existe el mejor material de construcción, todo depende del uso que se le dé o de la función que deba desempeñar.

El bambú ha cumplido tradicionalmente dos funciones preponderantes a nivel social y ecológico; como material para construcción de vivienda rural y como protectora de cauces y

cuencas.

Actualmente la semi-industrialización de la transformación del culmo, abre nuevas perspectivas para el uso del recurso, al poder convertir el material de desecho (aserrín) en productos de alta calidad, ó, en asocio con otros materiales, sustituir o mejorar el comportamiento de un material convencional o ayudar a economizar en su producción.

Un ejemplo de los posibles usos, son los tableros estructurales o de cerramiento en cualquiera de los sistemas de cemento Portland (pasta, mortero o concreto) reforzados con bambú, para ser usados como matriz en paneles de tablillas o esterilla de bambú, cerramiento de puertas y ventanas, losetas para entrepisos, recubrimiento de superficies, cajas de empaque, etc

CONSIDERACIONES GENERALES

Mortero es la mezcla, perfectamente dosificada, de un cementante, agregado fino y agua. Los materiales deben cumplir con las normas ASTM ó las establecidas por el Código de Construcción de cada país o región.

El **Mortero Reforzado** es un material constituido por una matriz, generalmente frágil, reforzada con una gama muy variada de materiales de origen natural (orgánicas o minerales) o artificial, colocados en forma continua o dispersa y con una orientación determinada o al azar.

El Mortero, normalmente, está constituido por cemento Portland, arena natural y agua. Las proporciones en peso de Cemento/Arena y Agua/Cemento, varían de acuerdo con el tipo de

refuerzo, el sistema de mezclado y colocado y el uso final del producto.

Entre los parámetros que definen las propiedades de los morteros reforzados están:

- tipo y calidad del cementante y los agregados,
- diseño de la mezcla,
- relación agua/cemento,
- porosidad del compuesto,
- características del refuerzo (tipo, calidad, cantidad),
- condiciones de humedad de refuerzo higroscópico,
- espesor de cubrimiento del refuerzo,
- supervisión y control de calidad del producto final.

Morteros reforzados con Fibra.

La norma ASTM C1116-89, define las Fibras como filamentos delgados y elongados en forma de haces o hilos, de cualquier material natural o manufacturado, que pueda ser distribuido uniformemente en la mezcla del mortero fresco.

El comportamiento de los sistemas de cemento Portland reforzados con fibras, depende de la susceptibilidad de la fibra a los daños físicos durante el proceso de mezclado, su compatibilidad química con el ambiente normalmente alcalino de la pasta de cemento y su

resistencia a las condiciones ambientales del medio donde el producto final, presta servicio (la exposición al dióxido de carbono, la acción de los cloruros y sulfatos disueltos en el agua y el ataque del oxígeno y luz ultravioleta).

Las fibras se distribuyen en la masa en todas las direcciones. Cuando la pasta empieza a endurecer, se desarrollan fisuras microscópicas, las cuales al intersectar las fibras, son bloqueadas previniendo el futuro desarrollo de macrofisuras o grietas.

El ACI 544.IR-82 presenta los sistemas de cemento Portland reforzado con fibras, como materiales con una capacidad mejorada de su resistencia al impacto, absorción de energía y resistencia a la tracción. Las fibras tienen la propiedad de controlar la propagación del agrietamiento y por ende transformar una matriz frágil, en un material con cierto grado de ductilidad.

Los sectores rurales cuentan con una amplia gama de fibras orgánicas de origen animal o vegetal. Las fibras de origen animal son poco empleadas (como refuerzo en los sistemas de cemento) por el contenido de grasas presente en la superficie, las cuales impiden una

buena adherencia entre la fibra y el mortero.

Existen dos factores limitantes en el uso de fibras orgánicas:

La presencia de sustancias extractivas, las cuales retardan o inhiben el proceso de fraguado del cemento. Los azúcares forman una especie de membrana alrededor de los cristales, impidiendo su unión. El azúcar puede ser disuelto por métodos químicos, pero la similitud de su estructura interna con la de la celulosa, llevaría a la desintegración del material.

La extracción de las sustancias solubles, generalmente en forma parcial, se puede llevar a cabo por uno de los dos sistemas:

- lavado del material: no siempre se justifica económicamente,
- inmersión, por lo menos durante 24 horas, en una solución de un agente mineralizante (cloruro de calcio, hidróxido de calcio, silicato de sodio, cloruro de magnesio y silicato de potasio). La cantidad de mineralizante varía de 2 a 4° Boume. Bonilla, 1977, utilizó con aserrín de madera, una solución de cloruro de calcio, en proporción por volumen de 1:16.74 (3° Boume)

o sea una parte de cloruro de calcio por 16.74 partes de agua.

La durabilidad del material orgánico en el ambiente alcalino de la matriz de cemento. La reducción de la alcalinidad del agua presente en la matriz, se puede lograr reemplazando parte del cemento Portland por una puzolana altamente activa, como la ceniza de la cascarilla de arroz (RHA), las cenizas volantes.

