

# Uso de fibra de estopa de coco para mejorar las propiedades mecánicas del concreto

Sandra Liliana Quintero García\*,  
Luis Octavio González Salcedo\*\*

---

## Resumen

*Para la fibra de la estopa de coco (Cocus nucifera), obtenida como residuo de la industria alimenticia en el Valle del Cauca, se evaluaron sus propiedades físicas, químicas y mecánicas, para su correcta caracterización, así como propiedades físicas y mecánicas de morteros reforzados con volúmenes de fibra de estopa de coco de 0.5 y 1.5% y longitudes de 2 y 5 cm. Se presentan los resultados obtenidos en los compuestos, los cuales fueron probados a compresión axial, tracción indirecta y flexión, y en los cuales la incorporación de fibras disminuyó en todos los casos la deformación máxima; con resultados concordantes con observaciones de experimentos realizados con anterioridad y bibliografía consultada, donde se corrobora que los refuerzos de fibra mejoran de varias maneras la tenacidad de la matriz del compuesto.*

**Palabras claves:** Concreto fibrorreforzado, estopa de coco, fibra de bonote, material compuesto.

## Abstrac

*For the fiber of the coconut tow (Cocus nucifera) obtained as residual of the nutritious industry in Valle del Cauca Department, their physical, chemical and mechanical properties were evaluated, for their correct characterization, as well as physical and mechanical properties of mortars reinforced with volumes of fiber of tow of coconut of 0.5% and 1.5% and longitudes of 2 and 5 cm. The results obtained in the compounds are presented, which were proven to axial compression, indirect traction and flexion; and in which the incorporation of fibers diminished in all the cases the maximum deformation; with concordant results with observations of experiments carried out*

Fecha de recepción: 2 de agosto de 2005  
Fecha de aceptación: 27 de abril de 2006

---

\* Ingeniera Agroindustrial, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. [slquinterog@palmira.unal.edu.co](mailto:slquinterog@palmira.unal.edu.co)

\*\* Ingeniero Civil, MSc. Civil Engineering. Profesor Asistente, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. [octavilento@yahoo.es](mailto:octavilento@yahoo.es), [logonzalezsa@unal.edu.co](mailto:logonzalezsa@unal.edu.co)

Dirección: Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, carrera 32, Chapinero vía Candelaria, Palmira, Valle del Cauca (Colombia).

*previously and consulted bibliography, where it is corroborated that the fiber reinforcements improve in several ways the tenacity of the matrix of the compound.*

**Key words:** Fiber reinforced concrete; coconut tow; bonote fiber; compound material.

---

## INTRODUCCIÓN

El coco está constituido por una parte blanda interior y un líquido, a los cuales se les realizan procesos industriales para la obtención de grasas, aceites comestibles, confites y copra; sin embargo, también está constituido por la estopa o mesocarpio, que se encuentra entre el exocarpio duro o cubierta externa, y el endocarpio o envoltura dura, que encierra la semilla; el valor de ésta estriba en su contenido de fibra (fibra bonote), de la cual se pueden distinguir tres tipos principales: una larga y fina, una tosca y una más corta, material que se puede convertir en una alternativa de utilización de materia prima fibrosa como agregado liviano, en la industria del concreto aligerado, con un doble fin: disminuir el peso de las estructuras y proporcionar un grado aceptable de resistencia [2], [3], [4], [5], [6].

Los parámetros que describen una fibra son su longitud, su diámetro y su aspecto o esbeltez, que es la relación existente entre la longitud y el diámetro. Según su origen, las fibras pueden ser clasificadas en sintéticas y naturales. Entre las sintéticas o hechas por el hombre se encuentran los polímeros naturales (fibras de celulosa, de éster, de proteínas y misceláneas) y los polímeros sintéticos por su parte, las naturales son de origen vegetal (fibras de madera, hojas, semillas, hierba), de origen animal (lana y pelo, seda y otros filamentos) y de origen mineral (fibras de asbesto); todas ellas tienen diversas formas: redondas, rectangulares, dentadas, rizadas, con extremos en gancho, en malla o agrupadas por encolamiento [2].

Las fibras vegetales están constituidas por ligamentos fibrosos, que a su vez se componen de microfibrillas dispuestas en capas de diferentes espesores y ángulos de orientación, las cuales son ricas en celulosa. Las diversas células que componen una fibra se encuentran aglomeradas por la mela intercelular, compuesta por hemicelulosa, peptina y principalmente lignina. La región central de la fibra también puede presentar una cavidad denominada lacuna. Las lacunas y los lúmenes son responsables de la gran incidencia de poros permeables en las fibras, ya que absorben una elevada cantidad de agua, como lo menciona Agopyan y Savastano [7].

Investigaciones con fibras vegetales dentro de matrices cementicias han sido realizadas en Colombia por el Grupo de Investigación sobre el Fique, del Departamento de Materiales de Ingeniería de la Universidad del Valle, durante varios años y con el financiamiento de Colciencias y el Fondo de Fomento Agropecuario del Ministerio de Agricultura, grupo que ha desarrollado procesos para su aplicación como material de fibro – refuerzo en la fabricación de tejas [8]. De igual manera, investigadores a nivel mundial han enfatizado el uso de fibras naturales como material de refuerzo en estructuras compuestas, cuyos resultados han sido presentados en diversos congresos y simposios internacionales (realizados en Badén, Bagdad y Bahía) [2], [9], [10].

