

# Análisis de la resistencia a compresión y flexión del concreto modificado con fibra de fique

Sandra Pinzón Galvis

Profesora Titular, Universidad Piloto de Colombia – Seccional Alto

Magdalena, Girardot

sapiga10@hotmail.com

## **RESUMEN**

*El empleo de fibras naturales en el refuerzo del concreto es poco común tanto aún más que los concretos fibro-reforzados con fibra de fique. En este trabajo se busca encontrar materiales alternativos que mitiguen el impacto ambiental por considerarse un subproducto de la industria fiquera llamado residuo o estopa; analizar el efecto producido por la adición de la fibra de fique a la resistencia a compresión y flexión del concreto y dar una aplicación acorde a los resultados obtenidos en los ensayos.*

## **PALABRAS CLAVE**

Cemento Portland, fibra de fique, resistencia a compresión, resistencia a flexión.

## **ABSTRACT**

*The use of natural fibers in concrete reinforcement is rare even more than fiber-reinforced concrete with sisal fiber. The aim of this work is find alternative materials that mitigate the environmental impact by using a byproduct of the fique industry called residue or tow; to analyze the effect produced by the addition of sisal fiber to compressive and bend strength of concrete; and give an application according to the results obtained from the tests.*

## **KEYWORDS**

Portland cement, sisal fiber, compressive strength, flexural strength.

## **INTRODUCCIÓN**

Hoy en día se ha desarrollado aún más la posibilidad de obtener nuevas alternativas pensando en lo ambiental y en lo natural incentivando el desarrollo social y económico reduciendo costos en los procesos para así garantizar sostenibilidad a las generaciones futuras. Uno de los elementos que perdura en el tiempo y no permite cambios drásticos en sus cuatro componentes principales, agregado fino (arena), agregado grueso (piedras gradadas), agua y material aglutinante (cemento Portland) conformando el material estructural más extraordinario y utilizado en el mundo de la construcción, el concreto u hormigón, con una serie de propiedades mecánicas como lo es su alta resistencia a la compresión, dureza, manejabilidad a la aplicación, y no tan buen comportamiento

a la flexión, por poseer limitaciones como una alta fragilidad, baja capacidad de deformación o arqueamiento antes de las fisuras y rompimiento en las vigas. Una opción adoptable para superar estas restricciones es la implementación, introducción y preparación de fibras al concreto: fibras sintéticas, fibras de asbesto, fibras de vidrio y las fibras de acero en la construcción civil con el propósito de disminuir la fragilidad que singulariza a este material y exponiendo una resistencia secundaria seguida a las fisuras por medio de la unión de las fibras con la matriz del concreto.

Cada vez toma más fuerza la idea de utilizar concretos reforzados con fibras ya sean metálicas, sintéticas o naturales, como la del caso de la fibra de fique usándose como insumo para la elaboración del concreto y morteros. En Colombia, por ser un país productor e impulsor del sector figuero, se toma la decisión de hallarle mayor utilidad a este material en la industria de la construcción, puntualmente en la fabricación del concreto en diferentes estructuras y procesos constructivos; aprovechando la producción de la fibra sostenible y amigable con el medio ambiente por tratarse de cultivo e industrialización de bajo impacto ambiental, además de fomentar el crecimiento del campesinado colombiano, contribuyendo al desarrollo económico y social de los dos sectores involucrados.

La utilización de fibras en la construcción no es nueva, pues nuestros antepasados usaban paja y pasto en el barro para mayor adherencia ya fuera en los muros o en mismo bloque de arcilla, en este caso se analiza y evalúa el comportamiento del concreto con la adición de la fibra de fique, para saber si aporta favorablemente a las propiedades de compresión y flexión del concreto, la adición de fibra de fique y en efecto encontrar un uso específico de acuerdo a los resultados obtenidos, teniendo en cuenta las características de los concretos: economía, resistencia, durabilidad y fácil aplicación.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Localización

El trabajo de investigación se realizó en los laboratorios de la Universidad Piloto de Colombia – Seccional Alto Magdalena, a una temperatura aproximada de 33 °C.

