

Uso De Malla Tipo 8x8, Elaborado Con Fibras Naturales, Para Reforzamiento Interior De
Elementos De Concreto

Saul Velasco Mosquera

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniería Civil

Director

Ricardo Alfredo Cruz Hernández,

Ph.D.

Codirector

German Adolfo Diaz Ramírez,

Ingeniero Civil, M.Sc

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Ingeniería Civil

Bucaramanga

2023

Dedicatoria

A mis padres José Saúl Velasco y María Denis Mosquera, quienes desde su profunda lucha me han enseñado el respeto por la vida y la priorización de mis responsabilidades.

A Dariela Beltrán, quien fue parte importante de mi carrera enseñándome que mis capacidades siempre serán superiores a mis dudas, su cariño, comprensión y sabiduría me mostraron que los sueños se cumplen en conexión con Dios.

Agradecimientos

Al Dios todo poderoso YHVH, quién con su gracia me cubrió y me acompañó durante todo el proceso, dándome la paz y la tranquilidad emocional, física y financiera para superar los diferentes obstáculos, proporcionándome la fuerza de voluntad suficiente para levantarme cada día en medio de cualquier circunstancia para continuar creyendo que puedo superar cada una de mis dificultades, además de las habilidades y talentos suficientes para creer en mí.

A mi familia que con orgullo apoyaron mi iniciativa por alcanzar el título de Ingeniero Civil, siendo ese motor me impulsara cada día, y el enfoque que me mostrara sin desviación alguna la meta a alcanzar.

A cada uno de mis profesores, quienes con su amor y vasta experiencia se esmeran cada día por impartir sus enseñanzas, incitando un profundo amor por las diferentes ramas de la ingeniería y a mis compañeros de carrera, Cristian Aguilar y Jorge Acosta gil, quienes me brindaron su amistad y apoyo durante todo el proceso.

Tabla de contenido

1. Objetivos.....	12
1.1 Objetivo General.....	12
1.2 Objetivos Específicos.....	12
2. Marco Teórico.....	13
2.1 Materiales compuestos.....	13
2.3 Resistencia a la adhesión.....	13
2.4 Resistencia a flexión.....	14
3. Antecedentes.....	15
4. Metodología.....	17
4.1 Ensayo resistencia a tracción.....	17
4.1.1 Definición de tipo de tejidos.....	17
4.1.2 Fabricación de probetas.....	17
4.1.3 Diseño experimental.....	17
4.1.4 Realización de ensayos.....	18
4.2 Ensayo resistencia a la adhesión.....	18
4.2.1 Fabricación de probetas.....	18
4.2.2 Fabricación de probetas.....	18
4.2.3 Realización de ensayos.....	19
4.3 Ensayo resistencia a la flexión.....	19
4.3.1 Fabricación de probetas.....	19
4.3.2 Diseño experimental.....	20
4.3.3 Realización de ensayos.....	20

5. Resultados	20
5.1 Ensayo resistencia a tracción	20
5.1.1 Curvas esfuerzo vs deformación	20
5.2 Ensayo resistencia a tracción	23
5.2.1 Curvas esfuerzo vs deformación	23
5.3 Ensayo resistencia a la flexión	24
5.3.1 S-F Mortero sin fibra.....	24
5.3.2 F+V: Fibra de polipropileno + Varilla	25
5.3.3 M+TF: Mortero + Tejido fique	26
5.3.4 M+TF+FP: Mortero + Tejido fique + Fibra polipropileno	27
5.3.5 M+TFR: Mortero + Tejido fique con resina	28
5.3.6 M+TFR+FP: Mortero + Tejido fique con resina + Fibras de polipropilenos	29
5.3.7 M+V: Mortero + 2 Varillas No.3	30
5.3.8 M+VA: Mortero + 1 Varillas No.3	31
6. Conclusiones	33
Referencias Bibliográficas	34
Apéndices.....	¡Error! Marcador no definido.
PROTOCOLO DE IMÁGENES 2D Y 3D	¡Error! Marcador no definido.

Lista de Tablas

Tabla 1. <i>Resumen de promedios de datos de ensayos de tracción de tejidos de fique</i>	22
Tabla 2. <i>Resultados de ensayos a flexión para configuración mortero sin fibras</i>	25
Tabla 3. <i>Resultados de ensayos a flexión para configuración Fibra + Varilla</i>	26
Tabla 4. <i>Resultados de ensayos a flexión para configuración Mortero - Tejido Fique</i>	27
Tabla 5. <i>Resultados de ensayos a flexión para configuración Mortero + Tejido Fique + Fibra de polipropileno</i>	28
Tabla 6. <i>Resultados de ensayos a flexión para configuración Mortero-Tejido Fique recubierto..</i>	29
Tabla 7. <i>Resultados de ensayos a flexión para configuración Mortero + Tejido Fique recubierto + Fibra de polipropileno</i>	30
Tabla 8. <i>Resultados de ensayos a flexión para configuración Mortero + 2 Varillas No.3</i>	31
Tabla 9. <i>Resultados de ensayos a flexión para configuración Mortero + 1 Varilla No.3</i>	32
Tabla 10. <i>Resumen de resultados de ensayos a flexión</i>	32

Lista de Figuras

Figura 1. Idealización ensayo flexión a 4 puntos	15
Figura 2. Montaje de probetas de tracción propuesta. a) tejido tipo 1, b) tejido tipo 2, c) tejido tipo 3, 4) tejido recubierto tipo 2.	18
Figura 3. <i>Montaje de ensayos de pull-out</i>	19
Figura 4. <i>Montaje de pruebas a flexión 4 puntos</i>	20
Figura 5. <i>Curva esfuerzo vs deformación tipo 1 tejidos crudos de fique</i>	21
Figura 6. <i>Curva esfuerzo vs deformación tipo 2 tejidos crudos de fique</i>	21
Figura 7. <i>Curvas esfuerzo vs deformación tipo 3 tejidos crudos de fique</i>	21
Figura 8. <i>Curva esfuerzo vs deformación tipo 2 de tejidos recubiertos con PUOG de fique</i>	22
Figura 9. <i>Curvas de Resistencia al corte interfacial vs desplazamiento</i>	23
Figura 10. <i>Valores promedio IFSS vs desplazamiento</i>	23
Figura 11. <i>Curva de fuerza vs deformación para mortero sin fibra</i>	24
Figura 12. <i>Curva de fuerza vs deformación para fibra de polipropileno más varilla</i>	25
Figura 13. <i>Curva de fuerza vs deformación para mortero más tejido de fique</i>	26
Figura 14. <i>Curva de fuerza vs deformación para mortero más tejido de fique más fibra de polipropileno</i>	27
Figura 15. <i>Curva de fuerza vs deformación para mortero más tejido de fique más fibra de polipropileno</i>	28
Figura 16. <i>Curva de fuerza vs deformación para mortero más tejido de fique con resina más fibras de polipropileno</i>	29
Figura 17. <i>Curvas de fuerza vs deformación para mortero más tejido de fique con resina</i>	30
Figura 18. <i>Curva de fuerza vs deformación para mortero más varilla No.3</i>	31

Resumen

Título: Uso De Malla Tipo 8x8, Elaborado Con Fibras Naturales, Para Reforzamiento Interior De Elementos De Concreto *

Autor: Saul Velasco Mosquera **

Palabras Clave: Mallas de fique, mortero, resistencia a tracción, resistencia a la adherencia, resistencia a flexión.

