

**ELEMENTOS LAMINARES DE MATRIZ CEMENTICIA REFORZADOS CON  
MALLAS DE FIQUE QUÍMICAMENTE TRATADAS**

**ANGELO MATEO CORREA GONZÁLEZ  
JUAN CAMILO JEREZ LARROTTA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2020**

**ELEMENTOS LAMINARES DE MATRIZ CEMENTICIA REFORZADOS CON  
MALLAS DE FIQUE QUÍMICAMENTE TRATADAS**

**ANGELO MATEO CORREA GONZÁLEZ  
JUAN CAMILO JEREZ LARROTTA**

**Proyecto de grado para optar el título de ingeniero civil**

**Director de proyecto de grado  
RICARDO ALFREDO CRUZ HERNÁNDEZ  
Ingeniero civil, PhD**

**Codirector de proyecto de grado  
GERMÁN ADOLFO DÍAZ RAMÍREZ  
Diseñador industrial, MSc**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2020**

## **DEDICATORIA**

A mi madre, por su sacrificio y esfuerzo que ha hecho para que yo pueda  
alcanzar este logro y por brindarme su apoyo incondicional durante toda mi  
carrera

A mi padre, por su atención y aliento en los momentos difíciles  
A mi compañero de proyecto, al que agradezco su compromiso y paciencia  
para sacar el proyecto adelante

## **ANGELO MATEO CORREA GONZÁLEZ**

A mis padres por su apoyo incondicional y su sacrificio, gracias a ellos pude  
cumplir mi meta.

A mis hermanos por sus consejos y sus palabras de aliento que me  
incentivaron a ser mejor cada día.

A toda mi familia por confiar en mí.

A la señora Anita y su familia por acogerme en su hogar y hacerme sentir  
parte de él.

A mi compañero de proyecto por lo buenos y malos momentos que pasamos  
y por todas las cosas que aprendimos.

A mis amigos por todos los momentos vividos que me harán recordar  
siempre esta etapa.

## **JUAN CAMILO JEREZ LARROTTA**

## **AGRADECIMIENTOS**

Nuestro mayor sentimiento de gratitud a la empresa Arte Concreto S.A, y el personal encargado de los laboratorios de Materiales de la Universidad Industrial de Santander por el acompañamiento brindado durante el desarrollo de esta investigación.

Agradecimientos a nuestro Director y Codirector por su constante acompañamiento e instrucción durante todo este gran proceso.

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	10
1. OBJETIVOS.....	12
1.1.OBJETIVO GENERAL.....	12
1.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	12
2. MATERIALES Y EQUIPO.....	13
2.1.MATERIALES.....	13
2.1.1. Mallas de fique.....	13
2.1.2. Mezcla de concreto.....	13
2.1.3. Resina epóxica .....	16
2.2.EQUIPO.....	16
3. METODOLOGÍA.....	17
3.1 ALCALINIZACIÓN DE LAS MALLAS DE FIQUE .....	17
3.2 IMPERMEABILIZACIÓN DE LAS MALLAS DE FIQUE .....	18
3.3.PREPARACIÓN DE LOS ESPECÍMENES DE CONCRETO .....	19
3.4.DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOBILIARIO URBANO.....	20
4. RESULTADOS .....	23
4.1 RESISTENCIA A COMPRESIÓN.....	23
4.2 FLEXIÓN .....	24
4.3 ELEMENTOS DE MOBILIARIO URBANO .....	25
5. CONCLUSIONES .....	27
BIBLIOGRAFIA.....	28

## LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Curva granulométrica agregado fino.....	14
Ilustración 2: Curva granulométrica agregado grueso .....	15
Ilustración 3: Equipo Utilizado para ensayos .....	16
Ilustración 4: Tratamiento Alcalino a Mallas de Fique.....	17
Ilustración 5: Imagen SEM de fibras de fique .....	18
Ilustración 6: Elaboración de Formaletas y Rigidización de las mallas de fique con resina epóxica .....	18
Ilustración 7: Probetas de Compresión .....	19
Ilustración 8: Probetas Tipo Viga S y M .....	19
Ilustración 9: Elaboración de Bancas y Placas .....	22
Ilustración 10: Elaboración de Placas .....	22
Ilustración 11: Tipo de falla en Probetas de Compresión.....	23
Ilustración 12: Curva Esfuerzo-Deformación Probetas sin refuerzo de Fique	24
Ilustración 13: Curva Esfuerzo-Deformación Probetas con refuerzo de Fiqu	24
Ilustración 14: Fallas Probetas tipo Viga S y M.....	25
Ilustración 15: Banca sometidas a carga. ....	26
Ilustración 16: Placa sometidas a carga. ....	26