## Materiales

El fique es una planta nativa de la América tropical, especialmente de la región andina de Colombia y Venezuela, luego se fue expandiendo hacia las Antillas y hacia la costa oriental del Brasil. Esta planta pertenece al género *Furcraea* de donde comprenden cerca de 20 especies diferentes de donde se extrae de sus hojas fibra textil conocida popularmente como fique. Biológicamente es distinta del género *Agave* con la que suele confundirse frecuentemente.<sup>1</sup>

El Fique (*Fourcraea* spp.), es una planta grande, de tallo erguido, su altura varía entre 2 y 7 m, densamente poblado de hojas de color verde, en forma radial, largas (1 a 3 m), angostas (10 y 20 cm), carnosas, puntiagudas, acanaladas, y dentado espinosas, en algunas variedades, presentando líneas o estrías tenues de unos 3 mm de largo (figura 1);



Fig. 1. Planta de Fique.

[www.veoverde.com/2009/07/fibra-de-fique/](http://www.veoverde.com/2009/07/fibra-de-fique/)

las plantas jóvenes consisten en un rosetón de hojas gruesas, carnosas de color verde azulado, a medida que la planta crece, se desarrolla en la base un tronco corto que lleva de 75 a 100 hojas cuya longitud varía de 150 a 200 cm y su anchura de 15 a 20 cm en la parte más ancha cerca de la mitad, angostándose a 10 cm cerca de la base, la cual tiene un espesor de 6 a 8 cm. Su flor es de color blanco verdoso, llamada maguey o escapo, sólo florece una vez en su ciclo de vida y luego le sobreviene la muerte (magueciada). Las semillas germinan en la misma planta y sus propágulos (bulbillos) caen ya formados al suelo por lo que se considera al fique una planta vivípara.<sup>2</sup> Pueden encontrarse plantas con más de 50 años de edad, pero su período típico de vida varía entre 10 y 20 años. Poseen gran cantidad de raíces que se

expanden y enraízan profundamente haciéndola una planta anti-erosiva. Su vida útil (producción de fibra, jugos, etc.) comienza entre los 3 y 6 años, dependiendo de las condiciones que enfrente.<sup>3</sup>

La fibra extraída apenas constituye un 4% máximo del peso total de la hoja. Esta fibra muestra propiedades mecánicas dadas en la tabla I,<sup>1</sup> también constituye la estructura principal de las paredes celulares del tejido vegetal y está compuesta por celulosa, y algunas impurezas como ligninas y pigmentos (tabla II).<sup>1</sup> Cada filamento está constituido por fibrillas elementales soldadas entre sí por una goma (lignina). Los extremos de las fibrillas se superponen para formar filamentos multicelulares a lo largo de la hoja y son éstos los que conforman la fibra de fique.

Tabla I. Propiedades mecánicas de la fibra de fique.

Propiedades	Promedio	Mínimo	Máximo
Resistencia a la tensión (MPa)	305.15	200.00	625.20
Módulo de elasticidad (Gpa)	7.52	5.50	25.50
Porcentaje de elongación a la fractura (%)	4.96	3.20	5.70

Tabla II. Composición química de la fibra de fique.

Cenizas	2.60%
Fibras	1.58%
Pentosas	17.65%
Lignina	12.00%
Celulosa	62.70%

La fibra de fique utilizada en la investigación fue adquirida en Rionegro (Antioquia), se cortó en fracciones de 6 cm (figura 2) tomando la recomendaciones del subgrupo de fibras de la Secretaria Técnica del Comité de Concreto del Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). Con base en la experiencia internacional se categoriza el fique como macrofibra y se recomiendan longitudes variables entre 13 mm y 70 mm y proporciones comprendidas entre 9 y 18 kg/m<sup>3</sup>, se decide utilizar cuatro porcentajes de adición de fibra de fique, 0.5%, 1.0%, 1.5% y 2.0% del peso del agregado fino, encontrándose dentro de este rango.



Fig. 2. Tamaño de la fibra de fique.

El concreto se hizo a partir de mezclas especificadas para 14 MPa (2000 psi), 17.5 MPa (2500 psi), 21 MPa (3000 psi), 24.5 MPa (3500 psi) y 28 MPa (4000 psi).

Los agregados utilizados en las distintas mezclas fueron adquiridos en la trituradora “Agregados Nacionales”, ubicada en el municipio del Guamo, Departamento del Tolima. Este material es extraído del río Saldaña y llevado a la planta, que es la encargada de efectuar su trituración.

Teniendo los materiales listos para ser mezclados en una pasta homogénea, son vertidos a una mezcladora con capacidad para ½ bulto o 25 Kg de cemento (figura 3).