La fibra de estopa de coco, también llamada fibra bonote, se puede clasificar en 3 tipos principales: una más larga y fina que se conoce con el nombre de fibra de esteras o hilo; una más tosca, que se conoce con el nombre de fibra de cerda, y una fibra más corta, conocida con el nombre de fibra para colchones [6]. En comparación con otras fibras duras, la del bonote es relativamente corta, sus células fibrosas miden alrededor de 1 mm de longitud, en vez de un promedio de 2.5 mm en el caso de células de sisal, y 4.9 mm en las de abacá; las células de bonote tienen un diámetro medio de 15 micras, y un haz de fibras puede tener de 30 a 300 o más células en su sección transversal total. La fibra cortada de bonote varía entre 15 y 35 cm, en vez de promedios de 110 cm como en el caso del henequén, 140 cm el sisal y 240 cm el abacá. Su diámetro varía de 0,1–1,5 mm frente a 0,2–1 mm que tiene el abacá. La fibra de bonote tiene una capacidad de estiramiento de 29.04%, con un módulo de rigidez de 1.8924 dinas/cm<sup>2</sup> [2].

Es importante la facultad que tiene el bonote de estirarse más allá de su límite elástico sin romperse, así como su capacidad de absorber un estiramiento permanente cuando soporta esta carga; aunque la resistencia a la tracción de la fibra de bonote seca es baja en comparación con la de sisal o abacá, disminuye mucho menos por inmersión en agua. Después de 4 meses de inmersión, el bonote pierde solamente 35–45% de su resistencia. Se afirma que su flotabilidad extrema y su resistencia a la acción de bacterias y agua salada son únicas. Es, además, una fibra económica. El rendimiento de fibra obtenido varía según el tamaño de los cocos, la madurez, la variedad y el método de preparación, pero para cálculos generales puede considerarse un promedio de 130 Kg de fibra por 1.000 cáscaras. En una cáscara típica hay casi unas tres veces más de fibra corta que de fibra larga [2], [11].

La capacidad de refuerzo de una fibra depende del grado en que los esfuerzos pueden serle transferidos desde la matriz, grado que a su vez está regido por las características intrínsecas de la fibra, como: resistencia a la tensión más resistente que la matriz; capacidad de resistir deformaciones muy superiores a la deformación en que la matriz se agrieta; módulo de elasticidad alto para aumentar el esfuerzo que soporten en un elemento bajo carga, siempre y cuando las fibras y la matriz se conserven totalmente adheridas; adherencia adecuada con la pasta de cemento; relación de Poisson menor que la de la matriz para aumentar fricción de adherencia; y relación longitud / diámetro adecuada para que conserve su capacidad de absorción de esfuerzos [12], [13].

Naaman y Castro realizaron estudios con fibra de maguey, con importantes propiedades mecánicas, pero observaron una reducción en la manejabilidad de la mezcla al adicionar las fibras, y contenidos altos de agua y / o superplastificantes fueron necesarios para alcanzar condiciones normales de mezclado [12]. A su vez, la matriz reforzada con fibras naturales puede alcanzar una buena resistencia bajo condiciones ambientales normales, sin embargo, son sensibles a los efectos de la humedad; el humedecimiento del compuesto tiene efectos importantes en la resistencia flexural, que cae vertiginosamente después de que éste se presenta. El humedecimiento conduce a un aumento hacia la tendencia a la falla por estiramiento, antes que a la falla por fractura de la fibra. Esta es la causa por la que con un incremento en el porcentaje de fibra se reduce la gravedad específica y crecen la absorción de agua y los movimientos de humedad [2]. El contenido de fibra tiene un efecto importante en la gravedad específica, absorción de agua y movimientos de humedad, y se observa que con un incremento en el porcentaje de fibra se reduce la gravedad específica y crecen la absorción de agua y los movimientos de humedad, tal como lo expresan Marikunte *et al.* [12]. De acuerdo con Delvasto [7], los materiales cementicios reforzados con fibras vegetales pueden presentar los siguientes problemas: alta alcalinidad de la pasta (pH 12 – 13), que deteriora con el tiempo las fibras naturales celulósicas por lixiviación de los componentes ligantes de las celdas de su microestructura; mineralización en el interior de las fibras por precipitación de los productos de hidratación del cemento; deterioro de la fibra por aumento de la densificación de la interfase, y degradación de las propias cadenas de celulosa con el tiempo por ataque alcalino.

## METODOLOGÍA

Para la preparación de la matriz cementicia se utilizó cemento Portland Tipo 1, Norma Icontec 121 y 321, de proveedor local; arena mediana de río; grava de

canto rodado de río, tamaño máximo  $\frac{3}{4}$  pulgadas; agua potable para consumo humano; cal para blanquear, de proveedor local. Se usaron fibras extraídas de estopa proporcionada por 3 empresas procesadoras de coco, ubicadas en la ciudad de Santiago de Cali; en total se contó con tres lugares de origen del coco: San Juan, en el municipio de Tumaco (variedad Manila), Timbiquí, en el departamento del Cauca (variedad Manila), y Puerto Saija, en el municipio de Buenaventura (variedad Típica); la fibra se extrajo en seco, utilizando un esmeril provisto de un cepillo, el cual arrojaba la fibra limpia (figura 1).



