

ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE PLAQUETA PREFABRICADA DE CONCRETO CON REFUERZO EN MACROFIBRAS DE POLIPROPILENO

ANALYSIS OF MECHANICAL PROPERTIES OF PREFABRICATED CONCRETE PLATE WITH POLYPROPYLENE MACROFIBER REINFORCEMENT

Ana Milena Rivera Ardila

ana.riveraa@usantotomas.edu.co

Resumen:

El polipropileno es un material de forma en macrofibra sintética estructural, este material es muy usado en el área de la construcción, siendo limitado su uso en el área de pavimentos y en la mezcla del concreto, ya que estas macrofibras están diseñadas para cumplir un refuerzo secundario en el concreto o morteros, con el fin de reducir los agrietamientos por contracción plástica en estado fresco (Fibraplasconcrete). Teniendo en cuenta el historial de uso de este material, se desarrolló el análisis de las propiedades mecánicas que presentan el material, por medio de ensayos como, módulo de elasticidad, módulo ruptura y ensayo de resistencia a la compresión, donde se crearon plaquetas prefabricadas que contuvieran el material de refuerzo en la mezcla del concreto, para lograr tener una aproximación del comportamiento mecánico. Por consiguiente, los resultados que se obtuvieron fueron comparados con un proyecto similar, con el fin de obtener un análisis del comportamiento mecánico de la mezcla.

Palabras clave: Alternativa, ensayos, polipropileno, plaquetas, propiedades, refuerzo secundario.

Abstract:

Polypropylene is a structural synthetic macrofiber shaped material, this material is widely used in the construction area, but its use has been limited in the area of pavements and in concrete mixing, since these macrofibers are designed to meet a secondary reinforcement in concrete or mortars, in order to reduce plastic shrinkage cracking in the fresh state (Fibraplasconcrete). Taking into account the history of use of this material, the analysis of the mechanical properties presented by the material was developed, through tests such as modulus of elasticity, modulus of rupture and resistance to compression tests, where they were created prefabricated plates that contain the reinforcing material in the concrete mix, to achieve an approximation of the mechanical behavior. Consequently, the results obtained were positive when loading platelets.

Keywords: Alternative, tests, polypropylene, platelets, properties, secondary reinforcement.

1. INTRODUCCIÓN

En la construcción, el material polipropileno cumple un papel fundamental en la industria, este material viene en forma de macrofibra sintética, sus características favorecen al mismo para aportar alta resistencia a la mezcla del concreto y del mismo modo un bajo costo de obra, esta macrofibra se ha venido utilizado en el área de pavimentos, una de las obras más relevantes del uso de macrofibras es el aeropuerto “El dorado”, sin descartar el uso en centros masivos, ciclo ruta y entrepisos (Fibraplasconcrete).

El uso en macrofilamentos aportan resistencia y flexibilidad a la mezcla del concreto, ya que están compuestas de polipropileno 100% virgen y tratadas con un dispersante, permitiendo que su distribución sea más rápida y homogénea, por ende, facilitando el rendimiento de mezcla de 3 a 5 minutos (FIBERCON).

.Por lo tanto, se tiene en cuenta con que se construye una estructura, de tal manera, se aprecia un artículo por Andrew Coburn, este manifiesta los comportamientos sísmicos de gran magnitud a nivel mundial, el cual, Colombia ocupa el puesto 27 (Spence, 2002). Por consiguiente, los antecedentes que se pueden observar del artículo anterior justifican el uso y la función principal del reforzamiento en fibra, el cual es brindar flexibilidad a la estructura, específicamente a la losa, como se mencionó anteriormente y de acuerdo

a los casos registrados, el objetivo de un diseño óptimo de una estructura es lograr aportar un tiempo de evacuación emergente en caso de sismos, por eso es usado para lograr un límite de seguridad al presenciar este tipo de eventos. Este material de refuerzo secundario en las plaquetas, brinda flexibilidad al elemento estructural y así mismo estabilidad y seguridad en conjunto al resto de la estructura (G, 2001).

2. DESARROLLO DEL ARTÍCULO

2.1 Distribución de Polipropileno en plaquetas prefabricadas

La distribución del polipropileno se realizó cada 3 plaquetas, las cuales contenían los siguientes porcentajes de cantidad de material según el peso.

Tabla 1. Cantidades de polipropileno

Distribución de polipropileno		
Plaquetas	Cantidad (%)	Cantidad (g)
1-2-3	0.0	0.0
4-5-6	0.47	92.2
7-8-9	0.67	130
10-11-12	0.95	184

Nota: Descripción numérica porcentual de acuerdo a la cantidad en Kg.

Se multiplica el volumen de la plaqueta por el peso, para determinar la cantidad de Kg de Macrofibras, teniendo en cuenta un total de 100% de Kg. El cálculo de proporción de la siguiente forma:

$$\frac{0.092Kg}{19.32Kg} * 100 = 0.47\%$$

Donde el numerador indica el peso de la proporción de las macrofibras y el denominador indica el peso de la plaqueta.