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Propiedades mecánicas del fique.....	13
Tabla 2: Caracterización agregado fino .....	14
Tabla 3: Caracterización agregado grueso .....	15
Tabla 4: Diseño de mezcla .....	15
Tabla 5: Resultados Probetas de Compresión.....	23

## RESUMEN

**TÍTULO:** ELEMENTOS LAMINARES DE MATRIZ CEMENTICIA REFORZADOS CON MALLAS DE FIQUE QUÍMICAMENTE TRATADAS. \*

**AUTOR:** CORREA GONZÁLEZ, Angelo Mateo. JEREZ LAROTTA, Juan Camilo\*\*

**PALABRAS CLAVE:** Fibras tejidas, Fique, Resina epóxica, Hidróxido de Sodio

**DESCRIPCIÓN:** Esta investigación muestra el estudio del comportamiento mecánico de un material compuesto por una matriz cementicia con refuerzo de mallas de fique químicamente tratadas. Se diseñó una mezcla de concreto con resistencia mínima a la compresión de 21 MPa a los 28 días de curado y asentamiento de 22 cm (NTC 396), caracterizando sus agregados mediante los ensayos establecidos por las Normas Técnicas Colombianas. Se elaboraron probetas con y sin refuerzo para determinar su módulo de rotura por el método establecido en la norma INV E 414. Como refuerzo se utilizaron mallas tejidas de fique de hilo doble con densidad lineal 12 hilos/decímetro en la dirección de la trama y urdimbre, las cuales fueron tratadas superficialmente con una solución acuosa de hidróxido de sodio. Por último, se construyeron estructuras de mobiliario urbano (banca y mesa), en las cuales las mallas de fique fueron impregnadas con resina epóxica, para que así estas conserven la forma del elemento al momento de ser utilizadas. Los resultados mostraron que las vigas reforzadas con la malla de fique, el módulo de rotura fue de 3.16 MPa. El elemento tipo banca logró soportar una carga de 200 kg, evidenciando que el refuerzo de mallas químicamente tratadas (NFRC) puede ser utilizado como remplazo total del acero en elementos con bajas solicitaciones de carga.

---

\*Proyecto de Grado

\*\* Facultad de Ingeniería Físico-mecánica. Escuela de Ingeniería Civil. Director: PhD. Ricardo Alfredo Cruz Hernández. Codirector: MsC Germán Adolfo Díaz Ramírez.

## ABSTRACT

**TITLE:** CEMENT-MATRIX LAMELLAR ELEMENTS REINFORCED WITH CHEMICALLY TREATED FIQUE MESH. \*

**AUTHOR:** CORREA GONZÁLEZ, Angelo Mateo. JEREZ LAROTTA, Juan Camilo\*\*

**KEY WORDS:** Woven Fibers, Fique, Epoxy Resin, Sodium Hydroxide

**DESCRIPTION:** This research shows the study of the mechanical behavior of a material composed of a cementitious matrix with reinforcement of chemically treated fique mesh. A concrete mix was designed with a minimum compressive strength of 21 MPa at 28 days of curing and a slump of 22 cm (NTC 396), characterizing its aggregates through the tests established by the Colombian Technical Standards. Reinforced and unreinforced specimens were prepared to determine their modulus of rupture by means of the INV E 414 standard). As for the reinforcement, double-wire meshes with linear density 12 threads/decimeter were used in the weft and warp direction, which were superficially treated with a sodium hydroxide solution impregnated with sodium hydroxide. Finally, urban furniture structures were built (bench and table), in which the fique mesh was impregnated with epoxy resin, so that they retain the shape of the element when used. The results showed that for the beams reinforced with the wire mesh, the modulus of rupture was 3.16 MPa. The bench type element was able to support a load of 200 kg, evidencing that the chemically treated mesh reinforcement (NFRC) can be used as a replacement for steel in elements with low load bearing capacity.

---

\*Bachelor Thesis

\*\* Faculty of Mechanical Physics Engineering. Civil Engineering School. Director: PhD. Ricardo Alfredo Cruz Hernández. Codiretor: MsC Germán Adolfo Díaz Ramírez.