Fig. 3. Mezcla del concreto y adición de fibra de fique.

Una vez obtenida la mezcla y antes de ser vaciada en los cilindros se realiza la prueba del slump o asentamiento el cual se le hace a las mezclas que no contienen fibra de fique, el asentamiento resultante es de 7,5 cm. (figura 4).



Fig. 4. Ensayo del slump o asentamiento.

La mezcla se vacía en moldes y se deja fraguar, los ensayos de resistencia a compresión se realizaron a 6 cilindros por cada diseño, 2 a los 7 días, 2 a los 21 días y 2 a los 28 días, por otra parte para los ensayos a flexión se realizaron 2 vigas por cada diseño a los 28 días. Los resultados obtenidos de los ensayos se promediaron para así determinar el resultado final.

## DISEÑO METODOLÓGICO

Etapa I. Consiste en la recolección de información como antecedentes, teoría y proyectos relacionados con esta investigación.

Luego se dispuso a buscar la obtención de los materiales para la elaboración de la mezcla, determinando el asentamiento, tamaño máximo y nominal del agregado, contenido de agua, cemento y los agregados de gruesos y finos, <sup>4</sup> para proseguir con la dosificación de fibra de fique a emplear y fabricar las muestras en forma de cilindros para la compresión y en forma de vigas para la flexión.

Etapa II. En esta etapa se realizaron las pruebas de laboratorio donde se vació concreto convencional y concreto con adición de fibra de fique en diferentes porcentajes, reemplazando el agregado fino, en

moldes de cilindros y vigas (figura 5), para realizar ensayos a compresión y a flexión, para así determinar la resistencia del concreto convencional y del concreto con adición de fibra de fique.



Fig. 5. Concreto vaciado en moldes de cilindros y vigas

Culminadas las pruebas, se organizó la información obtenida para efectuar el análisis de los resultados y así concluir si en realidad la adición de fibra de fique mejora o no la resistencia y las propiedades mecánicas del concreto hidráulico.

Etapa III. Después de los análisis de resultados y de la información se determinó un porcentaje óptimo con el cual se tomaron nuevas pruebas de resistencia a compresión y flexión a un solo diseño de mezcla para evaluar las propiedades mecánicas del concreto hidráulico con la nueva adición del porcentaje de fibra de fique.

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

### Resistencia a la compresión

En el laboratorio de estructuras de la Universidad Piloto de Colombia seccional Alto Magdalena se realizaron los ensayos a compresión y flexión de los modelos de concreto fabricados con y sin adición de fibra de fique. Las medidas de los cilindros es de 0.30 m de alto x 0.15 m de diámetro (figura 6).

La resistencia que presentan las muestras de concreto con adición de fibra de fique para 14 MPa (2000 psi) tabla III, alcanzan su mayor valor en el fique al 1.0% en los períodos de 7, 21 y 28 días con respecto a los demás porcentajes de fique. El dato más alto se da en el período de los 28 días con 8.08 MPa (1154 psi) que corresponde a un 58%, con un 48% por debajo de diseño de mezcla y a un



Fig. 6. Preparación de cilindros para ensayo a compresión.

Tabla III. Resultados de los ensayos a compresión del concreto 14 MPa (2000 psi).

Edad de curado	Diseño	Resistencia		%Alcanzado
		(PSI)	MPa	
7 Días	Concreto convencional	1061	7.42	53%
	Fique al 0.5%	366	2.56	18%
	Fique al 1.0%	856	6	43%
	Fique al 1.5%	143	1	7%
	Fique al 2.0%	121	0.847	6%
21 Días	Concreto convencional	1609	11.3	80%
	Fique al 0.5%	533	3.73	27%
	Fique al 1.0%	1030	7.21	51%
	Fique al 1.5%	189	1.32	9%
	Fique al 2.0%	250	1.75	12%
28 Días	Concreto convencional	2043	14.30	102%
	Fique al 0.5%	555	3.89	28%
	Fique al 1.0%	1154	8.08	58%
	Fique al 1.5%	205	1.44	10%
	Fique al 2.0%	260	1.82	13%

50% por debajo de la resistencia que presentó el concreto convencional a un total de 102%. Se destaca que los cilindros fallan en su mayoría en una forma diferente a la fractura presentada por los cilindros de concreto convencional, debido a que el fique se adhiere a la matriz haciendo que no sea explosiva su

deformación, al contrario de la falla de los cilindros de concreto convencional pues estos estallan y fallaron en un ángulo de 45° (figura 7).

