



DESEMPEÑO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE SISAL PARA LA PRODUCCIÓN DE COMPONENTES CONSTRUCTIVOS*

PERFORMANCE OF THE REINFORCED CONCRETE
WITH SISAL FIBER FOR THE PRODUCTION
OF BUILDING COMPONENTS.

MILENA SOSA

Arquitecto (1979).
FAU-UCV. Doctor en Ciencias
y Técnicas de la Construcción
de la Universidad Pierre et
Marie Curie. (Paris VI), Paris,
Francia. (1989). Master en
Historia de las Técnicas,
Conservatoire des Arts et
Metier, Université Paris IV
(La Sorbonne), Paris, Francia.
(2008). Profesor Titular
(IDEC-FAU/UCV).
pimifaster@gmail.com

YURAIMA CENTENO

MSc. en Desarrollo
Tecnológico de la
Construcción
(IDEC-FAU-UCV).

IDALBERTO ÁGUILA

Ingeniero Civil (ISPJAE,
Cuba, 1984). MSc. en
Desarrollo Tecnológico
de la Construcción (IDEC-
FAU-UCV, 2000). Doctor en
Arquitectura (UCV, 2008).
Profesor-Investigador del
Instituto de Desarrollo
Experimental de la
Construcción (IDEC-FAU/UCV)
idalbertoaguila@gmail.com

RESUMEN

El artículo evalúa de manera experimental el desempeño del concreto reforzado con fibras de sisal para su utilización en la elaboración de paneles de cerramiento y otros componentes constructivos. Se realizaron ensayos de resistencia a compresión y a flexión de cada muestra midiéndose el efecto que provoca la adición de fibras en el comportamiento estructural de cada pieza. Los resultados muestran que no hay afectaciones marcadas en los valores máximos de resistencia a compresión y flexión, en tanto se evidencia un cambio en el comportamiento del material desde el punto de vista de la ductilidad. En virtud de esto se concluye que es estructuralmente conveniente la utilización de la fibra de sisal como refuerzo, siendo 0,5% y 0,75% los porcentajes más adecuados y la longitud de 5 cm la que ofreció mejores resultados.

Descriptores

Material de Construcción, Fibras de Sisal, Concreto reforzado.

ABSTRACT

The article evaluates experimentally, the performance of reinforced concrete with sisal fibers for use in the manufacture of cladding panels and other building components. Testing flexural and compressive strength of each sample by measuring the effect caused by the addition of fibers in the structural behavior of each part is performed. The results show that there is no marked encumbrances on the maximum values of resistance to compression and bending, while a change is evidenced by the behavior of the material from the viewpoint of ductility. Under this it is concluded that it is advisable to use sisal fiber as reinforcement structural, with 0.5% and 0.75% rates and length of 5 cm which gave better results as the most appropriate.

Descriptors

Construction material, Sisal fibers, Reinforced Concrete.

* Esta investigación contó con el financiamiento del Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico (CDCH) de la Universidad Central de Venezuela (UCV).



DESEMPEÑO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE SISAL PARA LA PRODUCCIÓN DE COMPONENTES CONSTRUCTIVOS

Las fibras del sisal se extraen de la planta del género *Agava* siendo la más común la *Sisalana*, planta originaria de Yucatán (México). Son comúnmente usadas para el tejido de diferentes telas, sin embargo, el empleo creciente de tejidos sintéticos a más bajo costo genera la necesidad de evaluar su empleo para otros usos no tradicionales entre ellos para la producción de fibrocemento. De la planta de sisal solamente el 4% constituye la fibra, 85% es agua y el resto son desperdicios de pulpa y fibrillas. Durante la vida de una planta se producen entre 5 y 7 kilogramos de fibra (Quiñonez, 1989, citado por De Oteiza, 1992). En Venezuela, aunque la producción de fibras de sisal ha decaído en la última década, ésta se sitúa sobre las 5.000 ton anuales (FEDEAGRO, 2013).

Las propiedades físicas de las fibras del sisal y de otros vegetales han sido estudiadas con bastante profundidad, quedando en evidencia que éstas ofrecen una posibilidad técnica y económica viable para el refuerzo del concreto. Filho, Barbosa y Ghavani (1990) determinaron que, en relación con las fibras de coco, las fibras de sisal tienen una alta resistencia a la tracción y menor capacidad de deformación. Sin embargo, a pesar de que ambas fibras tienen una humedad natural similar, la capacidad de absorción de agua del sisal es mucho mayor que la de las fibras del coco. Esto está posiblemente relacionado con la impermeabilidad propia de estas fibras. Estos resultados indican que las fibras del sisal requieren mayor protección superficial que las de coco cuando son utilizadas en un medio húmedo.