## INTRODUCCIÓN

La construcción sostenible se ha convertido en una tendencia a nivel mundial, llevando a la búsqueda de nuevas alternativas en materiales y métodos constructivos. El uso de recursos renovables es una de las principales prácticas en la actualidad <sup>1</sup>; en la construcción, el material más utilizado es el concreto, ya que puede usarse en estructuras grandes o pequeñas, desde edificios y puentes hasta elementos menos complejos como mobiliario urbano. El concreto presenta baja resistencia a la tracción, por lo cual, es necesario el uso de otros materiales para formar un compuesto resistente y durable, esta función la cumplen desde barras de acero hasta fibras de diferentes materiales que pueden ser de origen vegetal o artificial. Las fibras se pueden disponer de diferentes maneras dentro de una matriz cementicia, ya sea como fibras sueltas o fibras en forma de tejidos <sup>2</sup>.

El concreto reforzado con textiles es un material compuesto de fibras tejidas dentro de una matriz inorgánica, capaz de resistir la aplicación de cargas actuando en diferentes direcciones <sup>3</sup>, utilizado principalmente en la fabricación de elementos con bajas solicitaciones de carga.

Numerosos estudios han reportado beneficios del uso de fibras de origen vegetal en el concreto base cemento Portland, encontrando interesantes propiedades mecánicas y físicas, destacando principalmente su baja densidad y reducción en los costos de producción <sup>4 5</sup>.

---

<sup>1</sup> L. Mercedes y L. Gil, "Comportamiento mecánico de compuestos de matriz cementicia y tejidos de fibras vegetales," 2018. V Congreso Iberoamericano de Hormigón Auto compactante y Hormigones Especiales pp. 465–474,

<sup>2</sup> Ortlepp and S. Ortlepp, "Textile reinforced concrete for strengthening of RC columns: A contribution to resource conservation through the preservation of structures," *Constr. Build. Mater.*, vol. 132, pp. 150–160, 2017.

<sup>3</sup> L. A. S. Kouris and T. C. Triantafillou, "State-of-the-art on strengthening of masonry structures with textile reinforced mortar (TRM)," *Constr. Build. Mater.*, vol. 188, pp. 1221–1233, 2018.

<sup>4</sup> Y. Li, Y. Mai, and L. Ye, "Sisal fiber and its composites: a review of recent developments," *Compos. Sci. Technol.*, vol. 60, no. 2000, pp. 2037–2055, 2000

El fique (*Furcraea andina*), es una planta originaria de la zona andina de América y es muy abundante en Colombia <sup>6</sup>, lo cual la convierte en una buena fuente primaria para ser utilizada en diferentes sectores económicos; la obtención de sus fibras se realiza principalmente de manera artesanal, lo que genera contaminación por el uso de aceites y grasas, ocasionando menor adherencia entre la matriz y la fibra. Para solucionar este problema se pueden someter las mallas a un proceso de alcalinización, que se logra con la inmersión de la malla en una solución acuosa de hidróxido de sodio <sup>7</sup>.

Dado que estas mallas no tienen la suficiente rigidez para mantener su forma dentro de la matriz cementicia, es necesario impregnar cada una de sus fibras con resina termostable, para generar una superficie más consistente y con mejores propiedades a la tracción.

La finalidad de esta investigación fue proponer elementos laminares de matriz cementicia reforzados con mallas de fique químicamente tratadas para ser utilizados en estructuras de mobiliario urbano.

---

<sup>5</sup> S. Delvasto, E. F. Toro, F. Perdomo, and R. M. De Gutiérrez, "An appropriate vacuum technology for manufacture of corrugated fique fiber reinforced cementitious sheets An appropriate vacuum technology for manufacture of corrugated fique fiber reinforced cementitious sheets," *Constr. Build. Mater.*, vol. 24, no. 2, pp. 187–192, 2010.

<sup>6</sup> M. Fernandez, M. Hidalgo, and J. Mina, "Fibras de fique una alternativa para el reforzamiento de plásticos. influencia de la modificación superficial," *Biotecnol. en el Sect. Agropecu. y Agroindustrial*, vol. 12, no. 2, pp. 60–70, 2014.

<sup>7</sup> Suárez C., J.L.; Restrepo M., J.W.; Quinchía F., A. y Mercado N., F.A. (2017). Fibras vegetales colombianas como refuerzo en compuestos de matriz polimérica. *Revista Tecnura*,21(51),5766. Disponible en: 10.14483/udistrital.jour.tecnura.2017.1.a0

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1. OBJETIVO GENERAL**

- Proponer elementos laminares de matriz cementicia reforzados con mallas de fique químicamente tratadas para ser utilizados en estructuras de mobiliario urbano.