PROGRAMA EXPERIMENTAL

El trabajo se llevó a cabo en dos etapas.

I Etapa. Estudio Cualitativo Preliminar: realizado en las instalaciones del Proyecto Nacional de Bambú, en San José, Costa Rica. Se ensayaron dosificaciones y porcentajes de refuerzo que permitieran una trabajabilidad adecuada de la mezcla; el proceso en la preparación manual de la mezcla; variaciones en el contenido de humedad del bambú; selección del material de refuerzo por tamaño; comportamiento con respecto a retención de humedad; tiempos de fraguado; influencia de la composición del desecho en el proceso de endurecimiento de la pasta.

El Trabajo preliminar, condujo a las siguientes conclusiones cualitativas:

- los almidones presentes en el bambú y el porcentaje de fibra en la mezcla, afectan notoriamente el proceso de fraguado,
- la fibra le dá cohesión a la mezcla húmeda, mejora la trabajabilidad, facilita la aplicación sobre la superficie vertical y evita que la mezcla se resbale sobre la tablilla o se desprenda,
- la presencia de la fibra reduce la formación de fisuras ocasionadas por las contracciones del fraguado. Tal hecho se puede atribuir a la capacidad de retención de humedad de la fibra, además la presencia de fibras orientadas al azar alrededor del gel de cemento pueden crear una condición de confinamiento que inhibe la contracción desarrollada por el compuesto,
- se descarta el uso de relaciones B/C (bambú/cemento) por encima de 0.3 en mezclas corrientes, es decir sin el uso de aditivos.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se decidió analizar en el Laboratorio, la dosificación 1:3, con relaciones B/C hasta 0.3, o sea

adiciones máximas de bambú de 150 kg/m³.

Una vez conocida la resistencia a la compresión del compuesto reforzado con una relación B/C de 0.3, cuyo valor representaba el 10% de la resistencia del compuesto sin reforzar, se decidió trabajar todas las pruebas siguientes con relaciones máximas de B/C de 0.2.

II Etapa: Ensayos de laboratorio: comprende todo el programa de experimentación, realizada por el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Costa Rica y en el Laboratorio de Construcciones Rurales de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín

SELECCION Y PREPARACION DE LOS MATERIALES

Conglomerante. El cemento usado en la preparación de la mezcla es el Portland Tipo I-MC (modificado con carbonato de calcio) de uso corriente en el mercado de la construcción en Costa Rica.

Agregado fino. Arena procedente del río Chirripó.

Pesos Unitarios. Compactado (Envarillado): 1597 kg/m³

TABLA 1. Análisis Granulométrico de la arena.

Malla	% Pasa
4	96
8	80
16	61
30	37
50	18
100	4
200	2

Suelto: 1464 kg/m³

Gravedad Específica Bruta seca: 2.63.

Gravedad Específica Saturada Superficie Seca : 2.54

Gravedad Específica Aparente: 2.78.

Porcentaje de Absorción de humedad: 4.76 %.

Agua. El agua utilizada, libre de ácidos, álcalis y materia orgánica, cumple las especificaciones de la norma ASTM C-270, la cual regula la calidad del agua de la mezcla.

Refuerzo de bambú. El material utilizado reúne las siguientes características:

Procedencia. La fibra es un subproducto del proceso de

transformación del culmo del bambú, en tablillas para la fabricación de paneles portantes, utilizados en la construcción de vivienda. También se puede obtener como subproducto de los aprovechamientos en las plantaciones, haciéndolo pasar por una desfibradora.

Procedimiento seguido para la obtención del bambú utilizado como material de refuerzo.

- El aserrín procedente de la planta de transformación del culmo, se tamiza en una malla de 3/8", con el fin de retirar todo el material de mayor tamaño y los haces de fibra gruesos y largos. Cuando el aserrín esté muy seco, se debe cambiar la malla 3/8" por la de 1/8". El tamizado se debe realizar cuando el material tenga, alrededor de 150% de humedad, como máximo. Humedades superiores no permiten la selección por diferencia de peso en inmersión en agua.
- El material que pasa la malla 3/8" ó 1/8" se sumerge en agua y, por diferencia de peso, se retira inmediatamente el material que sobre agua (constituido principalmente por tejido parenquimático, musgos y líquenes que se encontraban