**Figura 1.** Esmeril utilizado para la extracción de la fibra

Se elaboraron cinco tipos de mezclas de concreto, y se consideraron como variables la longitud de fibra y el porcentaje de adición de fibra. Se trabajó con dos longitudes de fibra, con las que se realizaron dos cantidades de adición de fibra al concreto. Para todas las mezclas se trabajó con una misma matriz de concreto; el cuadro 1 muestra los tipos de mezclas que se realizaron.

**Cuadro 1**

Tipos de mezclas realizadas y nomenclatura utilizada para su identificación

Mezcla N°	Longitud de la fibra (cm)	Volumen de la fibra (%)
M1	0	0
M2	L2	V0.5
M3	L2	V1.5
M4	L5	V0.5
M5	L5	V1.5

Con cada tipo de mezcla se elaboraron dos tipos de especímenes: cilindros y vigas, y con base en éstos se evaluaron las diferentes propiedades. Se elaboraron 16 probetas cilíndricas, de tamaño estándar 6" por 12", (15.24 cm por 30.48 cm, relación diámetro : altura 1:2); 63 probetas cilíndricas de tamaño 3" por 6", (7.62 cm por 15.24 cm, relación diámetro : altura 1:2); 17 vigas de 3" (7.62 cm) de alto, 12" (30.48 cm) de largo y 3" (7.62 cm) de ancho. La figura 2 muestra los moldes para los cilindros (usando tubería PVC) y para las vigas (moldes de madera).



**Figura 2.** Moldes empleados para fundir los diferentes especímenes

Conociendo el volumen total de la mezcla, se realizó el cálculo de la cantidad de fibra que se debía cortar, determinando el volumen que se iba a trabajar en cada tipo de mezcla, y considerando desperdicios, se determinó cortar 750 g de fibra por cada longitud seleccionada. Una vez obtenida la cantidad de fibra que se debía trabajar, se procedió al tratamiento con cal; este tratamiento consiste en sumergir la fibra en una lechada de cal (10 g por litro de agua) durante un período de 48 horas; al cabo de este tiempo la fibra se enjuaga repetidas veces con abundante agua. El tratamiento con solución de cal limpia la fibra tanto de impurezas provenientes del fruto durante su pelado (aceite, agua, pulpa, etc.) como durante su confinamiento (mugre, polvo, etc.) y del ataque microbiológico por parte de hongos y levaduras. Además protege la fibra del deterioro debido a la alta alcalinidad de la pasta de cemento y mejora la adherencia, ya que le confiere cierta aspereza. El cuadro 2 muestra el diseño y la dosificación en peso de la mezcla que se iba a trabajar [13], [14].



Una vez pesados los materiales se procedió a elaborar los diferentes tipos de mezcla. La fluidez de la mezcla se determinó por su manejabilidad. Las mezclas con fibra, contrario a lo que se piensa, no necesitaron la incorporación de volúmenes adicionales de agua, debido a que se trabajaron saturadas (en agua desde el día anterior). Al principio el cemento, la arena y la grava se mezclaron con el agua y de último se incorporaba la fibra, pero ésta tendía a agruparse o formar grumos, los cuales se debían deshacer con la mano. A fin de evitar esto, se procedió a mezclar los ingredientes en seco (cemento, arena y grava) con la fibra, lanzando la mezcla hacia arriba para deshacer los grumos; una vez echo esto, se le incorporaba el agua. Dicho procedimiento permitió una mayor dispersión de la fibra en la mezcla. El llenado de los moldes se efectúa en tres capas, cada una apisonada por 25 golpes, por último se golpea otras 25 veces, pero ya a los lados del molde. La figura 3 muestra los especímenes ya fundidos.

### Cuadro 2

Cantidad de materiales necesarios para el diseño y dosificación del concreto a evaluar<sup>1</sup>

Componentes	Dosificación por partes 1:4:8 Resistencia 1.100 psi (7.7 MPa)	Dosificación por peso (Kg)
Cemento	160 Kg / m <sup>3</sup>	27.68
Grava	1.025 m <sup>3</sup>	407.85
Arena	0.515 m <sup>3</sup>	147
Agua	180	31.14

Todas las muestras, cilíndricas y vigas, permanecieron sumergidas en un tanque con agua, por espacio de dos días; seguidamente se procedió a desmoldar y a continuar con el curado, hasta cumplir con la edad de ensayo requerida para las diferentes pruebas. Con base en ello, las muestras cilíndricas para ensayos de compresión, probetas de 3" por 6", se curaron hasta las edades de 6, 10, 14 y 28 días, tanto las testigo como las con fibra. Los cilindros de 6" por 12" para ensayos a tracción indirecta y las vigas para ensayos de flexión se curaron hasta la edad de 28 días [13]. Las muestras fueron evaluadas, y se realizaron los siguientes ensayos: determinación del peso unitario; pruebas

<sup>1</sup>Basado en [1], [2].

de resistencia mecánica como resistencia a la compresión, tracción indirecta, y resistencia a la flexión.



