

Reforzamiento de elementos de concreto con materiales compuestos

Ing. Juan Trinidad Aguilar Conde¹

RESUMEN

La presencia de humedad, soluciones ácidas, sales o álcalis, originan un proceso de oxidación en el Acero de refuerzo de elementos de concreto reforzado, ocasionando una disminución en la vida útil del elemento. Las propiedades de materiales conocidos como compuestos, ha motivado en diferentes instituciones su estudio y posible aplicación en las obras de Ingeniería Civil. El presente trabajo consistió en realizar ensayos a la flexión en vigas de concreto simple de 15 x 15 cm de sección y 45 cm de longitud, usando como refuerzo fibra de vidrio tipo E, poliéster conocida como Resinmex MR 250 y catalizador K2000 y determinar su influencia en la resistencia de las vigas. Se elaboraron y probaron 8 vigas: una sin refuerzo, que sirviera de elemento base y las otras siete con material compuesto de 30 cm de longitud colocado en el centro de la cara de tensión, variando la cantidad de fibras longitudinales, transversales y en las caras laterales, usando como material de liga entre la fibra y el concreto el propio poliéster. Los resultados de las pruebas arrojan un incremento en la resistencia de 32% con refuerzo de las caras laterales y de hasta un 41% al aumentar de 16 a 22 las tiras longitudinales y no fue significativo para las piezas con fibras transversales.

Palabras clave: Resistencia a la flexión, materiales compuestos, fibra de vidrio, poliéster, módulo de elasticidad de un compuesto, pruebas de carga.

INTRODUCCIÓN

El concreto reforzado es el material compuesto más usado en la industria de la construcción. Este material combina las propiedades básicas de resistencia del concreto (compresión) con las del acero de refuerzo (tensión). Su durabilidad y comportamiento dependen del proporcionamiento de sus constituyentes, de su fabricación, del medio ambiente y de los agentes químicos que inducen a la corrosión del acero, entre otros.

El advenimiento de los materiales compuestos a base de polímeros ha conducido al estudio de cómo aplicarlos a elementos de concreto para usarlos como refuerzo externo y observar si se logra aumentar la vida útil del elemento.

Apoyándose en investigaciones realizadas en el Centro de Investigación Científica de Yucatán

A.C. (CICY), (May,1998) respecto a las propiedades de elementos compuestos usando fibra de vidrio tipo E, con poliéster ortoftálico de reactividad media, conocido comercialmente como Resinmex MR 250, en el Instituto Tecnológico de Mérida (ITM) se llevó a cabo el presente trabajo con el fin de conocer los aspectos teóricos del uso de los polímeros y definir la factibilidad de su uso en elementos de concreto sujetos a flexión.

1.- Materiales compuestos a base de polímeros. Los materiales constituyentes del compuesto utilizado son la fibra de vidrio tipo E; poliéster Resinmex MR 250 y catalizador K2000, que sirve para lograr el fraguado y curado del poliéster, resultando lo que se conoce como matriz.

De acuerdo a la curva de reactividad, proporcionada por el fabricante, el poliéster MR 250 a una temperatura de 25 ° C fragua con el catalizador a los 10 minutos de haberse mezclado, por lo que la impregnación del catalizador a la resina debe de hacerse en ese

¹ Profesor de ciencias de la Tierra, Ingeniería Civil, ITM.

tiempo para evitar la formación de grumos y/o burbujas.

La presentación comercial de la fibra de vidrio es en forma de mecha con 50 hebras, integradas en forma de sogas o petatillo entrecruzado. Debido a lo cerrado del entrecruzado de la fibra, resulta difícil lograr una humectación adecuada que conduzca a un material compuesto eficiente. Es por ello que se recurrió a deshebrar el petatillo y usar tiras de la fibra.

Partiendo del hecho de que la resistencia del concreto a la tensión es baja, el compuesto se colocará en la zona de tensión y la eficacia de la transmisión de los esfuerzos dependerá de la adherencia entre el concreto y el material compuesto. Como material de unión se usó el propio poliéster – catalizador y de ahí la importancia de lograr una impregnación uniforme.

Siendo el módulo de elasticidad del compuesto una de las propiedades que definen su resistencia, se han planteado diferentes teorías para su determinación en función de sus constituyentes, conduciendo a la siguiente ecuación: (Hill, 1965)

$$E = E_f V_f + E_m V_m \quad (1)$$

Donde:

E = módulo de elasticidad del compuesto.

E_f = módulo de elasticidad de la fibra

V_f = volumen de la fibra en %.

E_m = módulo de elasticidad de la matriz

V_m = volumen de la matriz en %.