### **1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Seleccionar la configuración geométrica de la malla de fibra natural a usarse como refuerzo en atención a su resistencia a la tracción.
- Determinar las características más apropiadas del concreto para ser utilizado en elementos laminares mediante los ensayos establecidos en las normas técnicas colombianas.
- Valorar la influencia del refuerzo químicamente tratado sobre las propiedades mecánicas del compuesto mediante el ensayo INV E 414.
- Diseñar y fabricar un elemento tipo banca y un elemento tipo mesa para ser utilizados como mobiliario urbano.

## 2. MATERIALES Y EQUIPO

### 2.1. MATERIALES

**2.1.1. Mallas de fique.** Las mallas fueron fabricadas por la empresa Santandereana Coohilados del Fonce SA, localizada en el municipio de San Gil, que produce mallas con las siguientes características de hilo: diámetro (0.47 mm), y densidad lineal ( $1400 \frac{kg}{m}$ ), estas mallas fueron hechas con una configuración de hilo doble y una densidad de entramado de  $12 \frac{hilos}{dm}$  en dirección de trama y urdimbre, las principales características de estas mallas se muestran a continuación

Tabla 1: Propiedades mecánicas del fique

Característica	Valor
Densidad Volumétrica, $\frac{kg}{m^3}$	723
Módulo cortante, <b>GPa</b>	8,82
Módulo de elasticidad, <b>GPa</b>	22,06
Coefficiente de Poisson	0,25

Fuente: S. Delvasto, E. F. Toro, F. Perdomo, and R. M. De Gutiérrez, "An appropriate vacuum technology for manufacture of corrugated fique fiber reinforced cementitious sheets" Constr. Build. Mater., vol. 24, no. 2, pp. 187–192, 2010.

**2.1.2. Mezcla de concreto.** Para la preparación de la mezcla se utilizaron los siguientes materiales.

**2.1.2.1. Cemento Portland.** Se utilizó un cemento Portland Tipo I producido por la empresa ARGOS S.A con gravedad específica de  $3095 \text{ kg/m}^3$  obtenida mediante el ensayo NTC 221.

**2.1.2.2. Agregado Fino.** Para el agregado fino se hizo un análisis granulométrico siguiendo el procedimiento descrito en la norma NTC 77, y se caracterizó mediante las Normas NTC 1776 y NTC 237 obteniendo los resultados registrados en la Tabla 2:

Tabla 2: Caracterización agregado fino

Característica	Valor
Humedad	3.11%
Densidad	2567 $\frac{kg}{m^3}$
Absorción	1.52 %
Módulo de finura	2.704

Ilustración 1: Curva granulométrica agregado fino

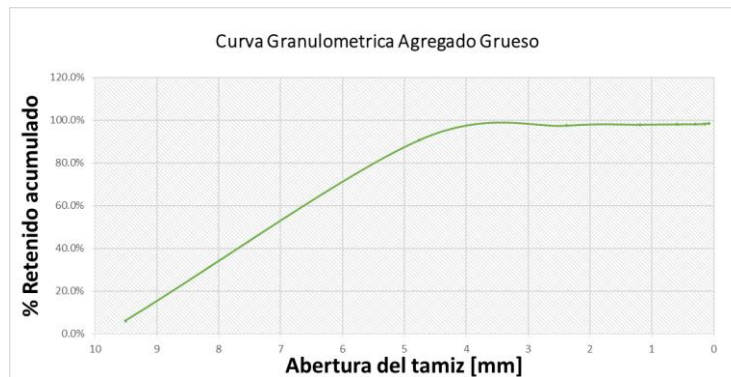


**2.1.2.3 Agregado grueso.** Se utilizó un agregado grueso con un tamaño máximo nominal de 3/8", el cual fue caracterizado mediante los ensayos descritos en las normas NTC 1776, NTC 176, NTC 92 y NTC 77 y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 3: Caracterización agregado grueso

Característica	Valor
Humedad	2.0%
Densidad	2642 $\frac{kg}{m^3}$
Absorción	0.54 %
Peso Unitario Compactado	1505.7 $\frac{kg}{m^3}$

Ilustración 2: Curva granulométrica agregado grueso



**2.1.2.4 Aditivo.** Para aumentar la fluidez de la mezcla y mejorar su manejabilidad se utilizó un aditivo clase E, producido por la empresa SIKA SA de referencia Plastocrete 169 HE que cumple con las normas ASTM C-494 y NTC 1299.