Descripción:

En este proyecto se estudian experimentalmente el comportamiento a tracción de 4 tipos de mallas de fique; siendo 3 de estas, configuraciones de hilo sencillo, doble y 8 hilos con tejido crudo y una última configuración de hilo doble modificada con poliuretano en óxido de grafito (PU-OG) siguiendo el estándar ASTM D 6637; seguidamente se estudia el comportamiento de resistencia a la adhesión entre la malla de fique cruda y modificada con una matriz cementicia siguiendo el método de Dalalbashi con el fin de establecer la menor longitud que permita una correcta adherencia entre ambos materiales, denominada longitud crítica o longitud de desarrollo y finalmente, se estudia el comportamiento a flexión de cuatro puntos de elementos ya reforzados interiormente con mallas de fique crudas o con resina siguiendo la norma ASTM C75-02. De esta manera fue posible establecer las configuraciones con más hilos que mejoran la resistencia a tracción de la malla de fique cruda y que la resistencia de tejidos modificados aumenta considerablemente frente a los no modificados. Además, se establece que la longitud de desarrollo para el sistema mortero/malla de fique es de 30 mm y finalmente, que los elementos reforzados con malla de fique cruda o con resina no presentan mejoras en la resistencia máxima a flexión frente a los elementos no reforzados, pero sí contribuye en la ductilidad del sistema mortero/malla de fique.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Ingeniería Civil. Director: Ricardo Alfredo Cruz Hernández. Ingeniero Civil. Ph.D.. Codirector: German Adolfo Diaz Ramírez. Ingeniero Civil. M.Sc.

Abstract

Title: Use of 8x8 Type Mesh, Made with Natural Fibers, for Interior Reinforcement of Concrete Elements *

Author(s): Saul Velasco Mosquera **

Key Words: Fique mesh, mortar, tensile strength, adherence strength, flexural strength.

Description:

In this project, the tensile behavior of 4 types of fique meshes is studied experimentally; 3 of these being configurations of single, double and 8 threads with raw fabric and a last configuration of double thread modified with polyurethane in graphite oxide (PU-OG) following the ASTM D 6637 standard; then the behavior of resistance to adhesion between the raw fique mesh and modified with a cementitious matrix is studied following the Dalalbashi method in order to establish the shortest length that allows a correct adhesion between both materials, called critical length or length of development and finally, the flexural behavior of four points of elements already internally reinforced with raw fique meshes or with resin is studied following the ASTM C75-02 standard. In this way it was possible to establish that configurations with more threads improve the tensile strength of the raw sisal mesh and that the strength of modified fabrics increases considerably compared to unmodified ones. In addition, it is established that the development length for the mortar/fique mesh system is 30 mm and finally, that the elements reinforced with raw fique mesh or with resin do not present improvements in the maximum resistance to flexion compared to non-reinforced elements. reinforced but does contribute to the ductility of the mortar/fique mesh system.

* Degree Work

** Faculty of Physicomechanical Engineering. School of Civil Engineering. Civil Engineering. Director: Ricardo Alfredo Cruz Hernández. Civil engineer. Ph.D. Co-director: German Adolfo Diaz Ramírez. Civil engineer. M.Sc.

Introducción

El sector de la construcción se considera a nivel mundial como una de las principales fuentes de contaminación medioambiental debido al alto consumo de recursos naturales y las grandes emisiones de CO₂; por esto, estudios alrededor del mundo apuntan hacia el uso de materiales sostenibles que cumplan con requisitos tales como un bajo consumo energético para su fabricación y un bajo impacto sobre el medio ambiente.

Uno de los materiales que se destacan actualmente en la construcción sostenible es la fibra de origen vegetal, la cual ha incrementado su uso como refuerzo de materiales compuestos, principalmente por sus favorables propiedades mecánicas, su baja huella de carbono y su potencial como una alternativa al refuerzo de acero convencional.

En resumen, es conocido que las fibras naturales, entre ellas las de fique, poseen propiedades físico-mecánicas que eventualmente podrían permitir su consideración como fases de refuerzo para diferentes materiales compuestos de matrices cementicias; sin embargo, dado que no se tiene el conocimiento suficiente acerca del comportamiento mecánico de tejidos producidos con fibras naturales de fique ni sobre la influencia de estos sobre el desempeño mecánico de los materiales compuestos que se proponen reforzar, sus aplicaciones aún se mantienen en sus etapas iniciales de desarrollo.

Teniendo en cuenta ventajas de la fibra de fique como su costo económico, sus propiedades mecánicas específicas favorables en comparación con otros tejidos de fibras inorgánicas y la posibilidad de fabricación en las regiones rurales lo cual conlleva la posibilidad de generación de nuevos negocios, crecimiento económico, generación de empleo, mejoramiento de la calidad de vida, y la contribución a la erradicación de la pobreza sin afectación del medio ambiente; se plantea la posibilidad de mejorar las propiedades mecánicas de un elemento estructural de concreto

mediante un sistema de reforzamiento con textiles modificados nano estructuralmente.

Con base en lo anterior y con el ánimo de dar continuidad al estudio del comportamiento del material compuesto entre el concreto y la malla de fique natural y modificada, es preciso comprender la interacción que puedan tener dichas fibras con la matriz cementicia, por lo que es esencial realizar ensayos para caracterizar propiedades mecánicas como la resistencia a tracción y flexión, además evaluar la adherencia entre ambos materiales y analizar los resultados obtenidos de las fibras modificadas con poliuretano en óxido de grafito (PU-OG) y malla modificada con hidróxido de sodio (NaOH).

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Estudiar el comportamiento a flexión de elementos de concreto con reforzamiento interior de mallas de fique tejidas modificadas para generar mayor adherencia.

1.2 Objetivos Específicos

Estudiar el comportamiento a tracción de la malla de fique modificada con la aplicación de resina con poliuretano en Óxido de Grafeno (PU-OG) siguiendo la norma ASTM D 6637[1].

Analizar el comportamiento de resistencia a la adhesión (Pull-Off) entre la malla de fique y una matriz cementicia mediante siguiendo el método de Dalalbashi [2].

Evaluar el modo de falla por flexión de elementos de concreto reforzados con mallas de fique crudas y modificadas siguiendo la NTC 2871[3].

2. Marco Teórico

2.1 Materiales compuestos

Los materiales híbridos o compuestos son materiales de más de una fase, obtenidos a través de combinaciones artificiales de diferentes constituyentes, que buscan mejorar las propiedades que cada componente posee por separado.

La mayoría de los materiales compuestos se componen de dos fases; la fase continua o matriz, la cual sostiene la fase dispersa y la fase dispersa o de refuerzo la cual está separada e inmersa en la matriz; y es con esta última que se busca mejorar principalmente las propiedades mecánicas de la matriz, sin que se vean afectadas otras propiedades como la densidad; todo lo anterior a bajos costos de producción, lo que hace que los materiales compuestos sean los materiales de ingeniería más comerciales en la actualidad. [4]

2.2 Resistencia a tracción

Se entiende por resistencia a tracción al esfuerzo máximo al que se puede someter una probeta tras aplicarle carga axial, de forma que si se supera la resistencia máxima la probeta alcanza su fallo o rotura [5].