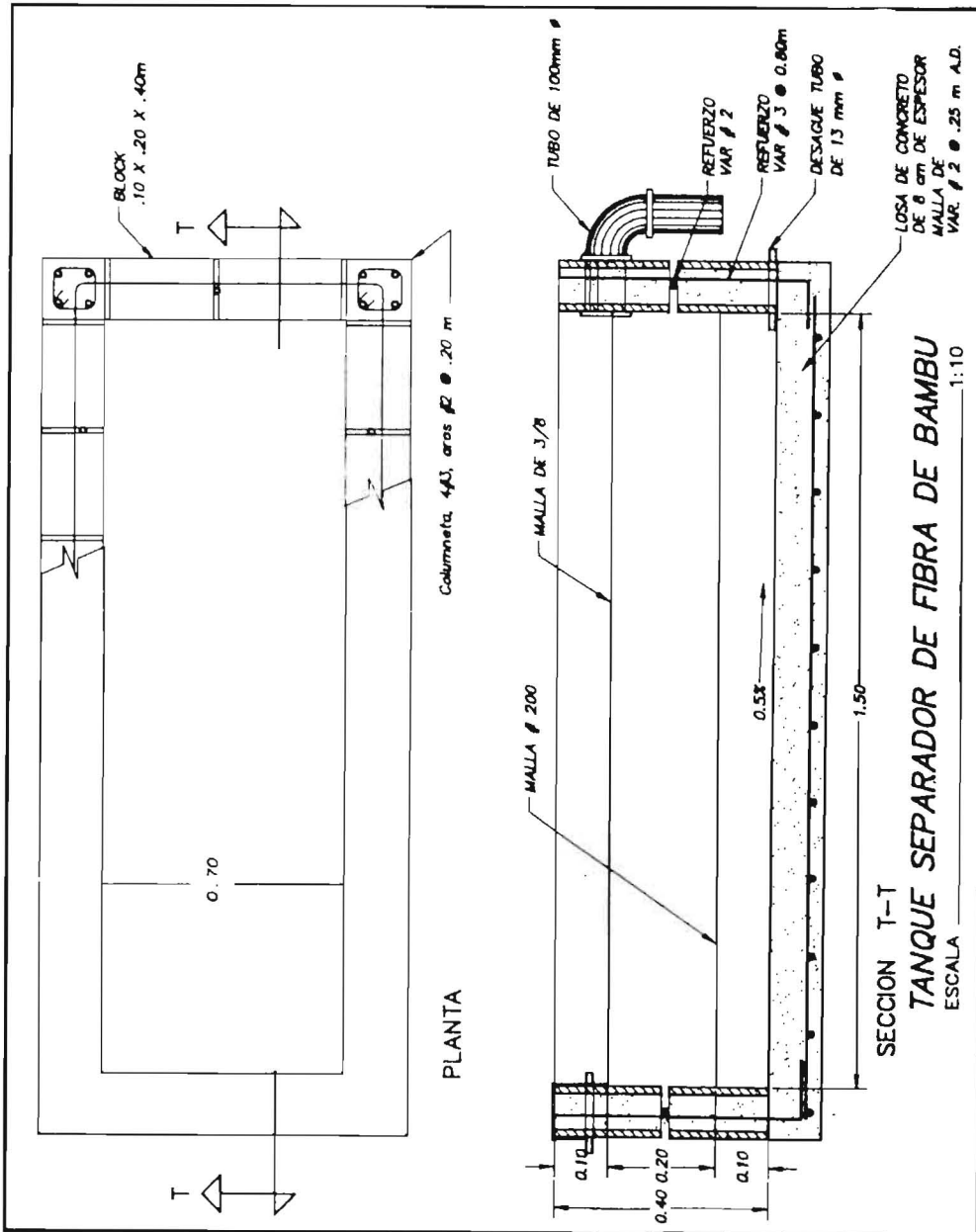
adheridos a la superficie del culmo). La fibra se precipita por tener mayor peso.

- La muestra seleccionada se deja en reposo, en agua a temperatura corriente por 24 horas; este procedimiento facilita la separación de las fibras y elimina gran parte de las sustancias solubles.
- Se lava la muestra y se pone a secar.

Si se requiere almacenar, se debe secar la fibra a humedad de equilibrio y guardarlo en sacos tejidos de fibra, en lugar ventilado. Un saco tejido de fibra sintética de 50 kg, lleno con aserrín tal como sale de la planta, produce aproximadamente 6 Kg de material seleccionado para refuerzo.

La Figura 1 muestra el tanque separador de fibra de bambú.

Descripción de la fibra. En un corte transversal del culmo se observan los haces vasculares inmersos en el tejido fundamental de parénquima y rodeados por vainas esclerenquimatosas. En los polos aparecen trenzas de fibras, las cuales son más abundantes en el polo que se dirige a la parte interna del culmo, razón por la cual los haces



presentan forma ovalada. Las fibras son fusiformes, no estratificadas y con punteaduras simples.

La Tabla 2 presentan la descripción microscópica de la

guadua, realizada por Escalante (1987) y en la Tabla 3, se dan los valores del análisis granulométrica de la fibra utilizada en la fabricación de las probetas de mortero reforzado.

TABLA 2. Descripción microscópica de la Guadua, sp.

Culmo			Fibras (mm)		
Sección	Diámetro (cm)	Longitud	Diámetro	Espesor Pared	Diamet. Lumen
Basal	14.64	2.33	0.074	0.049	0.025
Medio 1	14.16	2.30	0.066	0.051	0.016
Medio 2	9.23	2.17	0.063	0.051	0.012
Distal	5.10	1.88	0.062	0.051	0.011

TABLA 3. Análisis Granulométrico de la fibra.