En segundo lugar, la muestra con adición de fique con mejor comportamiento a la compresión es el que tiene porcentaje del 0.5% alcanzando a los 28 días unos 3.89 MPa (555 psi) que corresponde a un 28% del diseño de mezcla. La adherencia de la fibra de fique ayuda a que la deformación de la muestra sea lenta y progresiva, con deformación en grietas verticales en los extremos del cilindro.

Los especímenes con aditivo del 1.5% de fibra de fique con un alcance del 10% que corresponde a 1.75 MPa (250 psi) y 2.0% de fibra de fique con un alcance del 13% que corresponde a 1.82 MPa (260 psi) de fibra de fique presentaron las resistencias más bajas. Las deformaciones suceden en forma de esponja y no hay desprendimiento de matriz, pues la fibra impide que ocurra.

En el caso del diseño de 17.5 MPa (2500 psi), tabla IV, el porcentaje de fibra de fique, que más se acerca al diseño es el de 0.5% dominando los tres períodos de 7, 21 y 28 días, con un 76% de resistencia que corresponde a 13.37 MPa (1910 psi) en el último período, con un 24% por debajo del diseño de mezcla y a un 51% por debajo de la resistencia de los especímenes de control alcanzando un valor de 22.16 MPa (3166 psi) equivalente al 127%. La falla de estos cilindros se presenta de forma similar a los especímenes de control en ángulo de 45°, sin presentar estallido repentino como lo es el caso de los especímenes de concreto convencional.



Fig. 7. Rotura a compresión de concreto sin adición de fibra de fique (izquierda) y con adición de fibra de fique (derecha).

Tabla IV. Resultados de los ensayo a compresión concreto 17.5 MPa (2500 psi).

Tiempo de curado	Diseño	Resistencia		%Alcanzado
		(PSI)	MPa	
7 Días	Concreto convencional	2117	14.82	85%
	Fique al 0.5%	1369	9.6	55%
	Fique al 1.0%	800	5.6	32%
	Fique al 1.5%	758	5.31	30%
	Fique al 2.0%	92	0.64	4%
21 Días	Concreto convencional	2800	19.6	112%
	Fique al 0.5%	1692	11.84	68%
	Fique al 1.0%	964	6.75	39%
	Fique al 1.5%	761	5.33	30%
	Fique al 2.0%	106	0.74	4%
28 Días	Concreto convencional	3166	22.16	127%
	Fique al 0.5%	1910	13.37	76%
	Fique al 1.0%	1085	7.60	43%
	Fique al 1.5%	1531	10.42	61%
	Fique al 2.0%	89	0.62	4%

Le sigue en resistencia el porcentaje del 1.5% con un 61% que equivale a 10.72 MPa (1531 psi) a los 28 días, pero estando por debajo en los períodos de 7 días y 21 días de la adición del 1.0%. La

deformación en el momento de la falla se presenta en forma de grietas en los extremos del cilindro, pues la fibra ayuda a que la matriz se deforme lenta y progresivamente.

Le prosigue la resistencia de la adición de fibra de fique del 1.0% con un 43% que corresponde a 7.6 MPa (1085 psi.) El fallo ocurrió en forma diferente que la que se acostumbra observar con una adherencia considerable de la fibra de fique a la matriz del concreto.

De último se encuentra la resistencia presentada por el porcentaje más alto de 2.0% que muestra un 4% en los tres períodos sin variación significativa en resistencia. En cuanto al fallo en la prensa hidráulica se da en forma de grietas tomando consistencia de esponja.

En el caso de 21 MPa (tabla V) la resistencia que se acerca al diseño es la adición del 0.5% con un 67% que corresponde a 13.97 MPa (1995 psi), por debajo de un 33% del diseño de mezcla y por debajo de la resistencia presentada por los cilindros de control a un 55% que le correlaciona a unos 25.70 MPa (3671 psi). La falla en la prensa ocurre en ángulo de 45° muy similar a la falla en los cilindros de control, con una adherencia apenas perceptible por la fibra de fique a la matriz del concreto.