Figura 3. Especímenes fundidos

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Peso unitario

Se observó que el tipo de mezcla con menor peso unitario (en  $\text{kN}/\text{m}^3$ ) fue la M3, con un valor de 24.9, la cual a su vez presentó un menor peso con respecto a la testigo M1 (25.53); en el resto de las mezclas, M2, M4, M5, no se presentó mayor variación en comparación con el peso de la testigo. Se observó además que para mezclas con volumen de fibra 0.5% M2 y M4, el peso no se vio afectado. Aunque se podría pensar en un aligeramiento mayor en mezclas con alto volúmenes de fibra, debido a que al evaporarse el agua puede quedar un mayor número de poros que puedan aligerar el material, el peso de la mezcla con volumen 1.5% y longitud 2 cm, M5, no se vio afectado. En general, según los resultados reportados, y el análisis estadístico, no se presentan diferencias significativas en cuanto al peso unitario entre los diferentes tipos de mezclas (figura 4).



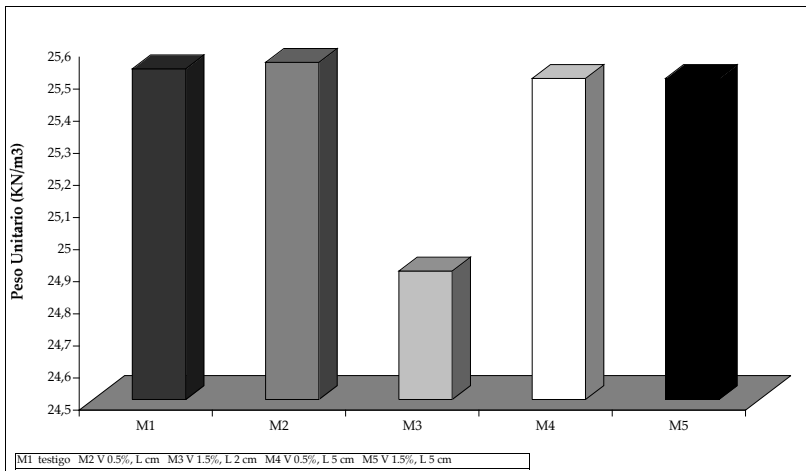


Figura 4. Peso unitario en los distintos tipos de mezclas

### Resistencia a la compresión

Se observó que M4 tuvo un ascenso de resistencia hasta los 14 días, y disminuyó considerablemente a los 28 días. Por su parte, M3 y M5 presentaron un aumento de la resistencia en el tiempo proporcional. Sin embargo, M5 presentó mayores valores de resistencia a edades tempranas en comparación con los demás tipos de mezcla. En general, las mezclas con un mayor volumen de adición 1.5% presentaron un avance de resistencia a la compresión en el tiempo más uniforme que las de 0.5%, e incluso la testigo (figura 5).

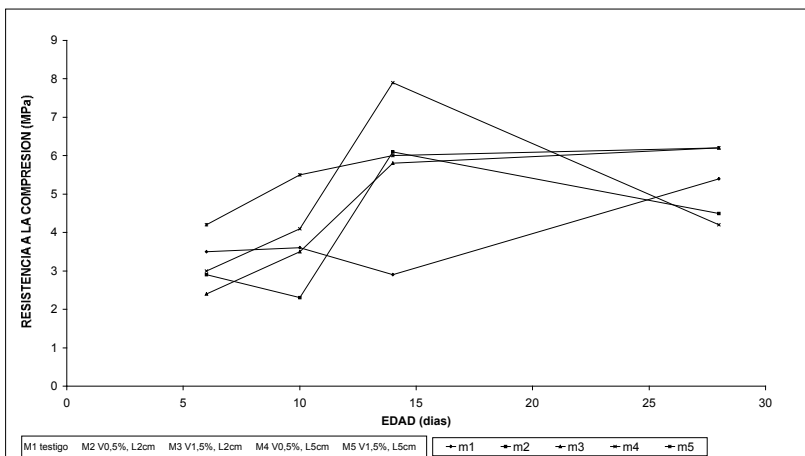
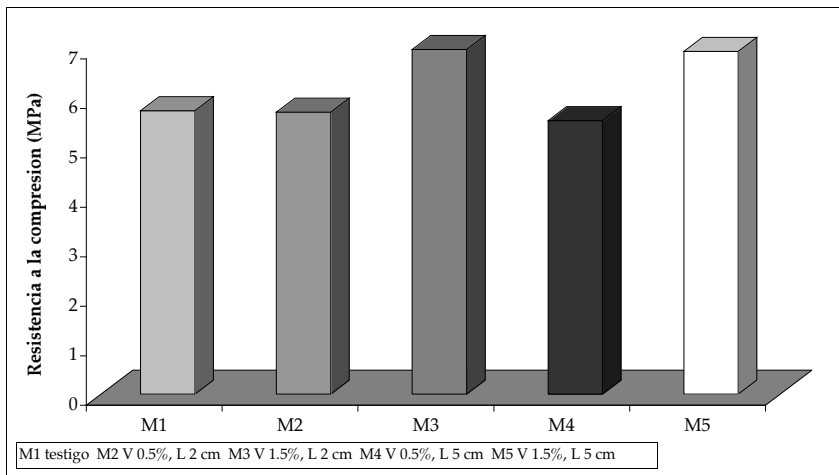