Las fibras obtenidas del sisal se ubican entre las más fuertes dentro de las fibras naturales y está ampliamente difundido su cultivo y uso como refuerzo del concreto. Un experimento realizado por Carlsson y Ödeen (1977),

muestra que la incorporación de pequeñas cantidades de sisal dentro de la masa de concreto provoca una reducción en su resistencia a la compresión y a la tracción. Sin embargo, este estudio indica la posibilidad de reforzar el concreto con fibras naturales, dado que las reducciones son pequeñas comparadas con el concreto simple.

Según Gram (1983) el Swedish Cement and Concrete Research Institute (Suecia) ha desarrollado un componente de concreto reforzado con fibras de sisal. Los prototipos realizados son placas onduladas y trapezoidales para ser posteriormente cubiertas con tejas, las cuales pueden cubrir una luz de 3,3 metros y soportar cargas de 650 kg/m².

Juárez, Valdez y Durán (2004) en la búsqueda de materiales de construcción económicos y durables, señalan que las fibras de acero, vidrios y poliméricas son alternativas pero muy costosas, por lo que recomiendan el estudio de las fibras naturales. Se ha verificado que la fibra natural se ve afectada por la alcalinidad de la matriz cementante del concreto, en consecuencia, la durabilidad del compuesto dependerá de la protección que tenga la fibra y de la impermeabilidad de la matriz cementante. En su investigación ellos tratan de encontrar tratamientos químicos adecuados en la fibra de lechuguilla que permitan aumentar la durabilidad del compuesto, reduciendo el deterioro que sufre la misma en el medio alcalino propio del concreto. Además, demuestran que las fibras largas adicionadas en bajos porcentajes de volumen total de mezcla proporciona al concreto capacidad para soportar mayores cargas de flexión en comparación con el concreto simple.

Es por todos conocido que el concreto posee un comportamiento frágil cuando es sometido a esfuerzos mecánicos, es decir, que

el fallo se produce de forma brusca al llegar a la carga de rotura. En general es deseable que los elementos estructurales tengan un comportamiento más dúctil y que al llegar a la fase de rotura experimenten deformaciones elásticas que les impidan soportar más cargas, pero que no fallen. De esta manera habría oportunidad para tomar medidas que eviten el colapso de la estructura o que al menos lo retarden.

El uso de la fibra vegetal, más que incrementar la resistencia mecánica del concreto, persigue, en primer lugar, mejorar su ductilidad, lo cual es beneficioso sobre todo cuando se somete la estructura a cargas dinámicas como lo es la carga sísmica, y segundo, reducir el crecimiento de las grietas que aparecen en el concreto una vez que estas hayan aparecido. Aunque en este trabajo no se aborda el agrietamiento debido a cambios de volumen por retracción y por variaciones de temperatura, es reconocido el aporte de la fibra para controlar estos agrietamientos (Sika, 2008).

Uno de los problemas principales que se presenta al utilizar fibras naturales como refuerzo del concreto es su tendencia al deterioro, el cual se acelera por la alcalinidad característica de la matriz cementicia. Juárez (2002) demuestra que la protección directa de la fibra con parafina, unida a la disminución de la alcalinidad de la matriz con la adición de cenizas volantes (puzolana), desacelera considerablemente ese deterioro. No obstante recomienda seguir estudiando este tema para mejorar aún más esa protección.

Este artículo no aborda el tema del deterioro de la fibra, se centra solo en el aspecto estructural inicial. En estos momentos se investigan formas de protección de la fibra a largo plazo cuyos resultados se tendrán en el futuro.

Con este trabajo se pretende contribuir al enriquecimiento del conocimiento sobre el tema, definiendo las condiciones más adecuadas para lograr una mezcla de mortero reforzado con fibras de sisal producidas a partir de plantaciones existentes en Venezuela.

MATERIALES Y MÉTODOS

El objetivo principal del experimento es determinar la longitud y la proporción más adecuadas de fibra dentro de la mezcla de concreto para mejorar su comportamiento estructural. El estudio parte de una caracterización de los materiales para luego evaluar de manera experimental el comportamiento mecánico de probetas de mortero elaboradas con diferentes porcentajes de fibras de distintas longitudes. Los ensayos de laboratorio se realizaron en el Instituto Venezolano de Investigaciones Tecnológicas e Industriales (INVESTI).

Caracterización de materiales

Los materiales a utilizar en la elaboración de las probetas son: cemento, arena natural, agua de chorro y fibras de sisal.

Cemento: Se utilizó Cemento Portland tipo I según norma COVENIN 28 (ASTM C 150).