Los esfuerzos a tracción se determinan siguiendo la ecuación 1.

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Donde: σ = Esfuerzo, MPa P= carga, N A= área de sección transversal (mm²)

2.3 Resistencia a la adhesión

Las pruebas de desprendimiento (pull-off) son técnicas experimentales usadas para evaluar la adherencia entre las fases de un compuesto cementicio, también llamada resistencia al corte interfacial (IFSS- Interfacial shear strength). [6]

Para calcular la resistencia interfacial (IFSS) se utiliza la ecuación 2.

$$r = \frac{P}{A} \quad (2)$$

Donde: r = Esfuerzo Interfacial en MPa, P = carga en N, A = área de sección embebida (mm²).

La superficie embebida corresponde al perímetro de la sección transversal multiplicado por la longitud crítica, en este caso se utilizaron varias longitudes para determinar la longitud crítica adecuada para el sistema mortero/tejidos de fique.

El perímetro P_e de la sección transversal se calcula como se observa en la ecuación 3.

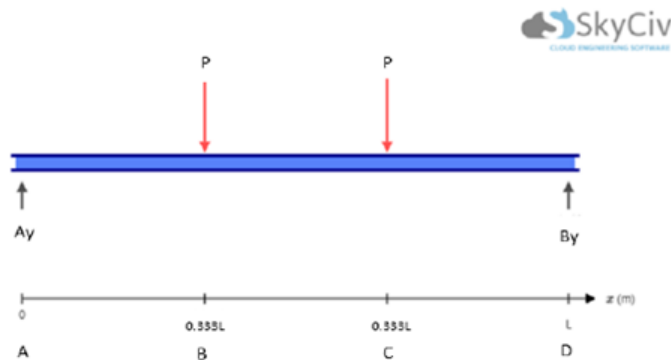
$$P_e = 2(Lado * espesor)(3)$$

2.4 Resistencia a flexión

Se entiende que un material es resistente a flexión si al aplicar cargas que provoquen momentos flectores en la sección transversal de la probeta, esta es capaz de resistirlos. [5].

Así la resistencia a flexión corresponde al mayor momento flector que una probeta, miembro o elemento estructural puede soportar sin alcanzar la rotura.

En un ensayo de flexión de 4 puntos, la probeta se ubica sobre dos apoyos y se somete a carga con dos puntos de presión. En la figura 1 se presenta una idealización de un ensayo de 4 puntos.

Figura 1. Idealización ensayo flexión a 4 puntos

Donde: L =Longitud del elemento en m, P = carga en kN, y A_y y B_y corresponde a los valores de las reacciones en los apoyos en kN.

El momento flector máximo para el ensayo a 4 puntos presentado en la figura 1 se calcula siguiendo la ecuación 4:

$$M = P * a \quad (4)$$

Donde: M =Momento flector máximo en kN-m, P = carga en kN, a = Distancia entre apoyo y aplicación de la carga, en este caso correspondiente a un tercio de la longitud total de la viga (m).

3. Antecedentes

Este proyecto hace parte de un proyecto global que realiza una campaña experimental con MGMs, con el propósito de determinar la influencia del contenido de finos y el índice de plasticidad en el comportamiento hidromecánico del material, en la tabla 1 se presenta los tipos MGMs a analizar en el proyecto global. Dado lo anterior, en este proyecto se realiza la campaña experimental para el material MGM3 (con 18% de finos e índice de plasticidad de 15%) y

SBG_C1 (subbase de control con 8.5% de finos e IP de 0%).

De estos ensayos se pudo evidenciar un aumento a la ductilidad y mejoramiento al comportamiento de las estructuras. mostrando los morteros reforzados con textiles como una alternativa para mejorar las condiciones de edificaciones existentes. [7]

En el año 2018, se realizó un estudio de un “Material Compuesto base mortero y malla de fique como refuerzo de vigas de concreto” [8] en este proyecto se realizaron pruebas a tensión a tres tipos de mallas, con separaciones de hilos distintas, algunas con nudos en las uniones y otras sin estos nudos. Aunque se tuvieron resultados de los tres tipos de mallas, se determinó que la más adecuada para reforzamientos por permitir el flujo correcto es la de tipo 8x8 sin anudado.

Se le practicaron pruebas de tensión a 10 unidades de dimensiones 10cm x 20cm, en la que se encontró una resistencia promedio de 425N, y una capacidad para resistir esfuerzos de 483 MPa. Resultado satisfactorio, considerando que se encuentra en los rangos de esfuerzo último del acero.

De igual forma, se realizó una serie de pruebas con vigas tipo de dimensiones 15cm x 15cm x 150cm, en la que se generaron cuatro tipos de probetas nombradas con las letras “S” (Sin recubrimiento), “L” (con recubrimiento en cara inferior), “U” (con recubrimiento en cara inferior y costados) y “O” (con recubrimiento en las 4 caras).

Como era de esperarse, las vigas con refuerzo tuvieron una mayor capacidad de carga, se logró que la falla se presentara controlada por tensión, excelente comportamiento esperado en el diseño de vigas, brindando la posibilidad a la malla de perfilarse como refuerzo suficiente para los esfuerzos de tensión presentes en los elementos estructurales. Además, tuvo una capacidad de carga al menos 2.4 veces la capacidad de carga que, en una viga sin reforzamiento, lo cual fue lo suficientemente esperanzador para continuar con el estudio de este proyecto.

Posteriormente, en el año 2020 se realizó un estudio sobre elementos laminares de matriz

cementicia reforzados con mallas de fique químicamente tratadas. [9] Proyecto que avanzó con el diseño y fabricación de mobiliario urbano (mesa y banca), pese a las dificultades técnicas presentadas, se tuvo como resultado una alta capacidad de carga, concluyendo que los elementos presentaron excelentes resultados.

4. Metodología

4.1 Ensayo resistencia a tracción

4.1.1 Definición de tipo de tejidos

Se utilizaron 4 tipos de probetas, un set de 10 probetas por cada tipo de tejido crudo así:

- Tipo 1: TC01, densidad 12 x 14 hilos por decímetro, hilo sencillo 1.14 Nm con 1.5 vueltas x pulgada.
- Tipo 2: TC02, densidad 8 x 8 hilos por decímetro, hilo doble 1.14 Nm con 1.5 vueltas x pulgada.
- Tipo 3: TC03, densidad 24 x 24 hilos por decímetro, 8 hilos 1.14 Nm con 1.5 vueltas x pulgada.
- Tipo 4: TR02, densidad 8 x 8 hilos por decímetro, hilo doble 1.14 Nm con 1.5 vueltas x pulgada, Recubierto con PU-OG.