Figura 5. Comportamiento en el tiempo de los distintos tipos de mezcla. Resistencia a la compresión

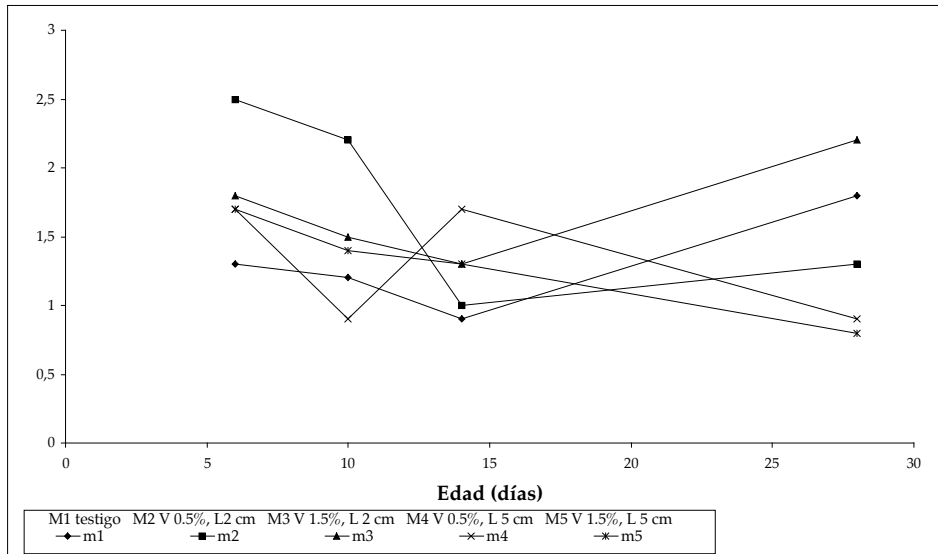
Las únicas mezclas que presentaron resistencia a la compresión a los 28 días mayor que el concreto simple fueron la M3 y M5, que contenían fibra de 2 y 5 cm de longitud respectivamente, pero con una cantidad elevada de fibra 1.5%. De otra parte, la inclusión de fibra de estopa en una cantidad igual a 0.5% no parece afectar significativamente al concreto, y se presentó incluso una ligera disminución para 5 cm. Al ensayar especímenes con fibra se observó que al inicio se debía superar un rango de carga para que comenzara a presentarse deformación y que en muchas ocasiones al aplicar carga la deformación se mantenía constante, lo cual se debe a la transferencia de carga de la matriz a las fibras (figura 6).



**Figura 6.** Resistencia a la compresión a los 28 días en los distintos tipos de mezcla

Se observó que M1, M2 y M3 disminuyeron su deformación a los 14 días y aumentaron posteriormente a los 28 días. La M4 presentó un comportamiento irregular, pues disminuyó a los 10 días, aumentó a los 14 y volvió a disminuir a los 28 días. En general, M5 fue la mezcla que presentó una disminución de la deformación en el tiempo más uniforme. Exceptuando la mezcla testigo, M5 presentó las menores deformaciones a edades tempranas. Al relacionar el avance en el tiempo de la resistencia a la compresión, con respecto al avance de la deformación en el tiempo, se tiene que aunque M1 presentó una disminución de la resistencia a los 14 días, esto no significó un aumento de la deformación. Ni su posterior aumento de resistencia a los 28 días significó una disminución de la deformación, ya que ésta pasó de 0.9 a 1.8%. Por otra parte, aunque hubo una leve disminución de la resistencia M2 a los 10 días, la deformación no aumentó; sin embargo, el posterior aumento de la resistencia a los 14 días sí supuso una disminución de la deformación. Dicha relación

de proporcionalidad inversa se corrobora a los 28 días, tiempo en el cual la resistencia disminuye, pero la deformación aumenta en comparación con la de los 14 días (figura 7).



**Figura 7.** Comportamiento en el tiempo de los distintos tipos de mezcla.  
Deformación máxima

Se observó que la inclusión de fibra en la mezcla disminuye la deformación en todos los casos; sin embargo, en M4 y M5, cuya longitud de fibra fue de 5 cm, la deformación fue inferior en comparación con las mezclas de 2 cm. Aunque la disminución de la deformación se puede relacionar con el hecho de que la fibra no deja progresar la grieta y que permite una unión del material después de la falla, lo cual se creería mayor en longitudes superiores, es de vital importancia compararlo con la resistencia, debido a su proporcionalidad inversa (figura 8).