Le sigue el porcentaje de adición de 1.0% con un 39% que equivale a 8.14 MPa (1163) psi de

Tabla V. Resultados de los ensayos a compresión concreto 21 MPa (3000 psi).

Tiempo de curado	Diseño	Resistencia		%Alcanzado
		(PSI)	MPa	
7 Días	Concreto convencional	2490	17,43	83%
	Fique al 0.5%	1642	11,49	55%
	Fique al 1.0%	938	6,57	31%
	Fique al 1.5%	168	1,18	6%
	Fique al 2.0%	108	0,76	4%
21 Días	Concreto convencional	2484	17,39	83%
	Fique al 0.5%	1995	13,97	66%
	Fique al 1.0%	1045	7,32	35%
	Fique al 1.5%	158	1,11	5%
	Fique al 2.0%	105	0,74	3%
28 Días	Concreto convencional	3671	25,70	122%
	Fique al 0.5%	1995	13,97	67%
	Fique al 1.0%	1163	8,14	39%
	Fique al 1.5%	187	1,31	6%
	Fique al 2.0%	117	0,82	4%

resistencia a los 28 días, con un 61% debajo del diseño de mezcla y debajo de la resistencia de los especímenes de control a un 83%. Presentó la falla en forma diferente en sus extremos a la que por lo regular se observa en el concreto convencional, con una adherencia de la fibra de fique evidente, pues no deja que la matriz del concreto estalle como el concreto convencional.

La adición de 1.5% y 2.0% genera resistencias muy bajas en los tres períodos. La cantidad de fibra de fique es suficiente para que falle en forma de esponja generando una resistencia irrisoria, la adherencia de la fibra la matriz del concreto, es alta ya que no deja que se desprenda del conjunto.

La resistencia a compresión para el diseño de 24.5 MPa (3500 psi), tabla VI, que más se acerca es la de adición de fibra de fique de 0.5% con un 41% que corresponde a 10 MPa (1428 psi), situándose por debajo del diseño de mezcla a un 59% y debajo a un 63% de la resistencia presentada por los cilindros de control a un 104% que le corresponde a 25.5 MPa (3643 psi). La falla se da en forma de 45° en el

Tabla VI. Resultados de los ensayos a compresión concreto 24.5 MPa (3500 psi).

Tiempo de curado	Diseño	Resistencia		%Alcanzado
		(PSI)	MPa	
7 Días	Concreto convencional	2704	18.93	77%
	Fique al 0.5%	1083	7.6	31%
	Fique al 1.0%	193	1.35	6%
	Fique al 1.5%	257	1.8	7%
	Fique al 2.0%	250	1.75	7%
21 Días	Concreto convencional	3446	24.12	98%
	Fique al 0.5%	1428	10	41%
	Fique al 1.0%	226	1.58	6%
	Fique al 1.5%	402	2.81	11%
	Fique al 2.0%	242	1.69	7%
28 Días	Concreto convencional	3643	25.50	104%
	Fique al 0.5%	1425	10	41%
	Fique al 1.0%	210	1.47	6%
	Fique al 1.5%	454	3.18	13%
	Fique al 2.0%	282	2	8%

tercio medio del espécimen con una adherencia de la fibra apenas apreciable para que la falla no estalle abruptamente.

Para las adiciones restantes de un 1.0%, 1.5% y 2.0% las resistencias obtenidas en la prensa hidráulica son similares e irrisorias apenas superando el de 2.0% al de 1.5% en 5 puntos porcentuales y superando a de 1.0% en 7 puntos porcentuales. Las fallas se presentan de forma semejante con grietas en los extremos y adherencia de la fibra a la matriz del concreto haciendo que se torne esponjoso.

En el diseño de mezcla para 28 MPa (4000 psi), tabla VII, es donde se alcanza mayor dato que le corresponde al porcentaje de 0.5% de adición de fique para un 77% con 21.46 MPa (3065 psi) de resistencia a los 28 días, poniéndose a un 23% del diseño de mezcla y a un 33% de la resistencia de las muestras de control que alcanzaron unos 110% con 30.93 MPa (4419 psi). Su comportamiento en la falla se da en forma de 45° con adherencia de fibra de fique en la matriz que permite que el concreto no estalle abruptamente.

Tabla VII. Resultados de los ensayo a compresión concreto 28 MPa (4000 psi).