2.1.1 Ensayos

Para poder obtener los resultados del comportamiento del material, se realizaron los siguientes ensayos

- **Resistencia a la compresión-plaquetas**

Se tuvo en cuenta el orden de porcentaje de polipropileno de cada una de estas, para así hacer consecutivo el ensayo.

Tabla 2. Plaquetas Sin Macrofibra.

Plaqueta	Carga (kN)	Área (m ²)	Esfuerzo Mpa
1	460.05	0.0798	5.76503759
2	318.69	0.0798	3.99360902
3	397.36	0.0798	4.97944862
Promedio	392.03		5.76503759

Nota: Resistencias últimas de cada plaqueta sin macrofibras

Figura 1. Resistencia a la compresión- Plaqueta.



De la misma manera se desarrolló el cálculo para la resistencia a la compresión en las plaquetas prefabricadas, cada plaqueta se evaluó de acuerdo a la cantidad de polipropileno, como se mencionó anteriormente.

Tabla 3. Resistencia a la compresión en plaquetas.

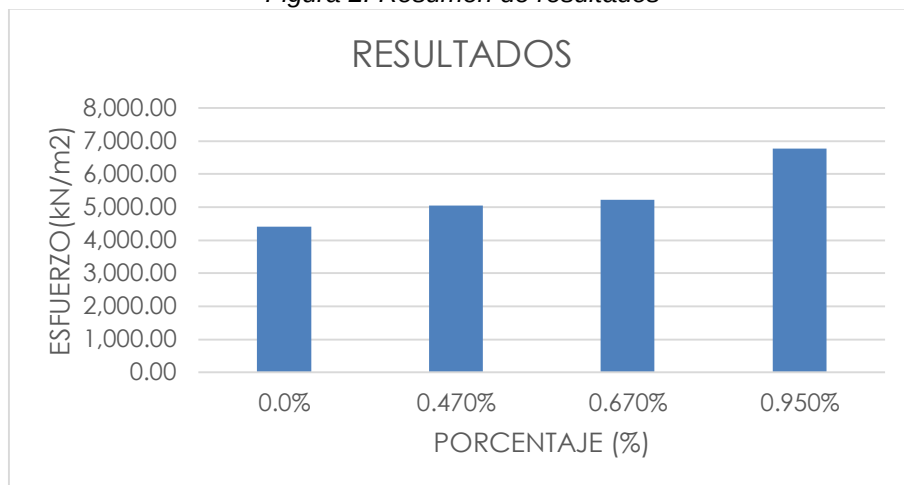
PLAQUETA %	ESFUERZO MPA
0.0	4.4048686
0.47	5.0585763
0.67	5.232771
0.95	6.778539

Se realizó el promedio de la carga obtenida cada 3 plaquetas, determinando el esfuerzo a la cual fue sometido cada plaqueta.

- **Resumen de resultados**

Para poder tener un análisis más específico se realizó una gráfica de esfuerzo vs cantidad % de cada una de las plaquetas, para así ver el comportamiento mecánico de cada una en relación al área aplicada.

Figura 2. Resumen de resultados



Nota: Descripción del comportamiento de cada una de las plaquetas en relación al esfuerzo soportado

Como se observa en el gráfico, es notable la diferencia de resistencia de carga en relación que aumenta el porcentaje de macrofibras, por lo tanto, el comportamiento del grafico es ascendente o directamente proporcional aumenta la resistencia mediante aumenta la cantidad de polipropileno.

- **Módulo de elasticidad**

Para poder analizar el módulo de elasticidad se requirió la toma de datos de las resistencias anteriores por cada cantidad de porcentaje de Macrofibras, para así lograr obtener un cálculo de esfuerzo y hacer el análisis correspondiente a la investigación. El cálculo de esfuerzo se desarrolló con la siguiente ecuación:

$$\sigma = \frac{F(kN)}{A(m^2)}$$

Donde:

- F(kN): Fuerza ejercida en kN
- A (m^2): Área de la plaqueta

El área de la plaqueta se calculó de la siguiente manera:

$$Area = (b * h) - (2 * \frac{\pi}{4} d^2)$$

Se calculó el área de la plaqueta teniendo en cuenta los dos cilindros que contiene en la mitad, para así calcular el área con mayor exactitud, dando como resultado:

$$Area = (29 * 31) - \left(2 * \frac{\pi}{4} (8)^2\right) = 798.496cm^2 \approx 0.0798 m^2$$

Tabla 4. Esfuerzos

PLAQUETA %	AREA (m^2)	CARGA(kN)	ESFUERZO Mpa
0.0	0.0798	392.03	4.912656
0.47	0.0798	450.21	5.641729
0.67	0.0798	465.71	5.835964
0.95	0.0798	603.29	7.560025

- **Grafica Esfuerzo Vs Deformación**

Para realizar el cálculo coherente del módulo de elasticidad, se realiza un cálculo de regresión, se inició con el cálculo aproximado de la deformación con el esfuerzo de la plaqueta sin macrofibras el cual dio los siguientes resultados:

- *Tabla 5. Iteración de Plaqueta 1 sin macrofibras.*

%	X	Y
0.0%	0	0
16.7%	0.0005	2005.58096
33.3%	0.001	2836.3198
50.0%	0.0015	3473.76813
66.7%	0.002	4011.16193
83.3%	0.0025	4484.61537
100.0%	0.003	4912.65

Nota: Valores X supuestos debido a una falla en la toma de datos.