4.1.2 Fabricación de probetas

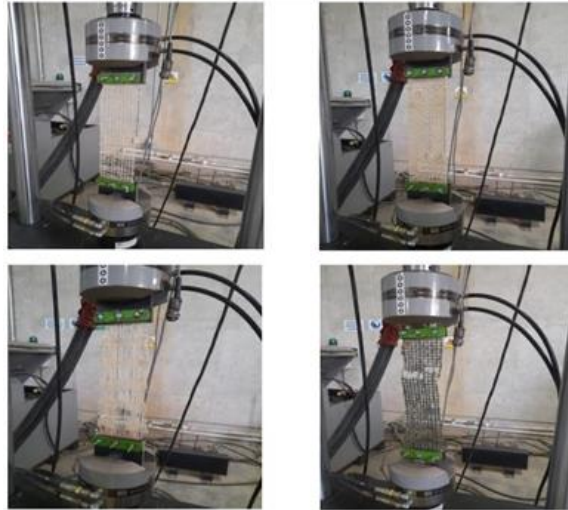
Las probetas se fabricaron según las especificaciones de la norma ASTM D6637, con una longitud de prueba de 300 mm y un ancho de 100 mm, adicionalmente 30 mm para ajustar cada mordaza.

4.1.3 Diseño experimental

Los ensayos de resistencia a tracción de los tejidos se llevaron a cabo siguiendo la norma ASTM D6637[1]. Se aseguró que las probetas tuvieran al menos tres intersecciones de entramado

y dos aperturas.

Figura 2. Montaje de probetas de tracción propuesta. a) tejido tipo 1, b) tejido tipo 2, c) tejido tipo 3, 4) tejido recubierto tipo 2.



4.1.4 Realización de ensayos

De acuerdo con la norma ASTM D6637 se realizaron los ensayos de tracción de tejidos de fique a una velocidad de 300 mm/min. Se utilizó una precarga de 5 kN previo al inicio de cada prueba. Se registró la carga en Kilonewtons y el desplazamiento en mm.

4.2 Ensayo resistencia a la adhesión

4.2.1 Fabricación de probetas

Las probetas se fabricaron con una longitud de 150 mm. En el diseño se utilizaron tejidos tipo 2 (Densidad 8 x 8 hilos por decímetro, hilo doble 1.14 Nm con 1.5 vueltas x pulgada), debido a que su comportamiento en las pruebas de tracción fue el menos disperso y mostraron una mejora en la resistencia a tracción del compuesto con el recubrimiento.

4.2.2 Fabricación de probetas

Esta prueba se basó en el método propuesto por Dalalbashi [2], en el cual el mortero es fijado en forma de sección rectangular en la parte inferior, y el tejido embebido es traccionado en

la dirección axial simulando una prueba de tracción como se ilustra en la Figura 3.

Figura 3. *Montaje de ensayos de pull-out*



4.2.3 Realización de ensayos

Se realizaron las pruebas pull-out a una matriz cementicia con tejidos de fibras embebidos internamente. Las longitudes embebidas fueron 15, 30, 45 y 60 mm. Se realizaron dos ensayos en cada tipo de longitud embebida a una velocidad de (10 mm/min). Se utilizó una precarga de 5 N previo al inicio de cada prueba. Se registró la carga en Newtons y el desplazamiento en mm.

4.3 Ensayo resistencia a la flexión

4.3.1 Fabricación de probetas

Las probetas corresponden a vigas con dimensiones 0.05 x 0.15 x 1 m reforzadas con las siguientes configuraciones:

S-F: Mortero sin fibra

F+V: Mortero con fibra de polipropileno + Varilla

M+TF: Mortero + Tejido fique

M+TF+FP: Mortero + Tejido fique + Fibra polipropileno

M+TFR: Mortero + tejido fique con resina

M+TFR+FP: Mortero + Tejido fique con resina + Fibras de polipropilenos

M+V: Mortero + 2 Varillas No 3

M+VA: Mortero + 1 Varilla

4.3.2 Diseño experimental

Esta prueba se llevó a cabo siguiendo la norma NTC 2871 [3] para un ensayo de flexión a 4 puntos. En la figura 4 se presenta el montaje del ensayo a flexión.

Figura 4. Montaje de pruebas a flexión 4 puntos



4.3.3 Realización de ensayos

Se realizaron los ensayos de flexión a cuatro puntos aplicando cargas iguales en ambos puntos de presión a una velocidad de 10 mm/min. Se registró la carga aplicada en Kilonewtons y el desplazamiento en mm.

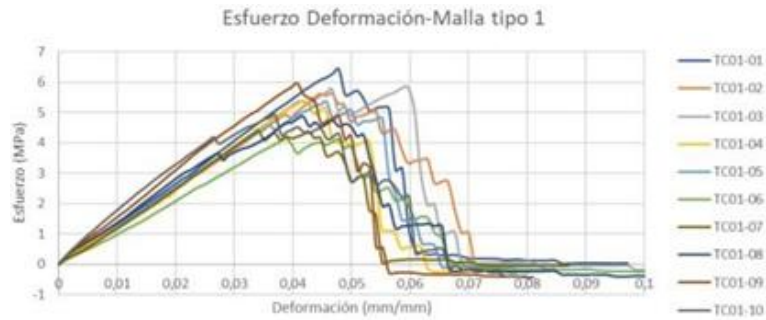
5. Resultados

5.1 Ensayo resistencia a tracción

5.1.1 Curvas esfuerzo vs deformación

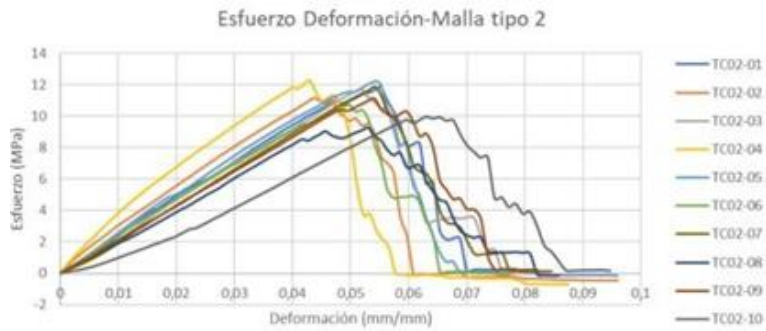
Las figuras 5,6,7 y 8 representan los datos obtenidos a partir de los ensayos de tracción. Se evidencia la dispersión propia del comportamiento de la fibra de fique.

Figura 5. Curva esfuerzo vs deformación tipo 1 tejidos crudos de fique



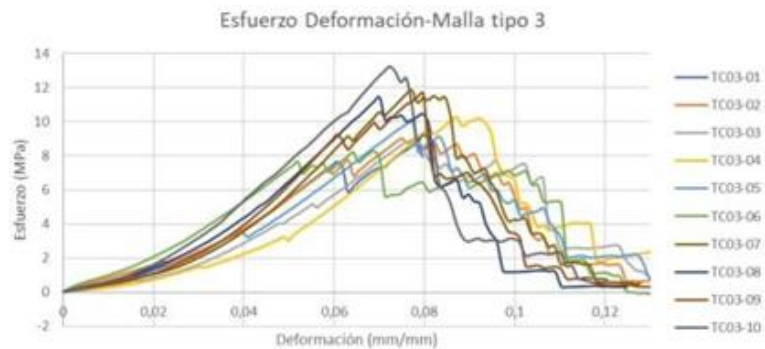
En la figura 5 se presenta el comportamiento a tracción de tejidos tipo 1 (hilo sencillo). Los valores de resistencia máxima a tracción se encontraron entre 4.9 y 6.4 MPa y la deformación se encontró entre 3.4 y 5.9 %.