Malla	% Pasa
16	7.5
20	9.2
30	13.7
60	50.2
100	14.6
200	3.7
Fondo	1.7

PROCEDIMIENTO DE PRUEBA

Diseño de la Mezcla. La mezcla se prepara en una batidora portátil, siguiendo la Norma ASTM C-172. A cada uno de los diseños se les agrega la cantidad de agua necesaria para alcanzar un flujo de $110 \pm 5\%$, siguiendo las especificaciones ASTM C-305. En ningún caso se presentaron dificultades en el moldeado de los diferentes especímenes.

Los especímenes son moldeados, con la geometría especificada por la respectiva Norma de ensayo, con tres proporciones de fibra (B/C: 0.03, 0.1 y 0.2), desmoldados a las 24 horas, posteriormente sometidos al proceso de curado en cámara húmeda (22°C y humedad relativa entre 95 y 100%) y probados a los 7 y 28 días.

Pruebas. Los especímenes son ensayados a compresión axial y flexión simple, con tres relaciones B/C y dos épocas de curado; y a Impacto, Absorción de humedad y Encogimiento por Secado con una relación B/C.

Análisis Estadístico. Se utilizó el Diseño de Parcelas divididas con cuatro (4) niveles de A y dos (2) niveles de B.

Variables a medir: Resistencia a la Compresión, Módulo de Rotura, Resistencia al Impacto, Absorción Volumétrica y Encogimiento por Secado.

Unidad Grande (Factor A): contenido de Fibra. B/C.

Subunidad (Factor B): tiempo de prueba T.

Unidad experimental: probetas del tamaño especificado por la

respectiva Norma de ensayo.

Se calcularon además los valores de media, desviación standard y ecuaciones de regresión.

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS Y ANALISIS

Resistencia a la compresión axial f'c. Se realizaron dos (2) series de pruebas: S1 y S2. En la segunda serie S2, se descartó la relación B/C:0,3 porque la resistencia del mortero reforzado con esa relación, representa solamente el 10% de la resistencia del compuesto sin reforzar y se probó una relación menor B/C:0.2.

Serie: S1 - S2

Norma ASTM: C1116-89; C109-90
Probetas: Cubos 5.08*5.08*5.08 cm.

Sistema de Curado: Cámara húmeda (22°C y humedad relativa entre 95 y 100%).

Tiempo Curado, días: 7-28

Dosificación mezcla: 1:3

Refuerzo

Bambú/Cemento: S1 (0.1,0.2,0.3)- S2 (0.03,0.1,0.2).

Trabajabilidad: Tabla de flujo a 110%

Equipo Utilizado: Richel Testing Machines, 300.000lb.

TABLA 4. Resistencia a la Compresión Axial. Serie 1 y Serie 2.

B/C	MUESTRA	RESISTENCIA COMPRESION AXIAL			
		SERIE 1		SERIE 2	
		7 días kg/cm ²	28 días kg/cm ²	7 días kg/cm ²	28 días kg/cm ²
PATRON	1	189.35	304.7	189.35	304.7
	2	191.99	276.5	191.99	276.5
	3	196.83	273.0	196.83	273.0
	MEDIA	192.73	284.7	192.73	284.7
	DESV. STAN.	3.792	17.37	3.792	17.37
0.03	1			140.9	196.8
	2			143.1	227.2
	3			137.4	231.2
	MEDIA			140.5	218.4
	DESV. STAN.			2.874	18.4
0.1	1	102.16	162.49	77.5	118.9
	2	105.24	169.53	78.4	121.1
	3	104.36	153.24	74.8	115.4
	MEDIA	103.92	161.75	76.9	118.4
	DESV. STAN.	1.586	8.169	1.87	2.874
0.2	1	47.12	73.54	40.0	57.7
	2	45.79	72.22	39.2	53.3
	3	39.63	74.86	38.7	53.3
	MEDIA	44.18	73.54	39.3	54.7
	DESV. STAN.	3.996	1.32	0.65	2.54
0.3	1	24.66	39.63		
	2	25.10	37.87		
	3	24.66	39.63		
	MEDIA	24.81	39.04		
	DESV. STAN.	0.254	1.016		

Los resultados de las pruebas a Compresión Axial, para la primera segunda serie, se muestran en la Tabla 4.

En la Figura 2. se muestra la relación entre la resistencia del mortero no reforzado y los morteros con diferentes dosis de refuerzo; la resistencia decrece considerablemente con el aumento en la cantidad de fibra.

Se define el límite máximo de refuerzo, en morteros corrientes sin aditivos que cumplan la función de

matriz en muros estructurales, como B/C: 0.1.