Tiempo de curado	Diseño	Resistencia		%Alcanzado
		(PSI)	MPa	
7 Días	Concreto convencional	3060	21.42	76%
	Fique al 0.5%	2384	16.7	60%
	Fique al 1.0%	739	5.17	18%
	Fique al 1.5%	1061	7.43	27%
	Fique al 2.0%	228	1.60	6%
21 Días	Concreto convencional	4038	28.27	101%
	Fique al 0.5%	2900	20.3	72%
	Fique al 1.0%	115	0.81	29%
	Fique al 1.5%	502	3.51	13%
	Fique al 2.0%	465	3.26	12%
28 Días	Concreto convencional	4419	30.93	30,93
	Fique al 0.5%	3065	21.46	77%
	Fique al 1.0%	1152	8.06	29%
	Fique al 1.5%	1219	8.53	30%
	Fique al 2.0%	542	3.79	14%

Las muestras con aditivo al 1.0%, 1.5% y 2.0% no superan el 30% de resistencia comparados con el diseño de mezcla y teniendo cambios muy pequeños en los tres períodos evaluados, siendo el de 2.0% la resistencia más baja. Se presenta la falla en forma distinta como ha sucedido en casos anteriores para los porcentajes del 10% y 1.5% y de grietas en los extremos para el de 2.0% en forma de esponja, la adherencia es similar para las muestras mencionadas, pues la fibra no deja que la matriz del concreto se separe después de fallar.

Después de observar el comportamiento de las pruebas y determinar que las muestras que más se acercan al diseño de 28 MPa (4000 psi) son los de menor porcentaje de adición de fique. Se tomó la decisión de hacer un nuevo ensayo, consistente en adicionar un 0.3% de fibra de fique a la pasta de concreto, arrojando pruebas muy satisfactorias, incluso superando el diseño de mezcla, pero por debajo de la resistencia de las muestras de control con excepción del período de los 7 días en donde

superó en 23.96 MPa (3423 psi) con un 10% más que la arrojada por el espécimen de control a ese período. Demostrando que en este caso, estos porcentajes de adición de fique, el concreto da una resistencia inicial excelente.

A los 21 días alcanzó un 95% con 26.65 MPa (3807 psi) apenas con un 6% por debajo del concreto de control que presento 101% con 28.27 (4038 psi) y a los 28 días la resistencia llegó a 104% superando el diseño y apenas con un 6% por debajo de la resistencia mostrada por los cilindros de control. La falla es similar a los cilindros de control en forma de 45° y grietas verticales en el tercio medio, observándose adherencia de la fibra de fique con la matriz haciendo que el concreto no estalle de forma abrupta como es el caso de los cilindros con concreto convencional.

## RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

Se realizaron los ensayos de resistencia a la flexión de las muestras tomadas del concreto con y sin adición de fibra de fique. Las dimensiones de las vigas son 0.15 m x 0.15 m x 0.53 m (figura 8).



Fig. 8. Rotura a flexión de concreto con adición de fibra de fique.

Los datos arrojados por las pruebas en laboratorio para la flexión (tablas VIII a X), se destacan por mantenerse por debajo del 17% 2.36 MPa (11.6 Módulo de Rotura, M.R.) en los cinco diseños de mezcla, mientras que las muestras de concreto convencional superan el diseño de mezcla con un buen margen. Las vigas que alcanzaron la más alta resistencia son la de diseño de 14 MPa con un 17% 2.36 MPa (11.6 M.R), seguida por la viga de diseño de 28 MPa con un 16% (4.5 MPa) (16 M.R), siguiendo el diseño de 17.5 MPa con 16% (2.9 MPa) (12.8 M.R) le sigue el diseño de 21 MPa

Tabla VIII. Concreto convencional y concreto con adición de fibra de fique 28 MPa (4000 PSI).

Tiempo de curado	Diseño	Resistencia		%Alcanzado
		(PSI)	MPa	
7 Días	Concreto convencional	3060	21.42	76%
	Fique al 0.3%	3423	23.96	86%
21 Días	Concreto convencional	4038	28.27	101%
	Fique al 0.3%	3807	26.65	95%
28 Días	28 Días	4419	30.93	110%
	Fique al 0.3%	4152	29.06	104%

Tabla IX. Concreto convencional y concreto con adición de fibra de fique (14 MPa (2000 psi), 17.5 MPa (2500 psi), 21 MPa (3000 psi), 24.5 MPa (3500 psi) y 28 MPa (4000 psi).