Figura 6. Curva esfuerzo vs deformación tipo 2 tejidos crudos de fique



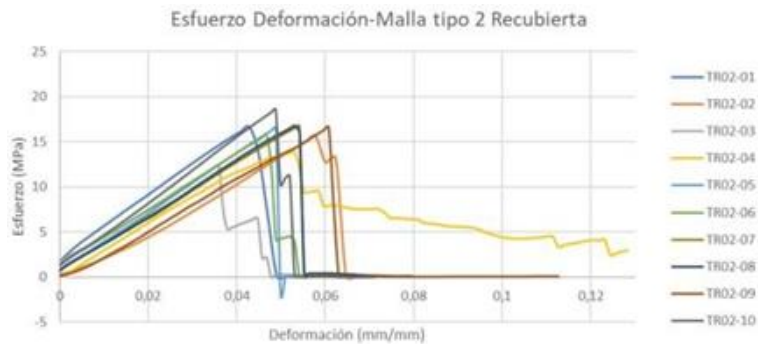
En la figura 6 se observan los resultados de los tejidos crudos tipo 2 (hilo doble) La resistencia a la tracción se ubicó entre 9.2 y 12.2 MPa, con una deformación 4.9 y 6.3%

Figura 7. Curvas esfuerzo vs deformación tipo 3 tejidos crudos de fique



En la figura 7 se observan las curvas esfuerzo vs deformación para el tejido tipo 3 (8 hilos entramados). En este tejido la resistencia a la tracción se ubicó entre 8.3 y 13.2 MPa y se observó un aumento sustancial en la deformación axial de los tejidos, la cual estuvo entre 6.8 y 8.7%.

Figura 8. Curva esfuerzo vs deformación tipo 2 de tejidos recubiertos con PUOG de fique



En la figura 8 se muestran las curvas esfuerzo vs. deformación de los tejidos modificados, recubiertos con PUOG, tipo 2 (hilo doble). Es evidente el aumento en el valor de la resistencia máxima a la tracción de los tejidos recubiertos con PUOG entre valores de 10.7 y 16.5 MPa y con deformación entre 3.5 y 6.1%; sin embargo, las fallas evidenciadas en este tipo de tejido son de tipo frágil en comparación con los tejidos anteriores.

Tabla 1. Resumen de promedios de datos de ensayos de tracción de tejidos de fique

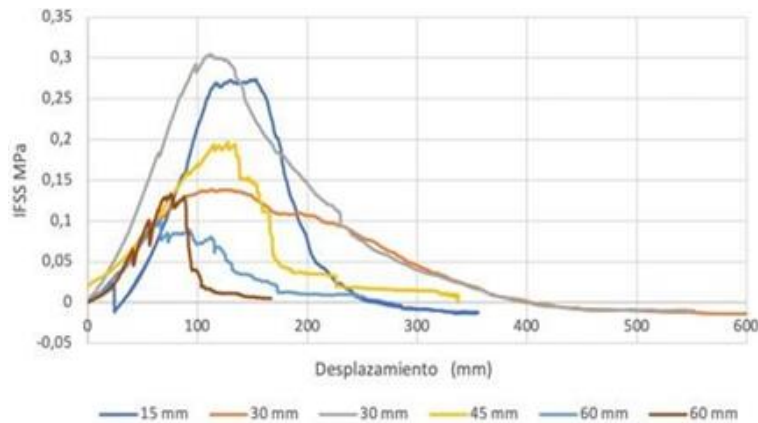
Malla	Max (MPa)	Max %
TC01	5.286	4.3
TC02	11.205	5.2
TC03	10.338	7.6
TR02	15.950	5.0

En la tabla 1 se resumen los promedios de los datos encontrados. Se destaca la influencia del tipo de tejido sobre la resistencia máxima y la deformación axial.

5.2 Ensayo resistencia a tracción

5.2.1 Curvas esfuerzo vs deformación

Figura 9. Curvas de Resistencia al corte interfacial vs desplazamiento

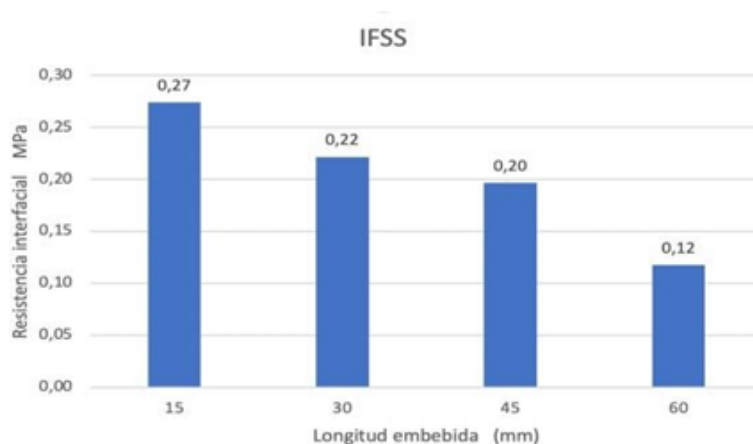


En la figura 9 se muestran las diferentes curvas IFSS (Interfacial shear strength) vs desplazamiento de las probetas ensayadas. Se evidencia que la resistencia al corte es mayor para aquellas probetas con longitudes de desarrollo menores (15 y 30 mm), resultado esperado dado que a menor superficie embebida se inducen esfuerzos mayores.

En estas dos probetas se produjo extracción del tejido de la matriz cementicia.

Sin embargo, para las probetas de 45 y 60 mm de inmersión de tejido en el mortero, el tejido no fue extraído de la matriz y la falla se produjo por tracción en las fibras.

Figura 10. Valores promedio IFSS vs desplazamiento



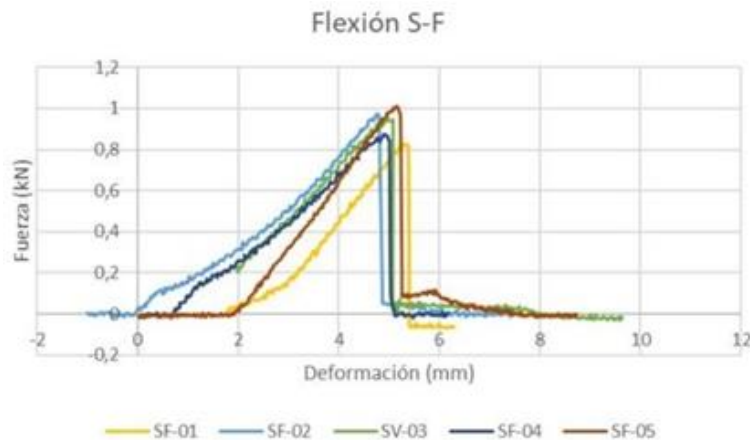
En la figura 10 se registran los valores promedio de esfuerzo de corte interfacial para las diferentes longitudes de desarrollo ensayadas.

El comportamiento de la IFSS se ajusta a lo esperado. Cabe resaltar que el desprendimiento de las fibras no se produce de manera homogénea para todos los hilos, sino que estos van desprendiéndose uno a uno hasta presentar la falla, es por esta razón que la caída no se presenta en un solo punto, sino que la caída se da paulatinamente.