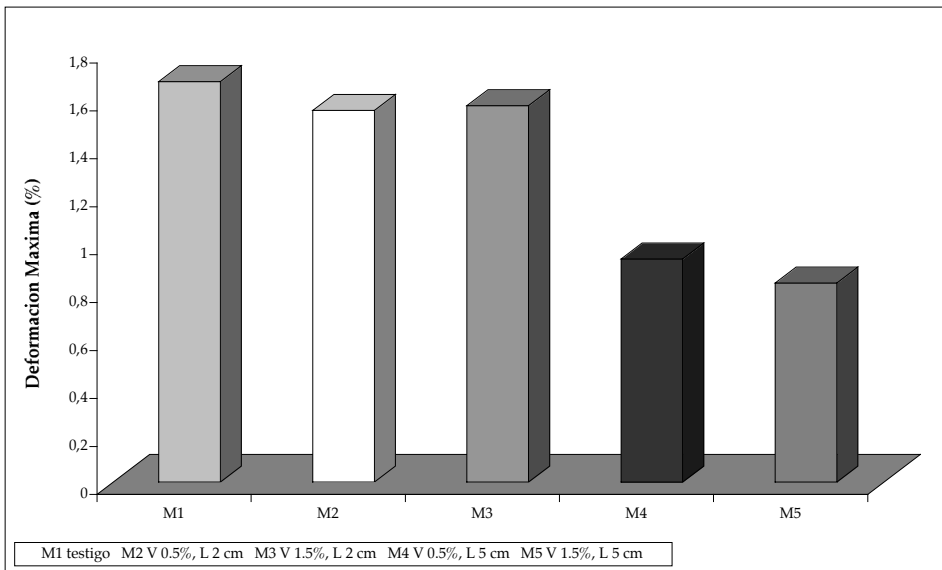


Figura 8. Deformación máxima a los 28 días en los distintos tipos de mezcla

### Tracción indirecta

En general, se presentaron valores muy bajos de tracción indirecta con respecto a los valores de la resistencia a la compresión. Dicho fenómeno se presta para pensar en no tener en cuenta esta propiedad en el diseño de estructuras convencionales. Pero en este caso tiene gran importancia para el análisis de la restricción de la contracción y la resistencia al corte inducida por la adición de la fibra. La figura 9 muestra el comportamiento a la tracción de los diferentes tipos de concreto. Se observó una mayor resistencia a la tracción indirecta con respecto al testigo y a los demás tipos de concreto en M4 (V 0.5%, L 5 cm). En el resto de mezclas se presentó un descenso en esta propiedad, siendo marcado en M2, 0.75 MPa. La adición de un mayor volumen de fibra no pareció favorecer el aumento de la tracción, al igual que fibra de menor longitud; se aprecia en la figura 10 un espécimen con fibra, ensayado a tracción indirecta.

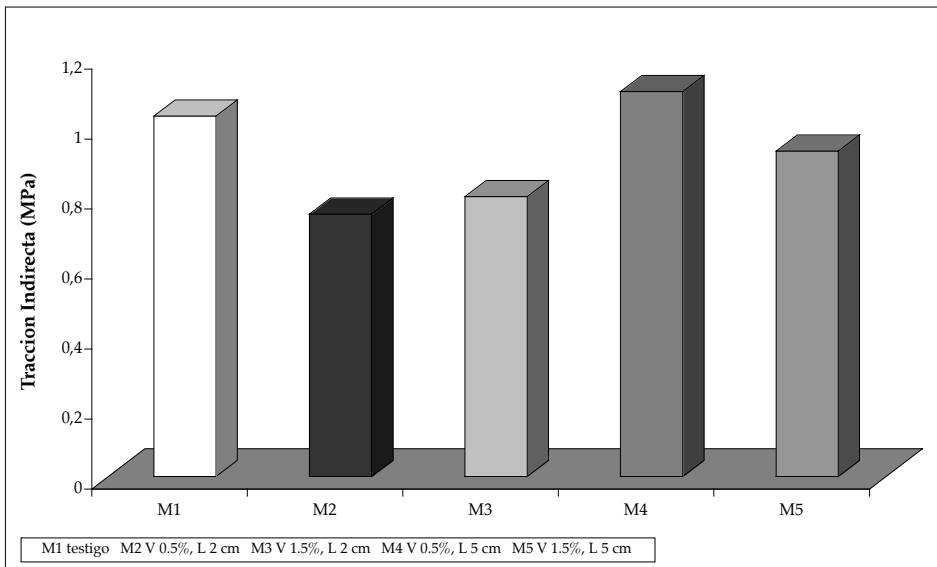


Figura 9. Tracción indirecta a los 28 días en los distintos tipos de mezcla



Figura 10. Especimen ensayado a tracción indirecta

### Resistencia a la flexión

Se observó que M2 y M5 presentaron valores de resistencia a la flexión inferiores, 2.1 MPa y 1.63 MPa, en comparación con la testigo (2.4 MPa), siendo el más bajo M5. Por su parte, M3 y M4 presentaron valores superiores de resistencia a la flexión con respecto a la testigo, con M4 superior (figura 11). Por otra

parte, el análisis estadístico arroja diferencias significativas entre longitudes y volúmenes de fibra. La figura 12 muestra que para el volumen de 0.5%, a medida que aumenta la longitud aumenta la resistencia; caso contrario ocurre para el volumen 1.5%, en el cual al aumentar la longitud ocurre un descenso en la resistencia. En general, el hecho de utilizar volúmenes bajos y longitudes altas M4 o, en su defecto, volúmenes altos y longitudes bajas M3, favorece la ductilidad del material.