La resistencia última a compresión de los diferentes compuestos, es mas baja que la del compuesto no reforzado y decrece considerablemente con el aumento en la proporción de fibra y con el aumento en la relación A/C. La reducción en la resistencia (R.R.) se expresa en la siguiente ecuación:

$$R.R. = 1 - [-3.5 * (B/C) + 0.93]$$

$$R^2: 0.94$$

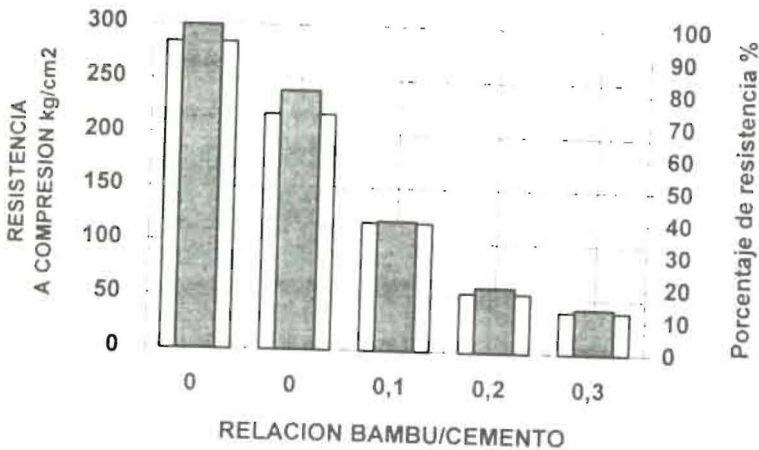


FIGURA 2. Reducción de resistencia con diferentes dosis de refuerzo, comparadas con la muestra patrón.

Del Análisis de Varianza (Anova) se observa que hay diferencia significativa entre la resistencia de los dos compuestos, los no reforzados y los reforzados con distintas dosis de fibra. Las pruebas de Duncan indican que dichas diferencias se presentan entre la resistencia a los distintos tiempos de prueba.

RESISTENCIA A LA FLEXION ESTATICA

Norma ASTM: C1116-89; C1018-89; C78-84.

Probetas: Viquetas 5*5*21 cm.

Sistema de Curado: Cámara húmeda (22°C y humedad relativa entre 95 y 100%).

Tiempo Curado, días: 7-28

Dosificación mezcla: 1:3

Refuerzo

Bambú/Cemento: 0.03, 0.1, 0.2

Carga, Kg/m³: 15, 50, 100

C.H. Bambú: 100% al momento de preparar la mezcla.

Trabajabilidad: Tabla de flujo a 110%.

El equipo es accionado de tal forma que la deflexión del espécimen, en el punto medio se incrementa a una rata constante. Las viquetas se cargaron a 7 y 28 días con una carga puntual al centro de la luz libre y se apoyaron en apoyos

simples.

Los datos numéricos de cada prueba son graficados, en la curva carga/deflexión y presentados en la Figura 3. para 7 días de curado.

Curva Carga-Deflexión. Al mantenerse constante la geometría de los especímenes y el sistema de carga, los cambios observados en la curva carga-deflexión son atribuidos a las variaciones en la composición.

Las curvas para B/C: 0.03 y 0.1 son muy uniformes y casi conservan la misma pendiente a través de todo el ensayo. Las probetas con relación B/C:0.2 presentan un comportamiento mas irregular y son las que menos carga resisten.

A los 28 días, la mayor resistencia se da en la relación B/C: 0.03 duplicando la capacidad de carga.

La resistencia del mortero a la flexión simple, se conoce como Módulo de Rotura y se representa como fr. Se determina en vigas prismáticas simplemente apoyadas, sujeta a dos cargas puntuales, aplicadas en los tercios de la luz.

Este ensayo proporciona una medida de la resistencia a la tracción debida a la flexión.

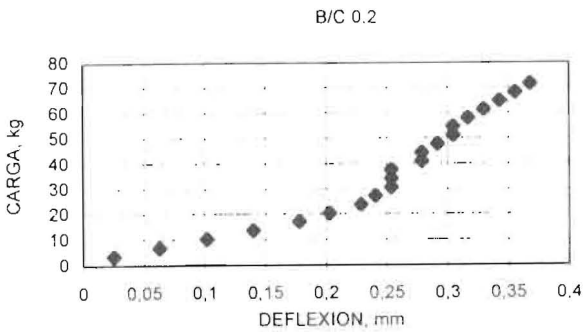
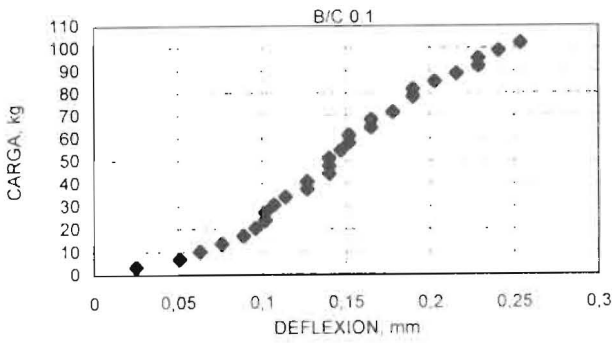
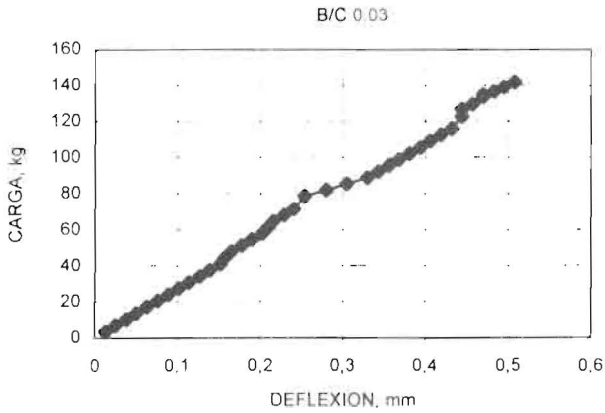