**2.1.2.5 Diseño de mezcla.** El diseño de mezcla se hizo basado en el método ACI 211.1 (American Concrete Institute), y cuenta con la siguiente dosificación:

Tabla 4: Diseño de mezcla

Agua	219,46 Lt
Cemento	420,42 kg
Agregado Fino	836,66 kg
Agregado Grueso	700,58 kg
Aditivo	10,51 kg
Relación A/C	0.578

### 2.1.3. Resina epóxica

Para efectos de rigidización de la malla esta fue sometida a un proceso de impregnación con resina epóxica rígida de base bisfenol A y endurecedor base amina ciclo alifático modificado, en proporción 1:1, la cual es distribuida por la empresa Colquimicos S.A.

## 2.2. EQUIPO

El ensayo de flexión fue realizado de acuerdo a la norma INV E 414, en una máquina hidráulica Universal de Ensayos mecánicos MTS 810 (Material Test System).

El ensayo de compresión fue realizado de acuerdo a la norma NTC 673, utilizando la máquina digital para ensayos de concreto a compresión PC 42.

Ilustración 3: Equipo Utilizado para ensayos



### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1 ALCALINIZACIÓN DE LAS MALLAS DE FIQUE

Las mallas fueron sometidas a un proceso de alcalinización para remover hemicelulosa, lignina y demás ácidos grasos y monosacáridos presentes en la superficie de fibras vegetales, las cuales afectan la interacción con la matriz <sup>8</sup>. Este proceso consistió en la inmersión de las fibras en una solución acuosa de Hidróxido de Sodio (NaOH) disuelto al 1 %  $\frac{w}{v}$ , durante 30 minutos con agitación constante. Posteriormente se realizó un lavado con agua des-ionizada durante el mismo periodo de tiempo para neutralizar el PH de la malla. Por ultimo las mallas de fique fueron secadas a 60°C durante 12 horas.

Ilustración 4: Tratamiento Alcalino a Mallas de Fique

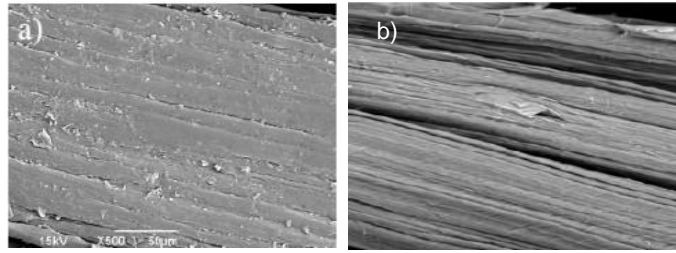


Este tratamiento, no solo remueve impurezas sino también aumenta la textura de la superficie de la fibra, lo cual ayuda a adherir mejor el tejido a la matriz cementicia. El efecto del tratamiento superficial se puede apreciar en la siguiente figura:

---

<sup>8</sup> Suárez C., J.L.; Restrepo M., J.W.; Quinchía F., A. y Mercado N., F.A. (2017). Fibras vegetales colombianas como refuerzo en compuestos de matriz polimérica. Revista Tecnura,21(51),5766. Disponible en: doi:10.14483/udistrital.jour.tecnura.2017.1.a0

Ilustración 5: Imagen SEM de fibras de fique



a) Sin Tratamiento

b) Con Tratamiento

Fuente: Suárez C., J.L.; Restrepo M., J.W.; Quinchía F., A. y Mercado N., F.A. (2017). Fibras vegetales colombianas como refuerzo en compuestos de matriz polimérica. Revista Tecnura,21(51),5766. Disponible en: doi:10.14483/udistrital.jour.tecnura.2017.1.a0

### 3.2 IMPERMEABILIZACIÓN DE LAS MALLAS DE FIQUE

Para dar a la malla la forma del elemento, se fabricó y utilizó, una formaleta constituida por 7 costillas semi rectangulares, unidas por cuñas de madera como se observa en la ilustración 6.

Posteriormente, las mallas se ubicaron sobre estas costillas y se impregnaron con la resina epóxica. Este proceso se realizó de forma manual, evitando sellar los orificios de la malla. Después de 24 horas de curado, estas mallas podían ser utilizadas como refuerzo de los elementos del mobiliario urbano.