Arena: Se empleó arena natural comercializada en las redes de ferretería. Los agregados comerciales son analizados granulométricamente en sus condiciones iniciales COVENIN 277. Previo a su utilización se determinó la granulometría, el peso específico, la absorción, y el contenido de sulfuros y sulfatos

Pesos unitarios

El ensayo se realizó según lo establecido en la Norma COVENIN 263, obteniéndose los siguientes resultados:

Peso Unitario Suelto (PUS) = 1502 Kg. /m³

Peso Unitario Compacto (PUC) = 1721 Kg. /m³

Distribución de tamaño de partículas. Granulometría

El ensayo se realizó según lo establecido en la Norma COVENIN 255, obteniéndose el resultado que muestra el cuadro 1.

El porcentaje pasante se encuentra en todos los casos dentro o muy cerca del rango establecido por la norma.

Peso específico y absorción

El ensayo se realizó según lo establecido en la Norma COVENIN 268, obteniéndose los resultados que muestra el cuadro 2.

Contenido de Cloruros y Sulfatos

El ensayo se realizó según lo establecido en la Norma COVENIN 261, obteniéndose los resultados que muestra el cuadro 3.

Fibras de sisal: Las fibras fueron cortadas en las longitudes de 5 cm, 7,5 cm y 10 cm y secadas por 24 horas a 50°C.

Peso específico: 2,61.

Diseño de mezcla y vaciado de las probetas

Fueron preparadas 10 mezclas: 1 mezcla Patrón (P) sin fibra y 9 mezclas (M) con diferentes porcentajes y longitudes de fibra. De cada mezcla se elaboraron 3 probetas prismáticas de 10 cm x 10 cm x 40 cm y 2 cilindros de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura.

Para evaluar el efecto de la incorporación de las fibras se utilizaron tres longitudes diferentes y tres porcentajes de fibra distintos. La densidad arrojada de la fibra de sisal fue de $1,45 \text{ g/cm}^3 = 1450 \text{ Kg/m}^3$ y el porcentaje de la misma en el mortero se calculó de la siguiente forma: $\% \text{ de fibra en el mortero} = \text{m}^3 \text{ de fibra} \times 100 / \text{m}^3 \text{ de mortero}$. Partiendo de lo anteriormente expuesto, se confeccionaron las mezclas con las longitudes y porcentajes de fibra expuestas en el cuadro 4.

La dosificación del mortero partió de la utilización de una proporción cemento/arena de 1:4. La relación agua/cemento se obtuvo del ensayo de consistencia normal en el que se estableció que al incorporar las fibras se incrementaba la demanda de agua hasta una relación a/c de 0,60. Solo las mezclas M1 y M2 requirieron una relación a/c de 0,55. En la mezcla patrón (sin fibras) se utilizó una relación agua/cemento a/c de 0,6 para unificar los resultados. El cuadro 5 reporta los datos correspondientes al diseño de las mezclas.

El mezclado y la preparación del mortero correspondiente a una misma mezcla se realiza

Cuadro 1. Granulometría de la arena

TAMIZ	% RETENIDO	% MAS GRUESO	% PASANTE	RANGO COVENIN 277
3/8"	0,86	0,86	99,14	100
# 4	20,35	21,21	78,79	85-100
# 8	14,82	36,03	63,97	60-95
# 16	14,13	50,16	49,84	40-80
# 30	14,09	64,25	35,75	20-60
# 50	12,66	79,91	23,09	8-30
# 100	12,69	89,60	10,40	2-10
# 200	4,55	94,15	5,85	0-5
Bandeja	5,85	100,00	0,00	

C.F.: Elaboración propia con base en ensayos realizados por INVESTI.

Cuadro 2. Pesos específicos y absorción

Peso Específico	2,65
Peso Específico (saturado con superficie seca)	2,67
Peso Específico Aparente	2,69
Absorción (%)	0,50

C.F.: Elaboración propia con base en ensayos realizados por INVESTI.

Cuadro 3. Contenido de cloruros y sulfatos

% Cloruros	% Sulfatos
< 0,01	< 0,01

C.F.: Elaboración propia con base en ensayos realizados por INVESTI.

en una sola batida para evitar incorporar variables o condicionantes adicionales relacionadas con la manipulación y dosificación de los materiales, preparación y vaciado de la mezcla. Todo realizado de acuerdo a la siguiente secuencia y tiempo del proceso de mezclado:

1. Incorporación en la mezcladora del 30% del agua a fin de humedecer las paredes, paletas y fondo de la misma.
2. Incorporación del agregado fino y mezcla durante un minuto.
3. Incorporación del 30% del agua y mezclado durante un minuto para permitir la absorción del agua por parte de la arena.
4. Incorporación del cemento.
5. Incorporación del resto del agua y mezclado durante un minuto.

6. Incorporación de las fibras y mezclado durante tres minutos.
7. Descanso durante tres minutos y nuevamente es mezclado durante tres minutos.
8. Medición de la trabajabilidad de la mezcla. Para algunas de las mezclas, previo a la incorporación de las fibras, también se mide el asentamiento para evaluar la diferencia en la trabajabilidad.
9. Vaciado de la mezcla en las probetas. El vaciado de las viguetas se realiza por capas con vibrado manual.