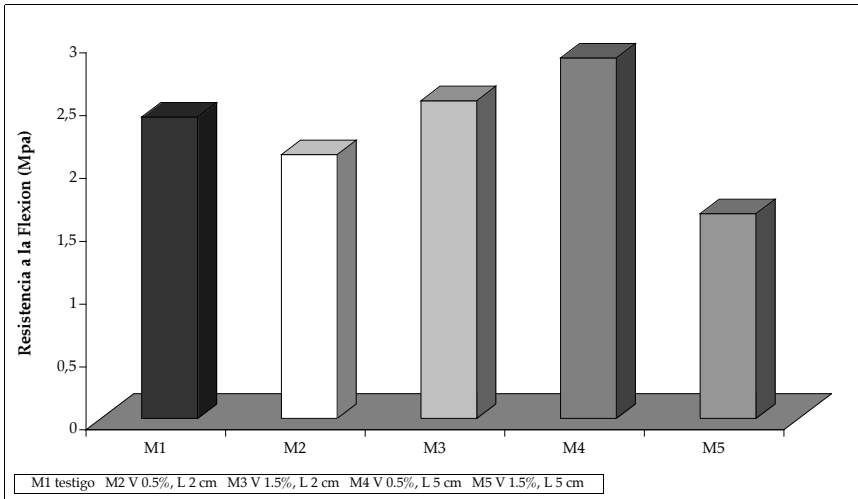


Figura 11. Resistencia a la flexión a los 28 días en los distintos tipos de mezcla

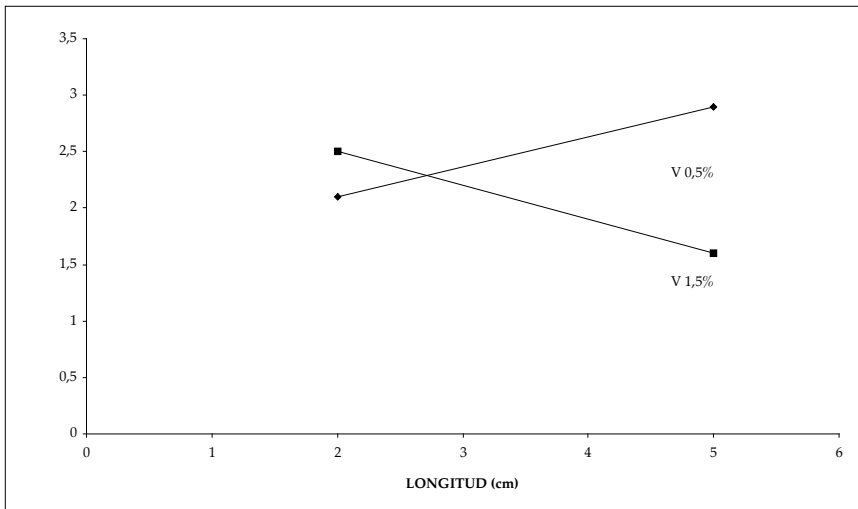


Figura 12. Interacción entre longitud y volumen. Resistencia a la flexión promedio vs. longitud de fibra



## Efecto de la fibra sobre el concreto

En la figura 13 se puede apreciar el efecto positivo de la incorporación de la fibra al concreto, ya que al momento de la falla el concreto se mantiene unido, de lo cual se deduce una buena adherencia de la fibra a la matriz; es el llamado fenómeno de puenteo que genera la fibra, el cual impide que la grieta progrese en el material. Según observaciones y bibliografía consultada, se corrobora que los refuerzos de fibra mejoran de varias maneras la tenacidad de la matriz, ya que una grieta que se mueva a través de la matriz encuentra una fibra; si la unión entre la matriz y la fibra no es buena, la grieta se ve obligada a propagarse alrededor de la fibra, a fin de continuar el proceso de fractura. Además, una mala unión ocasiona que la fibra empiece a separarse de la matriz; ambos procesos consumen energía, e incrementan, por lo tanto, la tenacidad a la fractura. Finalmente, al empezar la grieta en la matriz, fibras aún no rotas pueden formar un puente sobre la grieta, lo cual proporciona un esfuerzo compresivo que evita que la grieta se abra. En la figura 14 se muestran vigas ensayadas a flexión; la de la izquierda es la testigo y la de la derecha, la fibrorreforzada. Se puede observar cómo la testigo está totalmente partida en dos, mientras que en la fibrorreforzada la matriz se mantiene unida.



**Figura 13.** Probetas ensayadas a compresión



**Figura 14.** Viga testigo (izquierda) y con fibra, ensayadas a flexión

## CONCLUSIONES

Las más bajas deformaciones se obtuvieron en mezclas con longitud de fibra 5 cm, siendo inferior para un volumen de adición de 1.5%. La resistencia a la compresión más elevada se obtuvo con los compuestos reforzados con volumen de fibra 1.5%, siendo superior para la longitud 2 cm. La única mezcla que presentó resistencia a la tracción indirecta mayor que el concreto fue la que contenía fibra de 5 cm, en un volumen de 0.5%. La adición de fibra afectó positivamente la resistencia a la flexión; el mayor valor de resistencia a la flexión lo presentó el concreto de V0.5% y L5 cm.