5.3 Ensayo resistencia a la flexión

5.3.1 S-F Mortero sin fibra

Figura 11. Curva de fuerza vs deformación para mortero sin fibra



En la figura 11 se presenta la curva de fuerza vs deformación para la configuración de mortero sin fibra. Se observa una caída abrupta en la gráfica, sin almacenamiento de energía luego de la falla. Se considera falla frágil.

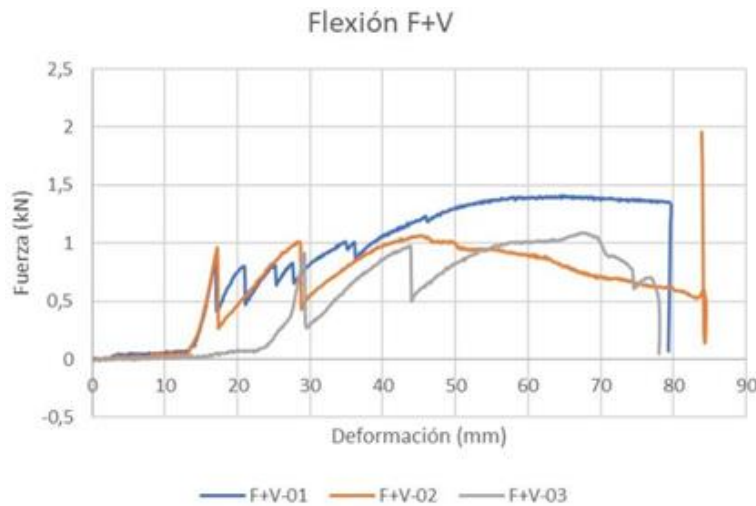
Tabla 2. Resultados de ensayos a flexión para configuración mortero sin fibras

Mortero sin fibras			
Probeta	Carga Máxima	Deformación máxima	Momento Máximo
	(kN)	mm	kN-m
SF-01	0.41	5.27	0.12
SF-02	0.49	4.77	0.15
SF-03	0.47	5.08	0.14
SF-04	0.44	4.89	0.13
SF-05	0.51	5.15	0.15
Media	0.46	5.03	0.14
Desviación	0.034	0.179	0.010
Coef. variación	0.072	0.036	0.072

En la tabla 2 se presentan los resultados del ensayo de flexión para configuración de mortero sin fibras. Se observa una carga máxima media de 0.46 kN y una resistencia a flexión máxima promedio de 0.14 kN-m.

5.3.2 F+V: Fibra de polipropileno + Varilla

Figura 12. Curva de fuerza vs deformación para fibra de polipropileno más varilla



En la figura 12 se presenta la curva de fuerza vs deformación para la configuración de mortero más fibra de polipropileno más varilla. Se observa un ascenso paulatino en la resistencia a flexión, hasta llegar a su máximo donde la resistencia cae de manera abrupta en la falla.

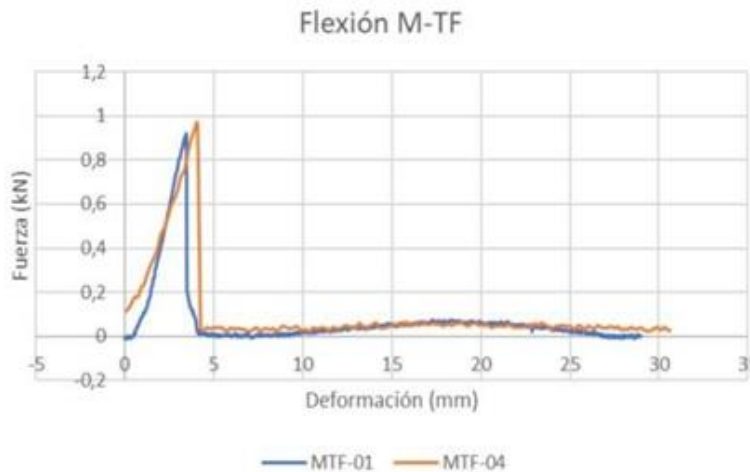
Tabla 3. Resultados de ensayos a flexión para configuración Fibra + Varilla

Fibra + Varilla			
Probeta	Carga Máxima	Deformación máxima	Momento Máximo
	(kN)	mm	kN-m
F+V-01	0.71	64.95	0.21
F+V-02	1.79	54.97	0.54
F+V-03	0.98	83.89	0.29
F+V-04	0.55	67.20	0.16
Media	1.01	67.75	0.30
Desviación	0.479	10.390	0.144
Coef. variación	0.477	0.153	0.477

En la tabla 3 se presentan los resultados del ensayo de flexión para configuración fibra de polipropileno más varilla. Se observa una carga máxima media de 1.01 kN y una resistencia a flexión máxima promedio de 0.144 kN-m.

5.3.3 M+TF: Mortero + Tejido fique

Figura 13. Curva de fuerza vs deformación para mortero más tejido de fique



En la figura 13 se presenta la curva de fuerza vs deformación para la configuración de mortero más tejido de fique. Se observa una caída abrupta en la gráfica, con muy poco almacenamiento de energía luego de la falla. Se considera falla frágil.

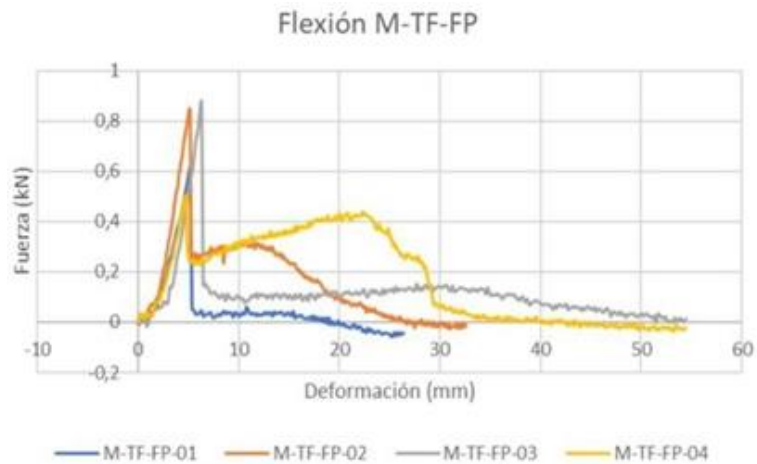
En la tabla 4 se presentan los resultados del ensayo de flexión para configuración fibra de polipropileno más varilla. Se observa una carga máxima media de 0.45 kN y una resistencia a flexión máxima promedio de 0.004 kN-m.

Tabla 4. Resultados de ensayos a flexión para configuración Mortero - Tejido Fique

Mortero-Tejido Fique			
Probeta	Carga Máxima	Deformación máxima	Momento Máximo
	(kN)	mm	kN-m
M-TF-01	0.46	3.45	0.14
M-TF-02	0.43	4.06	0.13
Media	0.45	3.76	0.13
Desviación	0.013	0.307	0.004
Coef. variación	0.029	0.082	0.029

5.3.4 M+TF+FP: Mortero + Tejido fique + Fibra polipropileno

Figura 14. Curva de fuerza vs deformación para mortero más tejido de fique más fibra de polipropileno



En la figura 14 se presenta la curva de fuerza vs deformación para la configuración de mortero más tejido de fique más fibra de polipropileno. En ella, se observa una primera caída importante que representa una pérdida parcial de resistencia, la resistencia restante se pierde

paulatinamente.