Las probetas son guardadas en sus moldes por 24 horas, posteriormente desmoldadas y curadas manteniendo 100% de humedad relativa y a temperatura de 23°C durante 27 días.

Ensayos de comportamiento del mortero reforzado con fibras

Ensayo de consistencia

Una vez concluido el procedimiento de mezclado y con el mortero en estado fresco se determina el asentamiento de cada mezcla por medio del Cono de Abrahms, de acuerdo a la norma COVENIN 336.

Ensayo de resistencia a la flexión de probetas prismáticas a los 28 días

El ensayo de flexión aplicado a las probetas de ensayo tiene por objeto establecer la resistencia a la flexión de las muestras cuando están bajo un continuo cambio de propiedades. De

Cuadro 4. Resumen de las mezclas

Muestra	Long. de la fibra (cm.)	% Fibra de Sisal
P	0	0
M-1	5	0,5
M-2	5	0,75
M-3	5	1
M-4	7,5	0,5
M-5	7,5	0,75
M-6	7,5	1
M-7	10	0,5
M-8	10	0,75
M-9	10	1

C.F.: Elaboración propia.

Cuadro 5. Diseño de mezclas

Muestra	Arena (Kg.)	Cemento (Kg.)	Agua (Kg.)	Agua/Cemento	Cemento/Arena	% Fibra de Sisal	Longitud de Fibra
P	46,8	11,8	7,1	0,6	0,25	0	0
M-1	39	9,8	4,9	0,55	0,25	0,5	5
M-2	39	9,8	5,4	0,55	0,25	0,75	5
M-3	39	9,8	5,9	0,6	0,25	1	5
M-4	39	9,8	5,9	0,6	0,25	0,5	7,5
M-5	39	9,8	5,9	0,6	0,25	0,75	7,5
M-6	39	9,8	5,9	0,6	0,25	1	7,5
M-7	39	9,8	5,9	0,6	0,25	0,5	10
M-8	39	9,8	5,9	0,6	0,25	0,75	10
M-9	39	9,8	5,9	0,6	0,25	1	10

C.F.: Elaboración propia con base en ensayos realizados por INVESTI .



esta manera, probablemente se detectarán los factores que influyen, tales como: longitud de la fibra, relación agua/cemento y fibra/matriz, adherencia y otros factores inherentes al compuesto. En los ensayos para la determinación de la resistencia a flexión del mortero aplicando carga en el tercio medio (según norma ASTM C 78-84), se utilizan probetas prismáticas con dimensiones de 100 x 100 x 400 mm (4 x 4 x 15,5 pulg.). Para cada uno de los ensayos realizados se cumplen las siguientes condiciones:

1. La distancia entre los apoyos y puntos de aplicación de la carga permanece constante.
2. La aplicación de carga se realiza perpendicularmente a la cara de la vigueta para evitar excentricidades.
3. La carga se transmite a la vigueta a través de barras lisas ubicadas transversalmente.
4. La superficie lisa de los puntos de apoyo de la vigueta garantiza que la dirección de las reacciones sea paralela a la de la carga.
5. La aplicación de la carga se realiza de manera controlada y gradual, sobrepasando la carga de rotura.
6. Se realizan las mediciones de cargas aplicadas y su correspondiente deflexión en el punto medio de la vigueta, destacando la carga de rotura.

En este ensayo para determinar las características geométricas de las probetas se toman tres medidas: una en cada extremo y una en el centro, estableciendo así el ancho, alto y largo promedio de cada una. Los ensayos son realizados a los 28 días, luego de confeccionar las muestras, realizándose un total de 30 ensayos experimentales obtenidos para cada una de las mezclas.

Ensayos de resistencia a compresión de cabezas de vigas a los 28 días

En los ensayos para determinar la resistencia a compresión del mortero (según norma ASTM C 116-68) se utilizan probetas cúbicas de 100 mm de arista tomadas de las cabezas de las viguetas ensayadas a flexión. Estas probetas están libres de agrietamientos, superficies

astilladas u otros defectos. Para cada uno de los ensayos se cumplen las siguientes condiciones:

1. Las caras de las probetas son planas.
2. La aplicación de carga se realiza perpendicularmente a la cara del cubo para evitar excentricidades.
3. La aplicación de la carga se realiza de manera controlada y gradual sobrepasando la carga de rotura.
4. Se realizan las mediciones de carga máxima.
5. Los ensayos son realizados a los 28 días.
6. En total se ensayaron treinta y tres (33) probetas.