FIGURA 3. Curvas de Carga & Deflexión a siete días de curado y tres dosis de refuerzo.

Los datos indican que la relación entre la resistencia a la compresión y el módulo de rotura es de 2.5 y 2.0 para los morteros reforzados con B/C: 0.003 y 0.1 respectivamente. La Tabla 5 presenta los valores del

Módulo de rotura en morteros con diferentes dosis de refuerzo y la relación entre el módulo de rotura y la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión axial y la Figura 4. muestra la representación gráfica.

TABLA 5. Relación entre la Resistencia a la Compresión Axial y el Módulo de Rotura.

B/C		COMPRESION AXIAL kg/cm ²		MODULO ROTURA kg/cm ²		MR/ (f _c) ^{0.5}	
CURADO	(Días)	7	28	7	28	7	28
0.03	1	140.9	190.8	18.15	37.5	1.53	2.6
	2	143.1	227.2	18.32		1.53	
	3	137.4	231.2	17.88	41.13	1.53	2.7
MEDIA		140.5	218.4	18.11	39.31	1.53	2.65
DESV.STAN.		2.874	18.81	0.221	2.566	0.0	0.07
0.1	1	77.5	118.9	13.09	25.4	1.63	2.33
	2	78.4	121.1	14.4	20.6	1.49	1.41
	3	74.8	115.4	12.21	24.2	1.41	2.25
MEDIA							
DESV.STAN.		76.9	118.4	13.23	23.4	1.51	1.99
		1.87	2.874	1.102	2.49	0.11	0.50
0.2	1	40.0	57.7	9.16		1.45	
	2	39.2	53.3	8.72	10.8	1.4	1.43
	3	39.7	53.3	9.16		1.47	
MEDIA		39.3	54.7	9.01		1.44	
DESV.STAN.		0.655	2.54	0.25		0.036	

$R = Pl / bd^2$ Si la fractura ocurre en el tercio medio.

R: Módulo de Rotura, psi ó MPa

P: Máxima carga aplicada, indicada por la máquina, lbf ó N

l: Longitud de la probeta, in ó mm

b: Ancho promedio, in ó mm

d: Espesor promedio, in ó mm

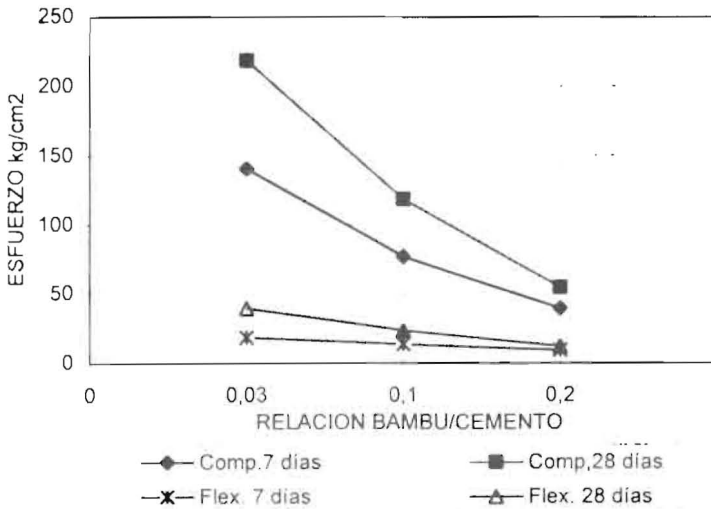


FIGURA 4. Reducción de resistencia a compresión y a flexión a dos edades de prueba y con tres dosis de refuerzo.

Del Análisis de Varianza (Anova) se observa que hay diferencia significativa entre el Módulo de Rotura de los compuestos reforzados con distintas dosis de fibra; así mismo hay diferencia significativa entre la resistencia a las dos edades de prueba. Las curvas de resistencia Vs tiempo, tanto en compresión como en rotura, confirman la apreciación cualitativa preliminar de que a mayor cantidad de refuerzo, mayor será el tiempo de fraguado.

RESISTENCIA AL IMPACTO

La prueba de resistencia al Impacto, se realizó en losetas de 15.2 * 15.2 * 2.7 cm. en probetas control y con la relación B/C: 0.1, el contenido de humedad de la fibra de refuerzo fue del 100%; el peso del balón 431 gramos, la luz libre de 10 cm.