Considerando los valores de 78.8 GPa para la fibra de vidrio y de 1.4 GPa para la matriz (May, 1998), se llega a la ecuación siguiente que fue la utilizada en los cálculos:

A una de las vigas no se le adicionó material compuesto; a la segunda se le proporcionó 15 cm longitudinales de compuesto al centro en una de las caras y a la tercera igual a la anterior más cuatro tiras longitudinales en las caras laterales y se procedió a su prueba. Este proceso inicial se hizo a fin de observar las dificultades de humectación (por lo cerrado de la fibra); dificultad de mantener alineada la fibra; tiempo de mezclado y agitado del poliéster con el

$$E = 78.8V_f + 1.4 V_m \text{GPa} (2)$$

2.- Fabricación de especímenes de concreto. La norma ASTM C 78 (1994) se refiere a la forma de realizar la prueba de un elemento de concreto induciendo falla por flexión. Se utiliza una pieza de concreto simple de 15 x 15 cm de sección transversal y 45 cm de longitud entre apoyos. La carga puede ser aplicada en el centro del claro o dos cargas aplicadas en los tercios. Esta última fue la utilizada en este trabajo por inducir flexión pura en el tercio medio de la pieza. Para las pruebas se utilizó la máquina ADR Digital Readout Unit, con capacidad de 100 KN, que tiene el inconveniente de carecer de manómetro que indique la forma progresiva en la que se va aplicando la carga, ni contempla la lectura de deformaciones. Cabe señalar que este tipo de ensaye no esta orientado hacia pruebas estructurales sino hacia pruebas de pavimentos de concreto.

METODOLOGÍA

En el laboratorio de Ingeniería Civil del ITM, se procedió a dosificar el concreto para una resistencia de 175 kg/cm² a los 28 días conforme a las normas del ACI, usando agregados de la región y cemento tipo I . Se llegó a una proporción en volumen de 1:2:3, con relación agua cemento de 0.8 y revenimiento de 8 cm. Se alcanzó una resistencia de 143 kg/cm² a los 7 días y de 203 kg/cm² a los 28 días. Con esta mezcla se elaboraron tres especímenes conforme a la norma ASTM C78 (1994).

Se analizaron las características y propiedades de los elementos del material compuesto, para su integración a las vigas.

catalizador y su esparcimiento sobre la pieza; evitar la formación de zonas sin material compuesto y dificultades en la realización de las pruebas . Con la experiencia lograda se elaboraron otras ocho vigas con las mismas características de sección y longitud, y tres cilindros de prueba, arrojando una resistencia de 240 kg / cm² a los 28 días. A las vigas se les proporcionó curado por inmersión en agua por 7 días, dejándolas luego bajo techo y a los 28 días

se procedió a la integración de la fibra de vidrio y a la impregnación del poliéster. Se colocaron fibras en el sentido longitudinal de dos tipos (16 y 22 tiras); en algunas vigas se colocaron tiras en sentido transversal y/o en caras laterales. En la Tabla 1 se presentan las vigas numeradas de acuerdo a la forma de colocación de las tiras de la fibra de vidrio. En algunas de las vigas, ante la dificultad de impregnación en las caras laterales y su uniformidad, se utilizó material aislante y aplicación de carga por peso por 24 horas . Una vez terminadas las piezas se dejaron bajo techo por 30 días para dejar fraguar y verificar el comportamiento del compuesto con el tiempo. Se observaron al cabo de ese tiempo burbujas y algunos grumos, pero en lo general no existían fisuras ni desprendimientos o separaciones del compuesto respecto a las caras de concreto. Solo en dos de las vigas (5 y 7) se observó falta de humectación uniforme.

Se plantearon las fórmulas básicas de resistencia a la tensión ocasionada por flexión y se compararon con los resultados obtenidos en las pruebas.

Tabla 1. Localización de la fibra en las vigas

Pieza No.	Número de tiras		
	Longitudinales	Transversales	Laterales
1	0	0	0
2	16	0	0
3	16	6	0
4	16	0	4
5	16	6	4
6	22	6	0
7	22	0	4
8	22	6	4

RESULTADOS

1.- Ya se mencionó que la máquina utilizada para las pruebas no contempla la lectura de

deformaciones, por lo que se le adaptó un deformímetro y al momento de realizar los ensayos fue prácticamente imposible realizar lecturas confiables carga-deflexión , debido a la dificultad de controlar la velocidad de aplicación de la carga. Respecto a la carga de falla, la viga sin refuerzo alcanzó 20 KN de resistencia, y en las otras vigas se observó que la aplicación de la carga se lograba con cierta facilidad hasta alcanzar los 20 KN y a partir de ella, la presencia del compuesto ofrecía resistencia a la aplicación de carga adicional hasta lograr la falla de la viga. La falla ocurrió en todas las vigas al separarse el material compuesto del concreto.