Ensayos de resistencia a compresión de cilindros estándar a los 28 días

Con la finalidad de obtener información adicional acerca de los cambios ocurridos en el mortero reforzado con fibras de sisal, además de las cabezas de viga, se elaboraron cilindros estándar de concreto, de diámetro 15cm y altura 30cm, de acuerdo a las siguientes condiciones:

1. Se aplica un mortero nivelador para asegurar la perpendicularidad de la carga.
2. La aplicación de carga se realiza perpendicularmente a la cara del cilindro para evitar excentricidades.
3. La aplicación de la carga se realiza de manera controlada y gradual hasta llegar a la falla, registrando solamente la medición de la carga máxima.
4. Los ensayos fueron realizados a los 28 días.
5. Para esta prueba se ensayó un total de veinticinco (25) cilindros.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ensayo de consistencia

Al realizar el ensayo de asentamiento con el Cono de Abrahms se detecta, en casi todos los casos, que las mezclas con adición de fibras ven reducido su asentamiento respecto a las mezclas de concreto simple. De igual manera se pudo observar que el mortero fresco refor-

zado con fibras no presenta sangrado de superficie y no se observa segregación alguna en la mezcla. Los resultados obtenidos en esta prueba se resumen en el cuadro 6.

Ensayo de resistencia a la flexión de probetas prismáticas a los 28 días

Los valores de resistencia a la flexión obtenidos para cada muestra se reflejan en el cuadro 7 y en el gráfico 1 para su mejor interpretación.

Los resultados muestran que no hay variaciones notables en los valores últimos de resistencia a la flexión cuando se añaden fibras al mortero. Sin embargo, para evaluar el comportamiento de forma completa se deben analizar las curvas de carga *versus* deflexión experimentadas por cada muestra (gráfico 2).

Cuadro 6. Asentamiento en las mezclas

Muestra	% Fibra de Sisal	Longitud de Fibra	Asentamiento (Pulgadas)
P	0	0	3 ½
M-1	0,5	5	1 ¼
M-2	0,75	5	½
M-3	1	5	2 ¾
M-4	0,5	7,5	5 ¾
M-5	0,75	7,5	2 ¾
M-6	1	7,5	1 ¾
M-7	0,5	1	2 ¾
M-8	0,75	1	2 ¾
M-9	1	1	2 ¾

C.F.: Elaboración propia, con base en ensayos realizados por INVESTI

Cuadro 7. Resultados de resistencia a la flexión en las diferentes muestras

Muestras	Rf (kg/cm ²)
P	10
M-1	11
M-2	11
M-3	8
M-4	9
M-5	9
M-6	9
M-7	10
M-8	10
M-9	9

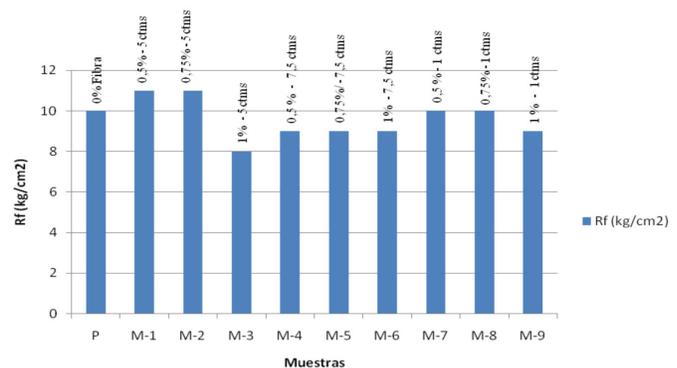
C.F.: Elaboración propia, con base en ensayos realizados por INVESTI.

Como se aprecia en la primera imagen del gráfico 2, al ensayar a la flexión probetas prismáticas de mortero simple, estas se comportan de forma elástica desarrollándose una curva de esfuerzo-deformación más o menos lineal y un fallo brusco o frágil al alcanzarse la carga última o de rotura. Por su parte, en las restantes imágenes del gráfico 2 y en la foto 1, al colocar fibra en el mortero, en una primera fase se mantiene el comportamiento elástico con deformaciones proporcionales a las cargas, sin embargo, en la fase última, al alcanzarse la carga de rotura no se produce un fallo frágil sino que se comporta de forma plástica experimentando importantes deformaciones y manteniendo cierta capacidad portante antes de llegar al fallo final. Este comportamiento, que se verifica en todas las muestras con adición de fibras, viene dado por el trabajo a tracción de las fibras una vez agrietado el concreto (foto 1) y es muy deseable en general, pero sobre todo en estructuras sometidas a cargas sísmicas. Estos resultados se corresponden con la experiencia de otros autores (Sika, 2008; Juárez, 2002; Carlsson y Ödeen, 1977).

Ensayos de resistencia a compresión de cabezas de viga y cilindros estándar

Los cuadros y gráficos a continuación demuestran el comportamiento de las probetas en las pruebas de resistencia a compresión a los 28 días.