La prueba se realiza para determinar la resistencia al impacto que tiene el material a los daños que

ocurren en la vida de servicio. El refuerzo del mortero con una relación B/C de 0.1 incrementa la capacidad para resistir cargas de impacto en un 15%.

ENCOGIMIENTO POR SECADO AL AIRE

El encogimiento por Secado al Aire se midió en barras, secadas al aire, con humedad relativa del 50% siguiendo la Norma ASTM C-596-89; el contenido de humedad de la

fibra de refuerzo fue del 100% y se tomaron datos a 3, 10 y 17 días.

El compuesto reforzado presenta un encogimiento superior, no proporcional con el tiempo, al mortero sin reforzar. A los 3 días es el 2.3% mayor, a los 10 días el 7.25% y a los 17 días el 10%. Del Análisis de Varianza (Anova) se observa que hay diferencia significativa entre la probeta reforzada y la control.

TABLA 6. Valores registrados de Encogimiento por Secado.

Muestra	Encogimiento %			
	Tiempo (Días)	3	10	17
Patrón				
1		0.24	0.31	0.34
2		0.25	0.33	0.33
3		0.25	0.31	0.33
Media		0.247	0.317	0.333
Desv. Stand.		0.0057	0.011	0.005
Dosificación 1:3 B/C 0,1				
1		0.28	0.34	0.37
2		0.25	0.34	0.36
3		0.24	0.34	0.36
Media		0.253	0.34	0.363
Desv. Stand.		0.015	0.0	0.005

ABSORCION VOLUMETRICA

Las pruebas de absorción volumétrica se realizaron basados en la Norma ASTM C-459-63, (el contenido de humedad de la fibra de refuerzo fue del 100%) sumergiendo en agua por 24 horas los

especímenes después de haber permanecido por 90 días en curado en la cámara húmeda. La absorción de humedad es el incremento en peso de cada probeta, expresada como porcentaje de su peso seco, después de la inmersión.

TABLA 7. Valores registrados de Absorción Volumétrica.

MUESTRA	ABSORCION %	
	Patrón	Reforzada
1	13.2	13.1
2	10.8	13.1
3	10.5	12.7
Media	11.50	12.96
Desv. Stand.	1.41	0.23
Porcentaje de diferencia	12.747 %	

Del Análisis de Varianza (Anova) se observa que hay diferencia significativa de la absorción volumétrica entre el mortero reforzado con una relación B/C de 0.1 en relación con la probeta control. La relación en porcentaje es del es de 12.75%

Para las pruebas físicas de Encogimiento por secado al aire y Absorción Volumétrica, el análisis

estadístico indica que existe diferencia significativa entre el mortero simple y el reforzado con B/C:0.1.

CONCLUSIONES

Para un uso específico, con la resistencia requerida y la ecuación de reducción de resistencia (R.R.), se puede determinar la relación B/C mas adecuada para la mezcla.

En términos generales, al reducir la relación B/C, manteniendo constante la dosificación, se mejora ostensiblemente la resistencia mecánica y las propiedades físicas de absorción de humedad y contracciones por secado. Se debe mantener la relación A/C lo más baja posible (0.4 ó 0.5), ya que la humedad que contiene la fibra en el punto de saturación de fibra, la entrega lentamente al compuesto

AGRADECIMIENTOS

Al Proyecto Nacional del Bambú, PNB, en Costa Rica, por la financiación del Proyecto.

A la Arquitecta Ana Cecilia Chaves de Soto y al Ingeniero Guillermo González T. Directora General y Director de Investigación y Desarrollo, respectivamente, por el constante interés y colaboración durante la ejecución del trabajo.

A todo el personal Técnico y de apoyo del PNB.

Al personal técnico y de apoyo del Laboratorio de Construcciones Rurales de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, por la realización de las pruebas físicas y ensayos complementarios.

BIBLIOGRAFIA

ACCION, F; GOBANTES, J. and BLANCO, M.T. Cements reinforced by acrylic fibers. *Infrere Studies. En: Cement and Concrete Research. Vol. 20, No. 5 (1990); p. 702-710.*

ACI-544,3R-84: guide for specifying mixing placing and finishing steel fiber reinforced concrete. *En: Concrete International ACI. Vol 7, No. 3 (1985). p.120.*

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Annual book of ASTM standards USA. New York: ASTM, 1986-1992.

ASTM C 1116-89 y ASTM C 1018-89. Standard specification for fiber-reinforced concrete and shotcrete standard test method for flexural toughness and first-crack strength of fiber-reinforced concrete.

ESCALANTE, C., Monica. Estudio anatómico de los culmos de cuatro especies de bambú asiático en Costa Rica. Costa Rica, 1987. 120p. Tesis (Ingeniero Agrónomo). Universidad de Costa Rica. Escuela de Agronomía.