Los resultados obtenidos fueron concordantes con observaciones de experimentos realizados con anterioridad y bibliografía consultada, en los que se corrobora que los refuerzos de fibra mejoran de varias maneras la tenacidad de la matriz, ya que una grieta que se mueva a través de la matriz encuentra una fibra; si la unión entre la matriz y la fibra no es buena, la grieta se ve obligada a propagarse alrededor de la fibra, a fin de continuar el proceso de fractura. Además, una mala unión ocasiona que la fibra empiece a separarse de la matriz. Ambos procesos consumen energía, e incrementan, por lo tanto, la tenacidad a la fractura. Finalmente, al iniciarse la grieta en la matriz, fibras aun no rotas pueden formar un puente sobre la grieta, lo cual proporciona un esfuerzo compresivo que evita que la grieta se abra.

De acuerdo con el efecto que sobre las propiedades mecánicas del concreto puede tener la adición de fibra de estopa, una aplicación adecuada de este tipo de compuesto (concreto - fibra de estopa) es la construcción principalmente de elementos sometidos a flexión (vigas y losas).

## REFERENCIAS

- [1] GONZÁLEZ S., L.O. y QUINTERO G., S.L. Evaluación del uso de la fibra de la estopa de coco, para el mejoramiento de las propiedades mecánicas del concreto. Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira. Palmira. 53p. En: Premio Internacional José Calavera 2004, sobre las tecnologías de las armaduras pasivas en el hormigón. ANIFER, Madrid, 2004.
- [2] QUINTERO G., S.L. Evaluación del uso de la estopa de coco (*Cocos nucifera*), obtenida como residuo de la industria alimenticia en el Valle del Cauca, para la elaboración de elementos prefabricados de concreto aligerado. Trabajo de grado (Ingeniero Agroindustrial). Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira, Facultad de Ingeniería y Administración. Palmira, 2003. 156 p.
- [3] SUÁREZ, M.Y. Esponjas de coco para crecer. En *UN Periódico*. Universidad Nacional de Colombia. Santafé de Bogotá, N° 43, 16 de febrero de 2003.

- [4] VÉLEZ, J.A. La estopa de coco: nueva materia prima para la industria papelera. Agencia Universitaria de Periodismo Científico. AUPEC. En: [www.univalle.edu.co](http://www.univalle.edu.co). Descargado en enero de 2003.
- [5] MACHADO, A. La agricultura del Litoral Pacífico. En *Colombia Pacífico*, tomo II. Editorial Pablo Leyva. En: [www.banrep.gov.co/blaavirtual/letra-c/cpacifi2/55.htm](http://www.banrep.gov.co/blaavirtual/letra-c/cpacifi2/55.htm). Descargado en enero de 2003.
- [6] CAVIDES, H. y ROJAS, W. Evaluación de la estopa de coco como fuente alternativa de fibra celulósica para papel. Tesis (Ingeniero Químico). Universidad del Valle. Santiago de Cali, 1994. 77p.
- [7] CALDERÓN, L.A. Estudio de materiales cementicios fibrorreforzados y su posible uso como elementos de reparación en estructuras afectadas por corrosión en medio ambiente marino. Tesis (Ingeniero Químico). Universidad del Valle. Santiago de Cali, 2000. 100 p.
- [8] RODRÍGUEZ, C. Fabricación de tejas fibrorreforzadas con fibra natural. Servicio de Información Agropecuaria del Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador. SICA. En: [www.sica.gov.ec/agronegocios/productos%20para%20invertir/fibras/tejas.htm](http://www.sica.gov.ec/agronegocios/productos%20para%20invertir/fibras/tejas.htm), descargado enero 2003.
- [9] FÜßER, R. and RUGENSTEIN, E. Fortalecen y reducen el peso: nuevos procedimientos y fibras para la fabricación de piezas de plástico reforzado. Artículo N° 1. Servicio de prensa de K2001. Messe Düsseldorf. En: [www.messe-duesseldorf.de](http://www.messe-duesseldorf.de), descargado en enero de 2003.
- [10] PAZ, L.P. Placas de mortero reforzadas con fique y malla electrosoldada. Tesis (Ingeniero de Materiales). Universidad del Valle. Santiago de Cali, 2000. 102 p.
- [11] GRIMWOOD, E.B. Los productos del cocotero. Colección FAO: Producción y protección vegetal. FAO: Cuadernos de fomento agropecuario. Roma, 1977. 279 p.
- [12] SANDOVAL, E. y BOCANEGRA, R.A., Análisis del comportamiento mecánico del concreto fibro reforzado. Tesis (Ingeniero Civil). Universidad del Valle. Santiago de Cali, 1997. 156 p.
- [13] SÁNCHEZ DE GUZMÁN, D. *Tecnología del concreto y del mortero*, 2ª ed. Santafé de Bogotá: Brandar Editores, 1993. 349 p.
- [14] CHINCHILLA, P. *Materiales para construcción*. Santafé de Bogota: Editorial Universidad Santo Tomás, 1996.