Gráfico 1. Resistencia a la flexión

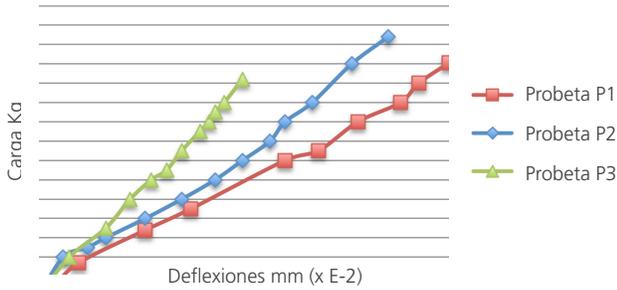


C.F.: Elaboración propia, con base en ensayos realizados por INVESTI.

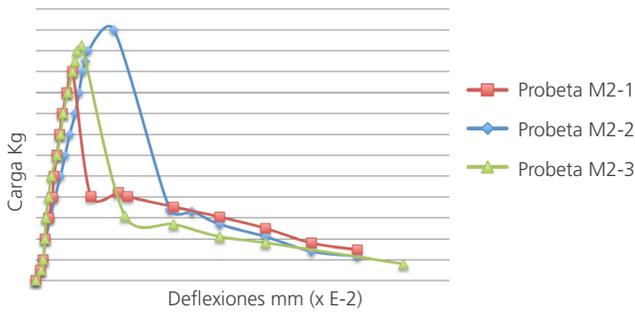


Gráfico 2. Curvas de carga deflexión

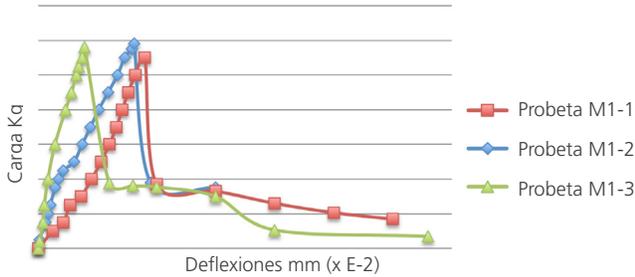
Resistencia a la Flexión
Mortero fibra 0% en viguetas de 10 x 10 x 40cm



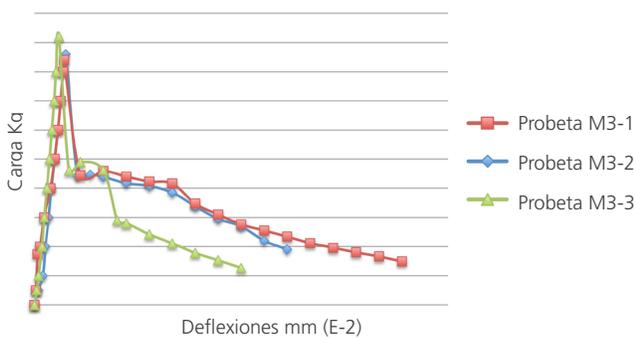
Resistencia a la flexión
Mortero con 0,75% fibra de 5cm



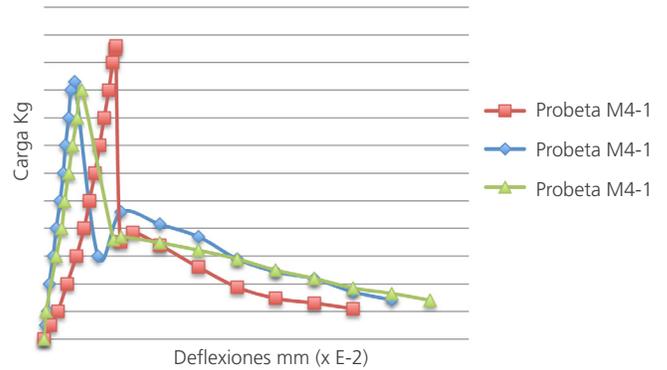
Resistencia a la Flexión
Mortero con 0,5% fibra largo: 5 cm



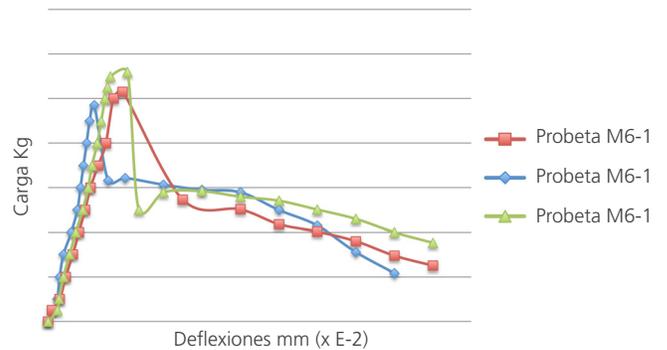
Resistencia a la Flexión
Mortero con 1% fibra de 5cm