FIBRE CONCRETE. Roofing (FRC) o Micro Concrete Roofing (MRF). *En*: Ras Technical Bulletin. No 3, Suiza, January 1994.

ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL. Producción de paneles a partir de residuos agrícolas. Informe de la reunión del Grupo de Expertos. Viena: ONUDI, 1972.

GLOSARIO

Bambú. Gramínea gigante perenne.

Culmo. Tallo aéreo del bambú.

Deflexión. Es la deformación que provoca la flexión.

Densidad. Peso por unidad de volumen de un material. ASTM. C472.

Deflexión a la primera grieta. El valor de la deflexión sobre la curva carga-deformación a la primera grieta.

Ductilidad. Cuantificación de la energía (toughness).

Energía (toughness). La energía absorbida por un espécimen durante la carga, equivalente al área bajo la curva carga-deformación hasta una deflexión especificada.

Energía (toughness) a la primera grieta. La energía equivalente al área bajo la curva carga-deformación hasta la deflexión a la primera grieta.

Entrenado. Sección del culmo comprendida entre dos nudos consecutivos.

Esclerénquima. Tejido de soporte, constituido por células muertas, alargadas, de paredes gruesas y completamente lignificadas, le confieren la resistencia mecánica. Fibras propiamente dichas.

Esfuerzo. Es la resistencia que opone un cuerpo a ser deformado.

Esfuerzo Unitario. Es el esfuerzo por unidad de área.

Factor de resistencia residual $R_{5,10}$. El número obtenido al multiplicar $20(I_{10}-I_5)$.

Factor de resistencia residual $R_{10,20}$. El número obtenido al multiplicar $10(I_{20}-I_{10})$.

Floema. El tejido principal conductor de alimento de una planta vascular.

Guadua angustifolia. Una de las 1300 especies de bambú, originaria de América.

Indices de energía. El número obtenido al dividir el área hasta una deflexión especificada por el área a la primera grieta.

Índice de energía I_5 . El número obtenido al dividir el área hasta una deflexión de 3.0 veces la deflexión a la primera grieta por el área hasta la primera grieta.

Índice de energía I_{10} . El número obtenido al dividir el área hasta una deflexión de 5.5 veces la deflexión a la primera grieta por el área hasta la primera grieta.

Índice de energía I_{20} . El número obtenido al dividir el área hasta una deflexión de 10.5 veces la deflexión a la primera grieta por el área hasta la primera grieta.

Nudo. Parte prominente de los culmos, donde se inserta la hoja caulinar, se forma la yema y se encuentra el tabique que secciona el tallo.

Parénquima. Tejido fundamental, constituido por células vivas con membranas delgadas, no lignificadas. Puede tener función de asimilación y almacenaje.

Permeabilidad. La propiedad de un material poroso, que permite que un fluido o un gas pase a través suyo. ASTM. E96

Primera grieta. El punto de la curva carga-deformación en el cual la forma de la curva se convierte en no lineal....

Resistencia a la primera grieta. La resistencia obtenida cuando la carga correspondiente a la primera grieta, es insertada en la fórmula para el Módulo de Rotura dado en C78.

Xilema. Tejido principal conductor de agua en plantas vasculares, caracterizado por la presencia de elementos traqueales.

(Recibido: Agosto de 1996)

ANEXO 1. Cantidad de Materiales por metro cúbico de mortero reforzado con fibras.

DOSIFICACION	2000			1800			1600			1500		
	1:2	1:3	1:2	1:2	1:3	1:2	1:2	1:3	1:2	1:2	1:3	
0.03	Cemento	660.1	496.3	594.0	446.6	528.0	397.0	495.0	372.2			
	Arena	1320.1	1488.8	1.188.1	1339.9	1056.1	1191.0	990.1	1116.6			
	Bambú	19.8	14.9	17.8	13.4	15.8	11.9	14.8	11.2			
	% peso bambú	1.0	0.75	1.0	0.75	1.0	0.75	1.0	0.75			
0.1	Cemento	645.2	487.8	580.6	439.0	516.1	390.2	483.9	365.8			
	Arena	1290.3	1463.4	1161.3	1317.0	1.032.2	1170.7	967.7	1097.6			
	Bambú	64.5	48.8	58.1	43.9	51.6	39.0	48.4	36.6			
	% peso bambú	3.20	2.45	3.20	2.45	3.20	2.45	3.20	2.45			
0.2	Cemento	625.0	476.2	562.5	428.6	500.0	380.9	468.7	357.1			
	Arena	1250.0	1428.6	1125.0	1285.7	1000.0	1142.8	937n.5	1071.4			
	Bambú	125.0	95.2	112.5	85.7	100.0	76.2	93.7	71.4			
	% peso bambú	6.2	4.8	6.2	4.8	6.2	4.8	6.2	4.8			
Mortero Simple	Cemento	666.7	500	600	450	533.3	400	500	375			
	Sacos	13.3	10.0	12.0	9.0	10.6	8.0	10.0	7.5			
	Arena	1333.3	1500	1200	1350	1066.7	1200	1000	1125			