Tiempo de curado	Diseño	Resistencia			% Alcanzado
		M.R.	F'c (psi)	MPa	
28 Días	Concreto 14 MPa	29.1	2113	14,8	106%
	psi fique al 1.5%	11.6	337	2,36	17%
	Concreto 17.5 MPa	32.4	2625	18,4	105%
	fique al 1.5%	12.8	410	2,9	16%
	Concreto 21 MPa	38	3611	25,3	120%
	fique al 1.5%	9.3	215	1,51	7%
	Concreto 24.5 MPa	41.5	4300	30.1	123%
	fique al 1.5%	8.3	174	1,22	5%
	Concreto 28 MPa	44.1	4871	34.1	122%
	fique al 1.5%	16	640	4,5	16%

Tabla X. Concreto convencional y concreto con adición de fibra de fique 48 MPa (4000 psi).

Tiempo de curado	Diseño	Resistencia			%Alcanzado
		M.R.	F'c (psi)	MPa	
28 Días	Concreto 28 MPa	44.1	4871	34.1	122%
	fique al 0.3%	42	4412	31	110%

con un 7% (1.51 MPa) (9.3 M.R) y en último lugar, la resistencia presentada por el diseño de 24.5 MPa con un 5% (1.22 MPa) (8.3 M.R). Las muestras en su totalidad fallaron en el tercio medio como las vigas de concreto convencional, la adherencia de la fibra de fique a la matriz de concreto es mínima ya que al fallar se desprende con facilidad quedando expuesta en forma de pelos en toda la sección transversal exhibida por la ruptura. De la misma manera que en las muestras para los ensayos a compresión, las vigas para la flexión de diseño de mezcla a 28 MPa, son los que poseen mejor comportamiento mecánico, en este caso alcanza un 17% (2.36 MPa) (11.6 M.R).

Se tomó la decisión de hacer un nuevo ensayo con el mismo diseño a 28 MPa con modificación en la adición de fibra de fique en un porcentaje total de un 0.3% al igual que el ensayo a compresión, en donde presenta un excelente comportamiento, pues las vigas superan a los 28 días en un amplio margen al diseño, llegando a un 110% (31 MPa) (42 M.R), pero estando aún por debajo de la resistencia presentada por los especímenes control que alcanzó 122% para (34.1 MPa) (44.1 MR).

La falla ocurre al igual que en las vigas de control en el tercio medio, la adherencia de la fibra de fique a la matriz del concreto es buena pero la fibra no es suficientemente fuerte para mitigar la fractura principal, sin embargo es suficiente para controlar que en la fractura no ocurra desprendimiento de la matriz del concreto.

## CONCLUSIONES

### Resistencia a compresión

Se determinó mediante las pruebas realizadas en la investigación que un porcentaje óptimo para la adición de fibra de fique al concreto es de un valor cercano a 3.3 Kg/m<sup>3</sup> de concreto o 0.3% de peso con respecto al agregado fino.

Los contenidos de fibra de fique adicionados al concreto no causan ni producen mayor resistencia a la compresión en ninguna de las probetas, al contrario la resistencia presentada estuvo por debajo de la de los cilindros de concreto convencional, a excepción de los datos arrojados para el diseño de 28 MPa que con una adición de 0.3% de fibra de fique se obtuvo una resistencia de 29.06 MPa.

Se evidenció que en el ensayo de falla en los cilindros con porcentajes de fibra de 1.5% y 2.0% no hubo rotura sino esponjamiento, mientras que en los de 0.3%, 0.5% y 1.0% si se produjo la rotura.

Al incrementar porcentajes de fibra por encima de 0.5% se presentaron disminuciones considerables en la resistencia a la compresión y en su densidad haciéndolo más liviano y más susceptible a la falla. Ejemplo: para el diseño de 28 MPa con adición de 2.0%, la resistencia fue de 3.79 MPa con una densidad de 1755.66 Kg/m<sup>3</sup> y para el porcentaje de 1.5% la resistencia fue de 8.53 MPa y su densidad fue de 1967.64 Kg/m<sup>3</sup>. Concluyéndose que entre más cantidad de fibra de fique se adicione a la mezcla menor será su resistencia.