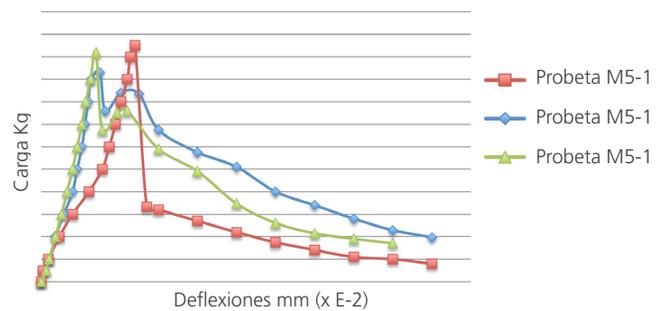
Resistencia a la Flexión
Mortero con 0,50% fibra de 7,5cm largo



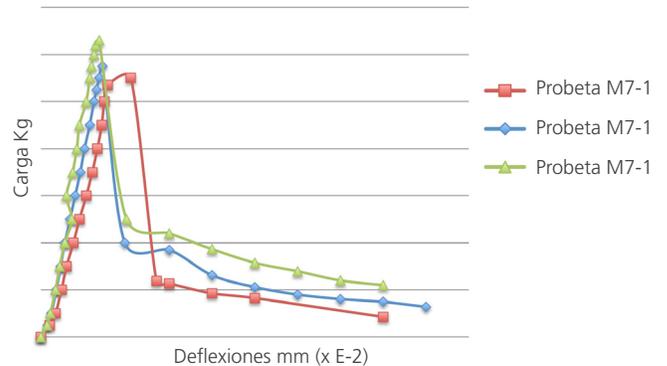
Resistencia a la Flexión
Mortero con 1% fibra de 7,5cm largo



Resistencia a la Flexión
Mortero con 0,75% fibra de 7,5 cm largo



Resistencia a la Flexión
Mortero con 0,5% fibra 10cm largo



C.F.: Elaboración propia, con base en ensayos realizados por INVESTI.

Foto 1. Ensayo de resistencia a la flexión



Fuente: C.F.: Elaboración propia, con base en ensayos realizados por INVESTI.

El cuadro 8 y el gráfico 3 reflejan cómo en general la adición de fibra tiende a disminuir la resistencia a la compresión del mortero, lo cual es proporcional al volumen y largo de la fibra. Es de esperar que la adición de un material orgánico como la fibra provoque un efecto como el anteriormente mencionado. Sin embargo, se evidencia que para porcentajes de 0,5% y 0,75% de fibra las afectaciones son pequeñas; incluso para ambos casos y uti-

lizando fibras cortas de 5 cm, el valor de resistencia obtenido es superior al del patrón. Más que el efecto del material añadido, este incremento se le podría atribuir al factor humano en el desarrollo del ensayo.

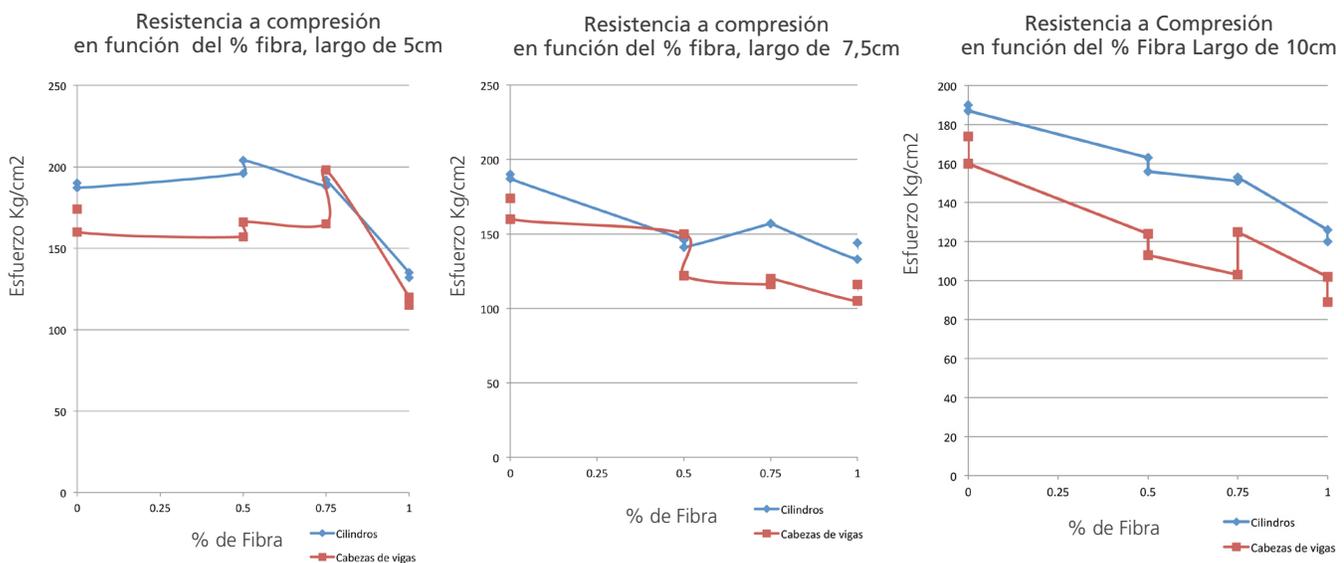
Un análisis integrado de todos los ensayos refleja que la longitud de fibra más adecuada es 5 cm, mientras que se obtienen buenos y similares resultados para porcentajes de fibras de 0,5% y 0,75%.