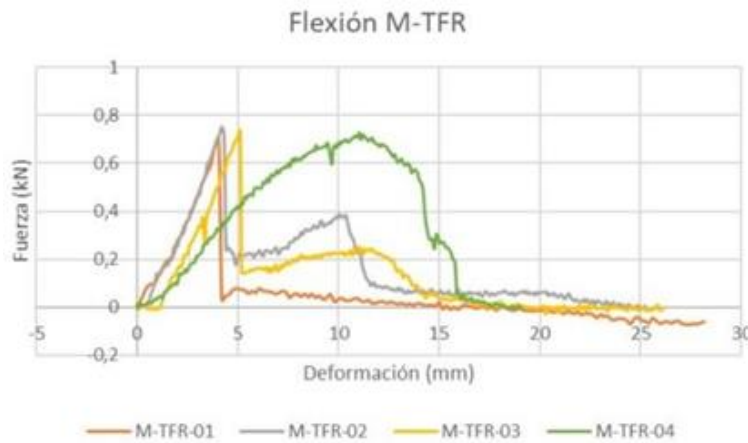
Tabla 5. Resultados de ensayos a flexión para configuración Mortero + Tejido Fique + Fibra de polipropileno

Mortero tejido fique y fibra de polipropileno			
Probeta	Carga Máxima (kN)	Deformación máxima (mm)	Momento Máximo (kN-m)
M-TF-FP-01	0.31	5.18	0.09
M-TF-FP-02	0.42	5.10	0.13
M-TF-FP-03	0.44	6.31	0.13
M-TF-FP-04	0.25	4.78	0.08
Media	0.35	5.34	0.11
Desviación	0.079	0.577	0.024
Coef. Variación	0.221	0.108	0.221

En la tabla 5 se presentan los resultados del ensayo de flexión para configuración Mortero más tejido de fique más fibra de polipropileno. Se observa una carga máxima media de 0.35 kN y una resistencia a flexión máxima promedio de 0.11 kN-m.

5.3.5 M+TFR: Mortero + Tejido fique con resina

Figura 15. Curva de fuerza vs deformación para mortero más tejido de fique más fibra de polipropileno



En la figura 15 se presenta la curva de fuerza vs deformación para la configuración de

mortero más tejido de fique con resina. En ella se observa una primera caída importante de resistencia; sin embargo, luego de la falla, el material aun permite deformaciones y va perdiendo la resistencia restante paulatinamente.

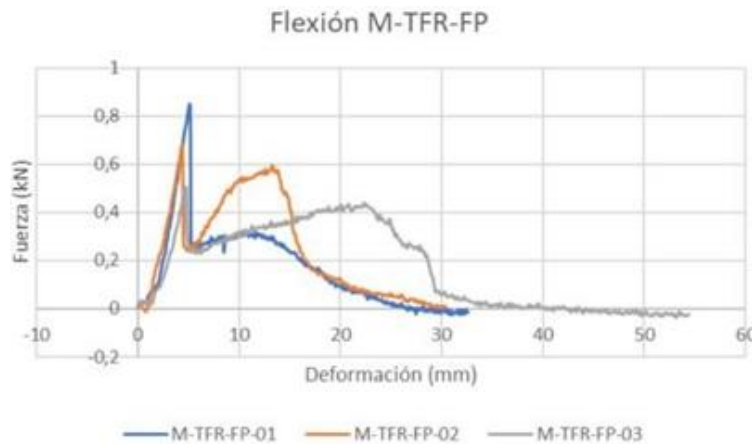
Tabla 6. Resultados de ensayos a flexión para configuración Mortero-Tejido Fique recubierto

Mortero con tejido fique recubierto.			
Probeta	Carga Máxima	Deformación máxima	Momento Máximo
	(kN)	mm	kN-m
M-TFR-01	0.35	4.06	0.11
M-TFR-02	0.38	4.21	0.11
M-TFR-03	0.37	5.12	0.11
M-TFR-04	0.36	11.04	0.11
Media	0.36	6.11	0.11
Desviación	0.009	2.876	0.003
Coef variación	0.024	0.471	0.024

En la tabla 6 se presentan los resultados del ensayo de flexión para configuración Mortero más tejido de fique recubierto. Se observa una carga máxima media de 0.36 kN y una resistencia a flexión máxima promedio de 0.11 kN-m.

5.3.6 M+TFR+FP: Mortero + Tejido fique con resina + Fibras de polipropilenos

Figura 16. Curva de fuerza vs deformación para mortero más tejido de fique con resina más fibras de polipropileno



En la figura 16 se presenta la curva de fuerza vs deformación para la configuración de mortero más tejido de fique con resina más fibras de polipropileno. Se observa que no hay una falla abrupta en la que la resistencia roce el cero; sino que se presenta una pérdida de resistencia parcial y la resistencia sobrante se va perdiendo paulatinamente hasta llegar al cero; eso indica que esta falla no es frágil.

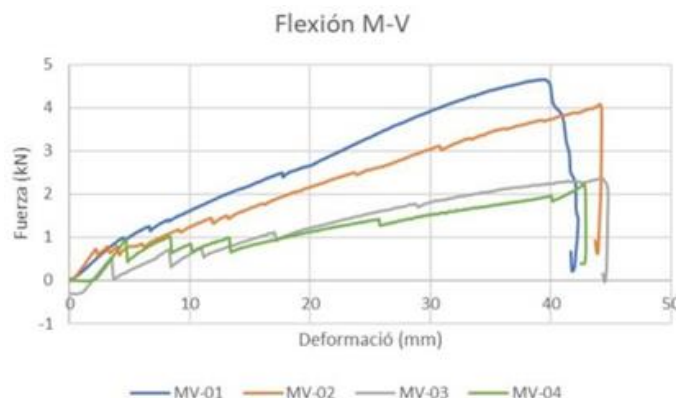
Tabla 7. Resultados de ensayos a flexión para configuración Mortero + Tejido Fique recubierto + Fibra de polipropileno

Mortero con tejido fique recubierto y fibra de polipropileno			
Probeta	Carga Máxima	Deformación máxima	Momento Máximo
	(kN)	mm	kN-m
M-TFR-FP-01	0.42	5.10	0.13
M-TFR-FP-02	0.34	4.41	0.10
M-TFR-FP-03	0.25	4.78	0.08
Media	0.34	4.76	0.10
Desviación	0.070	0.281	0.021
Coef variación	0.208	0.059	0.208

En la tabla 7 se presentan los resultados del ensayo de flexión para configuración Mortero más tejido de fique recubierto más fibra de polipropileno. Se observa una carga máxima media de 0.34kN y una resistencia a flexión máxima promedio de 0.10 kN- m

5.3.7 M+V: Mortero + 2 Varillas No.3

Figura 17. Curvas de fuerza vs deformación para mortero más tejido de fique con resina



En la figura 17 se presenta la curva de fuerza vs deformación para la configuración de mortero más dos varillas de acero número tres.