En algunas ocasiones el concreto con fibra de fique después de la falla, el cilindro continúa soportando la presión, deformándose lentamente hasta su aplastamiento sin desprendimiento de la matriz, dándole como una característica de flexibilidad pero controlando su fisuración. Este fenómeno se hace más evidente en las probetas con 2.0% y 1.5%, donde no se superó el 15% y el 61% respectivamente de la resistencia de diseño.

La adición de fibra de fique al concreto por encima de 1.0% que equivale a unos 11 Kg/m<sup>3</sup> de concreto, no tiene buena manejabilidad, haciendo que su aplicación en los moldes y en la obra sea tediosa. Lo anterior ocasionado por la gran cantidad de aire generado en la mezcla, lo que reduce la densidad del concreto.

### Resistencia a flexión

Los contenidos de fibra de fique adicionados al concreto no causaron aumento en la resistencia a la flexión. La adición de 1.5%, redujo considerablemente el Módulo de Rotura. Para el caso de 14 MPa con un módulo de rotura de 29.1 Kg/cm<sup>2</sup> el módulo de rotura con 1.5% de adición de fibra fue de 11.6 Kg/cm<sup>2</sup>. Sin embargo, con la adición de fibra de fique de 0.3%, la resistencia a la flexión alcanzo un valor para 28 MPa de diseño de 31 MPa correspondiente a 42 kg/cm<sup>2</sup>.

Las fibras de fique le dan al concreto capacidad de cohesión, observándose que aun fracturada la viga, la fibra de fique sigue adherida a la matriz del concreto hasta que se separan los dos fragmentos de la viga por la acción de la presión.

Los concretos diseñados por esfuerzos a la flexión como sucede en la pavimentación de calles y vías, por recomendación de la PCA se encuentran entre 40 y 45 Kg/cm<sup>2</sup> según la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO, Asociación Americana de Carreteras Estatales y Transportes Oficiales). El resultado de 42 Kg/cm<sup>2</sup> obtenido con una cantidad de cemento de 421 Kg/m<sup>3</sup> de concreto con una relación agua cemento de 0.48 deja ver que la adición de 0.3% de fibra de fique, para este caso permite trabajar concretos con módulos de rotura confiables.

### RECOMENDACIONES

Se recomienda trabajar con cantidades iguales o inferiores a 3 Kg de fibra de fique por metro cúbico de concreto.

También se aconseja que se trabaje con longitudes de fibra de fique entre 2 a 5 centímetros por su manejabilidad, para no correr el riesgo de que se adhieran las fibras entre sí.

Para que la fibra de fique en el concreto funcione adecuadamente debe quedar distribuida homogéneamente.

El uso de las fibras en el concreto con un porcentaje menor o igual a 0.3% de peso con respecto al agregado fino o 3.3 Kg/m<sup>3</sup> de concreto, pueden sustituir parcialmente o reducir los aceros y mallas metálicas que cumplan la función de evitar fisuras.

Se puede aplicar el concreto fibroreforzado en la construcción de losas, dinteles y vigas de mediana longitud no superiores a 3 metros, para controlar su fisuramiento pero sin llegar a prescindir de su refuerzo principal.

La fibra de fique afectó la resistencia a la compresión y flexión en adiciones superiores a 0.5% con respecto al agregado fino, pero inferior a esta cantidad muestra un comportamiento aceptable en su resistencia a compresión y flexión, lo cual enseña que la utilización de la fibra natural en las construcciones es viable.

### REFERENCIAS

1. Pérez, Jorge. El fique, su taxonomía, cultivo y tecnología. Compañía de Empaques, Medellín, Colombia, 1974.

2. Mahecha Vega, Gilberto Emilio. Vegetación del territorio CAR: 450 especies de sus llanuras y montañas, Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, 2004.
3. Guía ambiental para el sub sector fiquero, Ministerio del medio ambiente, Bogotá, Colombia, p. 21, 2002.
4. Sánchez de Guzmán, Diego. Colección básica del concreto 4, Concretos y morteros manejo y colocación en obra, Bogota: Asociación Colombiana de Productores de Concreto, 2001.



**INGENIERÍAS**  
**en línea**

[www.ingenierias.uanl.mx](http://www.ingenierias.uanl.mx)



The image shows a row of eight journal covers for 'Ingenierías' magazine, numbered 36 through 43. Each cover features a different graphic design and title. The covers are arranged horizontally from right to left, with issue 36 on the far right and issue 43 on the far left.