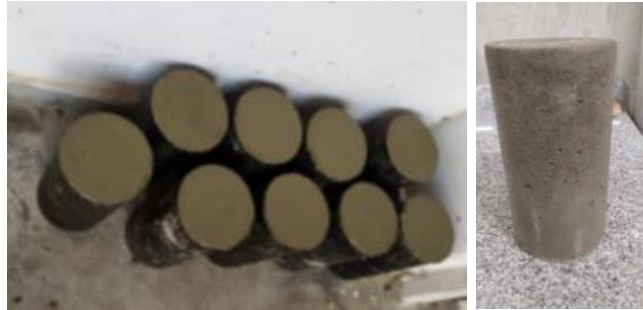
Ilustración 6: Elaboración de Formaletas y Rigidización de las mallas de fique con resina epóxica



### 3.3. PREPARACIÓN DE LOS ESPECÍMENES DE CONCRETO

Las probetas para el ensayo de compresión se elaboraron de forma cilíndrica con radio 5 cm y altura 20 cm siguiendo la normativa descrita en NTC 1377. Se elaboraron 9 especímenes y se probaron 3 a los 7, 14 y 28 días.

Ilustración 7: Probetas de Compresión



Las probetas para el ensayo de flexión se elaboraron de forma prismática con dimensiones de 150 mm de altura, 150 mm de base y 500 mm de longitud; de estas probetas, 3 se reforzaron con mallas de fique (M) a 20 mm de la cara a tracción y 3 sin refuerzo (S), las cuales son usadas como referencia. Estas probetas fueron probadas a los 28 días de curado. Ver Ilustración 8.

Ilustración 8: Probetas Tipo Viga S y M



Con los resultados obtenidos se calculó el valor de módulo de rotura de cada uno de los especímenes según lo especificado en la norma INV E 414 (Método de la viga simple cargada en los tercios de la luz). Dado que la fractura se localiza dentro del tercio medio de la luz libre de la viga, el módulo de rotura se calculó con la siguiente formula:

$$R = \frac{PL}{bd^2} \quad (1)$$

Donde:

R= Módulo de Rotura [MPa]

P= Carga Aplicada [N]

L= Longitud Espécimen [mm]

b= Longitud Base [mm]

d= Altura Espécimen [mm]

### **3.4. DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOBILIARIO URBANO**

Para el diseño de los elementos que conforman el mobiliario urbano (mesa y banca), se consideró un recubrimiento para el refuerzo de 20 mm, ya que estos elementos están en permanente contacto con la intemperie. Basados en este criterio se seleccionó un espesor de 40 mm para los elementos y se procedió a determinar sus demás dimensiones.

Para el elemento tipo banca, se modificaron las formaletas con las que contaba la empresa Arte Concreto S.A, ya que estas pasaron de tener un espesor de 60 mm a 40 mm.

El elemento tipo mesa, se diseñó como una losa maciza de 900 mm de largo, 500 mm de base y 40 mm de espesor. Este elemento va a estar soportado sobre una base metálica.

Una vez realizado el pre dimensionamiento de los elementos, estos se analizaron como vigas simplemente apoyadas para así poder determinar la carga máxima que pueden soportar (3). Para este análisis fue necesario el

valor del módulo de rotura, el cual se obtuvo por medio del ensayo a flexión. La ecuación utilizada (2) para este cálculo se basa en el análisis de esfuerzos en secciones sometidas a flexión

$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{y_t} \quad (2)$$

Donde:

$M_{cr}$  = momento de fisuración [ $N \cdot mm$ ]

$f_r$  = módulo de ruptura del concreto [Mpa]

$I_g$  = momento de inercia de la sección bruta del elemento con respecto a un eje que pasa por el centroide [ $mm^4$ ]

$y_t$  = distancia desde el eje que pasa por el centroide de la sección bruta a la fibra extrema en tracción [ $mm$ ]

$$P_{max} = \frac{8 \cdot M_{cr}}{L^2} \quad (3)$$

Donde:

$P_{max}$  = carga máxima [ $N$ ]

$L$  = longitud entre apoyos [ $mm$ ]

Se obtuvo un valor de carga máxima de 380 kg para el elemento tipo placa y un valor de 400 kg para el elemento tipo banca.

La fabricación de los elementos se realizó en las instalaciones de la empresa Arte Concreto S.A. e inició con el diseño de mezcla descrito en los materiales, siguiente a esto, se ubicó el refuerzo de malla de fique impregnado con resina a 20 mm de las paredes de las formaletas, las cuales fueron previamente rociadas con desencofrante. Después, se vació la mezcla de concreto en las formaletas mientras se apisonaba con una varilla de acero de  $\frac{1}{2}$ ", para garantizar una distribución homogénea de la mezcla. Por último, se golpearon las formaletas con un martillo de goma para así eliminar el aire atrapado de la mezcla. En las ilustraciones 9 y 10 se puede apreciar registros fotográficos de la elaboración de los elementos tipo banca y tipo placa.