Cuadro 8. Resistencia Compresión de cabezas de viga y de cilindros

MEZCLA	Resistencia Compresión 28 días			
	Fibra Largo	% Fibra	Cilindros	Cabezas de viga
P	0	0	163	167
M1	5	0,5	200	161,5
M2	5	0,75	190	181,5
M3	5	1	133,5	117,5
M4	7,5	0,5	143,5	136
M5	7,5	0,75	157	118
M6	7,5	1	138,5	110
M7	10	0,5	159,5	118,5
M8	10	0,75	152	114
M9	10	1	123	95,5

C.F.: Elaboración propia, con base en ensayos realizados por INVESTI.

Gráfico 3. Ensayo de resistencia a la flexión



C.F.: Elaboración propia, con base en ensayos realizados por INVESTI.

CONCLUSIONES

En la revisión de las diversas investigaciones en las que se incorporó la fibra vegetal como refuerzo del concreto, se puede detectar que las fibras vegetales han sido utilizadas tradicionalmente en el campo de la construcción y que actualmente hay un interés técnico-económico en el empleo del sisal para la elaboración de componentes constructivos.

En las pruebas de flexión y compresión realizadas para evaluar el comportamiento del fibrocemento, en este caso mortero reforzado con fibra de sisal, se pudo apreciar que la incorporación de la fibra de sisal no modifica significativamente la resistencia a la flexión, ya que las mismas se comportan de manera similar a la muestra donde no se utiliza fibra. La diferencia principal está en el sustancial aumento

de la ductilidad del material al colocar la fibra. El fallo se hace menos frágil y las piezas experimentan grandes deformaciones antes de la rotura definitiva.

En cuanto a la resistencia a la compresión, se pudo demostrar que la presencia de fibra tiende a disminuir la resistencia a la compresión del mortero, pero esta se hace más notable para porcentajes de fibra altos. Para porcentajes fibra de 0,5% y 0,75% la disminución de resistencia es despreciable, y más aún en el caso en que la longitud de la fibra es de 5 cm donde más bien se experimentó un leve incremento.

Así, se puede concluir que la incorporación de fibras de sisal mejora el comportamiento estructural del concreto en tanto que se recomienda el uso de fibras con un largo de 5 cm y en cantidades entre 0,5 y 0,75 % del total de la mezcla en peso.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CARLSSON, B.; ÖDEEN K. (1977). Cellulose concrete an orientating investigation. *Swedish Council for Building Research*. Report 13, p 1.
- DE OTEIZA, I. (1992). Estudio del comportamiento de la escayola reforzada con fibras de sisal para componentes en viviendas de bajo coste. Tesis Doctoral. Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas, Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Madrid, España.
- FEDEAGRO (2013). *Estadísticas de producción*. FEDEAGRO. Extraído el 12 de Noviembre de 2013 <http://www.fedeagro.org/>.
- FILHO, R.D.T.; Barbosa N.P. y Ghavami K. (1990). Application of Sisal and Coconut Fibres in adobe blocks. In *Vegetable Plants and their Fibres as Building Materials*. Proceeding of the Second International RILEM Symposium. Chapman and Hall.
- GRAM, H.E. (1983). Durability of Natural Fibers in Concrete. *Swedish Cement and Concrete Research Institutem Estocolmo*.
- JUAREZ, C. (2002). Concretos base cemento Portland reforzados con fibras naturales (Agave Lechuguilla), como materiales para construcción en México. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Nueva León, Facultad de Ingeniería Civil. México.
- JUÁREZ, C.; VALDEZ, P. Y DURÁN, A. (2004). Fibras naturales de lechuguilla como refuerzo en materiales de construcción. Universidad Autónoma de Nueva León, Facultad de Ingeniería Civil. México.
- SIKA (2008). Concreto reforzado con fibras. *Revista Construcción*. Sika Informaciones Técnicas.
- Universidad Castilla La Mancha (2007). Una alternativa al daño asbesto. Escuela de Ingeniería Rural. Extraído el 18 de Octubre de 2007 de <http://www.tierramerica.net/kyoto/index.shtml>