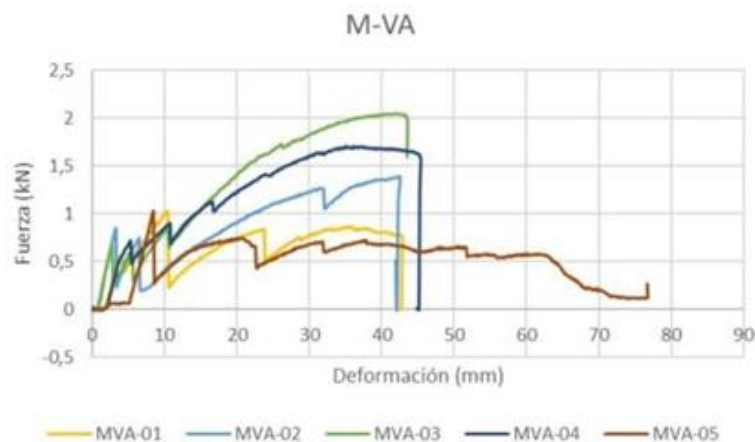
Tabla 8. Resultados de ensayos a flexión para configuración Mortero + 2 Varillas No.3

Mortero más dos varillas No 3			
Probeta	Carga Máxima	Deformación máxima	Momento Máximo
	(kN)	mm	kN-m
MV-01	2.33	39.35	0.70
MV-02	2.04	44.04	0.61
MV-03	1.18	44.26	0.36
MV-04	1.12	42.76	0.34
Media	1.67	42.60	0.50
Desviación	0.525	1.963	0.157
Coef variación	0.315	0.046	0.315

En la tabla 8 se presentan los resultados del ensayo de flexión para configuración Mortero más dos varillas número tres. Se observa una carga máxima media de 1.67 kN y una resistencia a flexión máxima promedio de 0.50 kN-m

5.3.8 M+VA: Mortero + 1 Varillas No.3

Figura 18. Curva de fuerza vs deformación para mortero más varilla No.3



En la figura 18 se presenta la curva de fuerza vs deformación para la configuración de mortero más una varilla número tres.

Tabla 9. Resultados de ensayos a flexión para configuración Mortero + 1 Varilla No.3

Mortero más varilla #3			
Probeta	Carga Máxima	Deformación máxima	Momento Máximo
	(kN)	mm	kN-m
MVA-01	0.51	10.47	0.15
MVA-02	0.70	42.28	0.21
MVA-03	0.13	1.45	0.04
MVA-04	0.85	35.09	0.26
MVA-05	0.51	8.47	0.15
Media	0.54	19.55	0.16
Desviación	0.241	16.065	0.072
Coef variación	0.444	0.822	0.444

En la tabla 9 se presentan los resultados del ensayo de flexión para configuración Mortero más una varilla número tres. Se observa una carga máxima media de 0.54kN y una resistencia a flexión máxima promedio de 0.16 kN-m.

Tabla 10. Resumen de resultados de ensayos a flexión

	Carga máxima	Deformación máxima	Momento Máximo	Mejora
	(kN)	mm	kN-m	%
S-F	0.46	5.03	0.14	0%
F+V	1.01	67.75	0.30	117%
M+TF	0.45	3.76	0.13	-4%
M+TF+FP	0.35	5.34	0.11	-23%
M+TFR	0.36	6.11	0.11	-21%
M+TFR+FP	0.34	4.76	0.10	-27%
M+V	1.67	42.60	0.50	260%
M+VA	0.54	19.55	0.16	17%

En la tabla 10 se presenta el resumen de los resultados promedios del ensayo de flexión para todas las configuraciones realizadas. La columna de mejora corresponde al porcentaje de mejora con respecto a la probeta sin fibras. Se observa que en aquellas configuraciones en las que se utilizó TF (Tejido de fique) no hubo mejora en la resistencia máxima a flexión, mientras que en aquellas donde hubo fibra más varilla o solo varillas, si hubo mejoras considerables.

6. Conclusiones

Los tejidos con hilos dobles o de más hilos de entramados presentaron mayor resistencia frente a tejidos sencillos. La resistencia de los tejidos tipo 2 aumentó con el tratamiento de recubrimiento en cerca de 25% y la deformación axial se mantuvo en valores similares antes y después del tratamiento.

La longitud de desarrollo o longitud crítica del sistema mortero/malla de fique, se seleccionó en 30 mm siendo esta la última longitud en la que se produjo la extracción del tejido de la matriz cementicia.

La resistencia a flexión máxima de las probetas que contenían tejido de fique no aumentó con respecto a aquellas que no contenían fibras.

La falla de aquellas probetas que no contenían fibras corresponde a una falla frágil, en la que la caída de la resistencia es abrupta; mientras que las probetas reforzadas con tejidos de fique presentaron una falla paulatina y lograron conservar cierta resistencia a flexión luego de la falla principal.

El tejido de fique proporciona ductilidad al sistema mortero/malla de fique; sin embargo, su capacidad a tracción no logra ser tan importante como la de las varillas de acero.

Referencias Bibliográficas

- “Standard Test Method for Determining Tensile Properties of Geogrids by the Single or Multi-Rib Tensile Method 1”, doi: 10.1520/D6637_D6637M-15.
- A. Dalalbashi, B. Ghiassi, D. v. Oliveira, and A. Freitas, “Effect of test setup on the fiber-to-mortar pull-out response in TRM composites: Experimental and analytical modeling,” *Compos B Eng*, vol. 143, pp. 250–268, Jun. 2018, doi: 10.1016/j.compositesb.2018.02.010.
- “Norma Técnica Ntc Colombiana 2871 Método De Ensayo Para Determinar La Resistencia Del Concreto A La Flexión (Utilizando Una Viga Simple Con Carga En Los Tercios Medios) E: Test Method For Determine Flexural Strength Of Concrete (Using Simple Beam With Third Point Loading),” 2004.
- S. S. Pendhari, T. Kant, and Y. M. Desai, “Application of polymer composites in civil construction: A general review,” *Compos Struct*, vol. 84, no. 2, pp. 114–124, Jul. 2008, doi: 10.1016/j.compstruct.2007.06.007.
- W. F. (William F. Riley, L. D. Sturges, D.H. Morris, and R. Arriola Juárez, *Mecánica de materiales*. Limusa/Wiley, 2001.
- H. Jamshaid, R. Mishra, J. Militký, and M.T. Noman, “Interfacial performance and durability of textile reinforced concrete,” *The Journal of The Textile Institute*, vol. 109, no. 7, pp. 879–890, Jul. 2018, doi: 10.1080/00405000.2017.1381394.
- Y. A. Al-Salloum, N. A. Siddiqui, H. M. Elsanadedy, A. A. Abadel, and M. A. Aqel, “Textile-Reinforced Mortar versus FRP as Strengthening Material for Seismically Deficient RC Beam-Column Joints,” *Journal of Composites for Construction*, vol. 15, no. 6, pp. 920–933, Dec. 2011, doi: 10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000222.
- H. Shim et al., “Material Compuesto Base Mortero y malla de fique como refuerzo de vigas de

concreto,” *Adv Opt Mater*, vol. 10, no. 1, pp. 1–9, 2018.

A. D. Suhendra, R. D. Asworowati, and T. Ismawati, “Elementos laminares de matriz cementicia reforzados con mallas de fique químicamente tratadas,” *Akrab Juara*, vol. 5, no. 1, pp. 43–54, 2020.