Ilustración 9: Elaboración de Bancas y Placas



Ilustración 10: Elaboración de Placas



## 4. RESULTADOS

### 4.1 RESISTENCIA A COMPRESIÓN

Las probetas de compresión se evaluaron a los 7, 14 y 28 días obteniendo los resultados de la Tabla 5.

Tabla 5: Resultados Probetas de Compresión

Días	Resistencia Promedio (MPa)
7	17.56
14	21.55
28	28.83

Las probetas presentaron una falla tipo 2 ya que evidencian conos bien formados en el extremo superior y fisuras a través de los cabezales <sup>9</sup>.

Ilustración 11: Tipo de falla en Probetas de Compresión



---

<sup>9</sup> NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS, NTC. 673, "Concretos. Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.," ICONTEC

## 4.2 FLEXIÓN

Basados en la ecuación (1) mencionada en la norma INV E 414 (Resistencia a la flexión del concreto método de la viga simple cargada en los tercios de la luz), se calcularon los esfuerzos de cada espécimen y se pueden observar en las ilustraciones 12 y 13. En estas gráficas se puede apreciar que las probetas sin refuerzo (S), alcanzaron un esfuerzo máximo y fallaron de forma súbita; mientras que las probetas con refuerzo (M), poseen una capacidad residual lo que les permite seguir absorbiendo carga sin colapsar una vez presentada la fisura principal, recuperando la resistencia a la flexión en promedio hasta 2.11 MPa.

Ilustración 12: Curva Esfuerzo-Deformación Probetas sin refuerzo de Figue

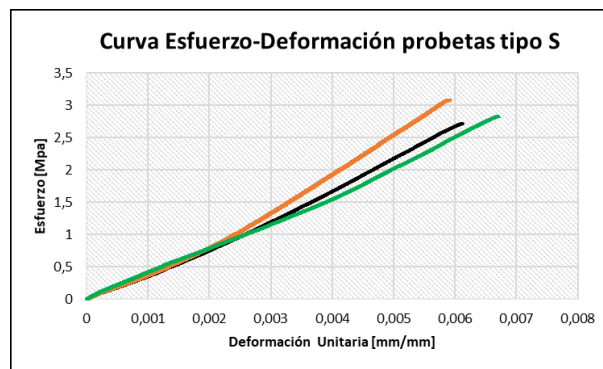
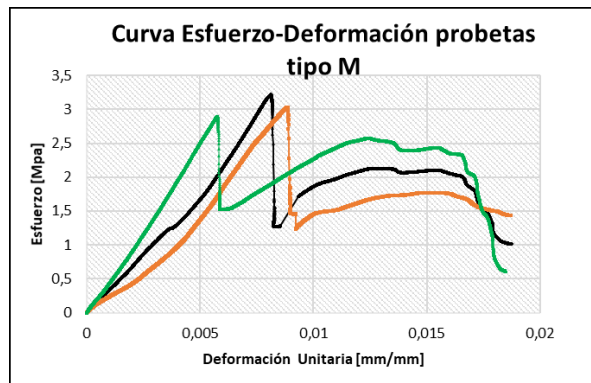


Ilustración 13: Curva Esfuerzo-Deformación Probetas con refuerzo de Figue



De las ilustraciones 12 y 13 se puede apreciar que la presencia de las mallas de fique como refuerzo, aumenta la resistencia promedio a flexión de las probetas un 11%, ya que las probetas tipos S, resistieron en promedio 2.84 Mpa con una desviación estándar de 0.169, mientras que las probetas tipo M resistieron en promedio 3.16 Mpa con una desviación estándar de 0.165. En la ilustración 14 se observa la falla frágil de las probetas S, en comparación con la ductilidad de la falla que presenta las probetas tipo M.

Ilustración 14: Fallas Probetas tipo Viga S y M



### 4.3 ELEMENTOS DE MOBILIARIO URBANO

Debido a la imposibilidad de realizar los ensayos en el laboratorio de la UIS, por causa de la pandemia COVID - 19, se decidió realizar una prueba de carga a los elementos aplicando una carga constante producida con bultos de rellenos de grava. Los elementos mostraron un comportamiento estable, ante la aplicación de una carga de 200 kg para las bancas y de 120 kg para las placas, sin mostrar fallas o grietas, como se aprecia en la figura 15 y 16.

Ilustración 15: Banca sometidas a carga.



Ilustración 16: Placa sometidas a carga.



## 5. CONCLUSIONES

La densidad de entramado seleccionada para esta malla fue adecuada, ya que se observó la continuidad de la mezcla a través de los orificios de la malla.