En la Tabla 2 se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 2. Carga de falla en las vigas

Viga No.	1	2	3	4	5	6	7	8
Carga de falla (KN)	20	22	25	29	29	31	28	33

2.- Calculo de deformaciones en la falla.

2.1 .- Deformación sin considerar el material compuesto.

$$M_a = 4 (f'c)^{1/2} I t^{-1} - M_{pp} \quad (3)$$

$$f = 0.5 M_a t I^{-1} \quad (4)$$

$$\epsilon = f E_c^{-1} \quad (5)$$

2.2.- Deformación con material compuesto.-

$$M_b = 0.167 P I - M_{pp} \quad (6)$$

$$f = n M_b y I_1^{-1} \quad (7)$$

$$\epsilon = f E_c^{-1} \quad (8)$$

Tabla 3. Propiedades del material compuesto

Número de fibras	% fibra	% matriz	Módulo elástico E (GPa)	Relación modular n
16	43	57	34.68	1.63
22	59	41	47.066	2.21

Donde:

$f'c$ = resistencia a la compresión del concreto = 240 kg/cm²

l = longitud de la viga entre apoyos = 45 cm

t = peralte de la viga de concreto = 15 cm

I_1 = momento de inercia considerando el material compuesto

E = módulo de elasticidad del material compuesto, ecuación (2)

f = esfuerzo en la fibra extrema en tensión.

ϵ = deformación unitaria en la misma fibra.

h = espesor del material compuesto = 1 mm

b = ancho de la viga = 15 cm

I = momento de inercia sin compuesto = 4218 cm⁴

M_{pp} = momento debido al peso propio = 12.26 N - m

M_a, M_b = momento esperado sin compuesto y con compuesto

E_c = módulo de elasticidad del concreto = 21.28 GPa

y = distancia del eje centroidal a la fibra extrema en tensión

En la Tabla 4 se presentan los resultados obtenidos de los ensayos y de los cálculos logrados con las ecuaciones presentadas (3 a 8) y usando fórmulas para la determinación de centroides y momentos de inercia de secciones transformadas.

Tabla 4. Esfuerzo y deformación con la carga de falla

Pieza	Número de tiras	Carga P (KN)	Momento (KN-m)	Momento de inercia (10 ⁻⁵ m ⁴)	Centroide (10 ⁻² m)	Esfuerzo (MPa)	Deformación unitaria (10 ⁻²)
1		20	1.5122	4.218	7.5	2.69	1.26
2	16	22	1.6655	4.285	7.515	4.761	2.24
3	16	25	1.891	4.285	7.515	5.406	2.54
4	16	29	2.192	4.301	7.5	6.229	2.93
5	16	29	2.192	4.301	7.5	6.229	2.93
6	22	31	2.342	4.3286	7.485	8.95	4.2
7	22	28	2.116	4.3442	7.475	8.048	3.78
8	22	33	2.492	4.3442	7.475	9.477	4.45

CONCLUSIONES

1.- En todas las vigas con material compuesto la falla ocurrió al instante de separarse el compuesto de la superficie del concreto, sin ocurrir ruptura de las fibras, ni alcanzar la deformación calculada en otros trabajos (0.0295, May, 1998), por lo que es muy importante la adhesión entre el compuesto y el concreto para lograr

mayor resistencia.

2.- El uso de material compuesto si proporciona mayor resistencia.

3.- La colocación de refuerzo en las caras laterales si incrementa la carga de ruptura (32 % comparando las vigas 2 y 4).

4.- A mayor densidad de fibra le corresponde mayor

carga de ruptura (41 % comparando las vigas 2 y 6).

5.- La colocación de fibras transversales no incrementa considerablemente la resistencia (13.6 % comparando las vigas 2 y 3).

6.- Las vigas 5 y 7 no conservaron la tendencia de incremento de carga y observando con mayor

detenimiento a estas dos piezas se debe a que había impregnación deficiente en ambas.

7.- Es necesario realizar más pruebas que contemplen el efecto que la intemperie pueda ocasionarle al material compuesto.

REFERENCIAS

1.- May, 1998. “ Degradación de un material compuesto fibra de vidrio resina poliéster por el efecto del agua” . Tesis profesional, Alejandro May Pat, Ingeniería Mecánica , Instituto Tecnológico de Mérida.

2.- ASTM, (1994) “Standard Test Method for flexural strength of concrete”, Annual Book of ASTM Standards 1998, Section 4, Construction, Vol. 04.02 Concrete and Aggregates.

3.- Hill, 1965. “ Theory of Mechanical Properties of Fibre Strengthened Materials: III Self Consistent Model” J. Mech, Phys Solids Vol 13 (1965) p. 189.