La mezcla de concreto cumplió con las necesidades del proyecto, ya que cumplió la resistencia mínima de diseño y presentó una buena manejabilidad, evidenciándose en acabados pulidos después del desencofrado de los elementos.

Al comparar los resultados entre las vigas con y sin refuerzo, se puede apreciar que la presencia de la malla de fique aumentó la resistencia a la flexión del elemento, y generó un cambio en el tipo de falla, pasando de una falla frágil a una falla dúctil.

La rigidización de las mallas con resina epóxica facilitó el proceso constructivo, ya que estas no se deformaron al vaciar la mezcla de concreto.

## BIBLIOGRAFIA

DELVASTO Sebastian, PERDOMO Fernando, R. M. De Gutiérrez, “An appropriate vacuum technology for manufacture of corrugated fique fiber reinforced cementitious sheets An appropriate vacuum technology for manufacture of corrugated fique fiber reinforced cementitious sheets,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 24, no. 2, pp. 187–192, 2010.

L. A. S. Kouris, T. C. Triantafillou, “State-of-the-art on strengthening of masonry structures with textile reinforced mortar (TRM),” *Constr. Build. Mater.*, vol. 188, pp. 1221–1233, 2018.

MERCEDES Luis, GIL Luis, “Comportamiento mecánico de compuestos de matriz cementicia y tejidos de fibras vegetales,” 2018. V Congreso Iberoamericano de Hormigón Auto compactante y Hormigones Especiales pp. 465–474,

M. Fernandez, M. Hidalgo, and J. Mina, “Fibras de fique una alternativa para el reforzamiento de plásticos. influencia de la modificación superficial,” *Biotechnol. en el Sect. Agropecu. y Agroindustrial*, vol. 12, no. 2, pp. 60–70, 2014.

ACI Comité 318 (2015) Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318SUS-14) y comentarios. *ACI Structural Journal*. [https://doi.org/10.1016/S130-6343\(05\)73662-X](https://doi.org/10.1016/S130-6343(05)73662-X)

I.N.V. E – 414 – 07, “Resistencia a la flexión del concreto método de la viga simple cargada en los tercios de la luz.” - Instituto Nacional de Vías.

NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS, NTC 1377, “Ingeniería civil y arquitectura. Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayos en el laboratorio,” ICONTEC - Instituto Colombiano de Normas Técnicas

NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS, NTC 176, “Método de ensayo para determinar la densidad y la absorción del agregado grueso,” ICONTEC - Instituto Colombiano de Normas Técnicas.

NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS, NTC 1776, “Método de ensayo para determinar el contenido total de humedad evaporable por secado de los agregados,” ICONTEC - Instituto Colombiano de Normas Técnicas

NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS, NTC 221, “Método de ensayo para determinar la densidad del cemento hidráulico,” ICONTEC - Instituto Colombiano de Normas Técnicas

NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS, NTC 237, “Método de ensayo para determinar la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del agregado fino” ICONTEC - Instituto Colombiano de Normas Técnicas

NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS, NTC 396, “Concretos. Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto,” ICONTEC - Instituto Colombiano de Normas Técnicas.

NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS, NTC 673, “Concretos. Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.,” ICONTEC - Instituto Colombiano de Normas Técnicas.

NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS, NTC 77, “Concretos. método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos,” ICONTEC

NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS, NTC 92, “Método de ensayo para la determinación de la densidad volumétrica (masa unitaria) y vacíos en agregados,” ICONTEC

ORTLEPP and Sebastian, ORTLEPP Regine, “Textile reinforced concrete for strengthening of RC columns: A contribution to resource conservation through the preservation of structures,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 132, pp. 150–160, 2017.

PUENTES Álvaro, DÍAZ RAMIREZ German, CRUZ HERNÁNDEZ Ricardo, (2019). Mechanical Behavior of Composite Material Based on Mortar/Natural Fibers (Fique “*Furcraea andina*”) Meshes as External Reinforcement of Concrete Beams. *Materials Science Forum*, 972, 148–155. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.972.148>.

Suárez C., J.L.; Restrepo M., J.W.; Quinchía F., A. y Mercado N., F.A. (2017). Fibras vegetales colombianas como refuerzo en compuestos de matriz polimérica. *Revista Tecnura*, 21(51), 5766. Disponible en: [doi:10.14483/udistrital.jour.tecnura.2017.1.a0](https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2017.1.a0)

Y. Li, Y. Mai, and L. Ye, “Sisal fiber and its composites: a review of recent developments,” *Compos. Sci. Technol.*, vol. 60, no. 2000, pp. 2037–2055, 2000.