Es importante resaltar que los datos que se pretendía obtener de deformación por medio del manómetro, no fueron posibles de tomar, ya que se presentaron inconvenientes en la lectura después de haber realizado la falla de las plaquetas, por lo tanto, se prosigue a la estimación de datos para realizar una interpolación cuadrática y así lograr desarrollar la curva esfuerzo/ deformación.

Por consiguiente, después de haber obtenido los valores en diferentes puntos, se realizó el cálculo de la secante entre el 33.3% y el 66.7%, utilizando la siguiente ecuación:

$$E = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}$$

$$E = \frac{4011.161 - 2836.319}{0.002 - 0.001} = 1174842.13 \text{ Kpa} = 1174.84213 \text{ Mpa}$$

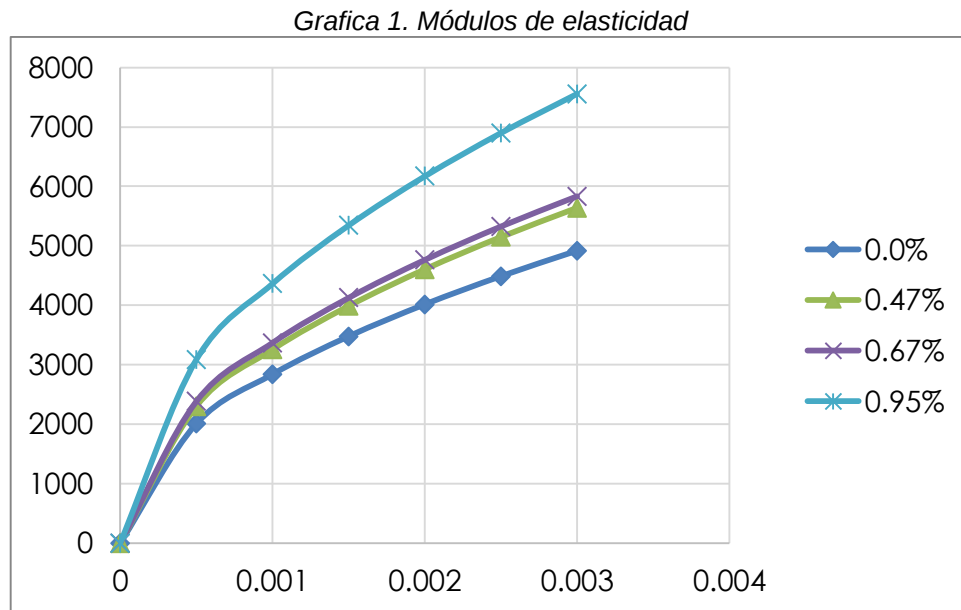
De acuerdo a la ecuación, se calculó el módulo de elasticidad de cada plaqueta, dando como resultado un módulo de elasticidad para la plaqueta 1 sin macrofibras de **1174.84213 Mpa**.

Tabla 6. Módulos de elasticidad.

PLAQUETA (%)	σ	E(Mpa)
0	4912.65	1174.8421
0.47	5641.72	1349.1965
0.67	5835.96	1395.6483
0.95	7560.02	1807.9509

Nota: Descripción numérica de los esfuerzos en relación al módulo de elasticidad calculado, no experimental.

Por ende, se calculó el módulo de elasticidad para cada una de las plaquetas como se observa en la tabla 12, teniendo en cuenta cada esfuerzo y cantidad de macrofibras por plaquetas, a partir de esa información se realizó una gráfica donde podemos observar el comportamiento de cada plaqueta.



Para determina el módulo de elasticidad el valor de la deformación no se pudo obtener de manera experimental por tal razón se utilizó la deformación unitaria teórica de 0.0033 que tiene el concreto en compresión.

- **Módulo de Rotura**

Para determinar la resistencia a la flexión de las macrofibras se tuvo que realizar una mezcla de concreto con distintos porcentajes de macrofibra para poder observar su comportamiento mecánico, por lo tanto, estos fueron los datos que se obtuvieron:

TABLA 7. RESISTENCIA EN VIGUETAS.

VIGUETA %	CARGA(N)	MODULO DE ROTURA (MPA)
0.0	33049.98	0.1146
0.0	30750.03	0.1066
PROMEDIO	31900.005	0.1106

Las siguientes dos viguetas que se fallaron contenían un porcentaje del 0.0% de Macrofibras, los datos obtenidos fueron los anteriores. De la misma manera se realizó un promedio de los resultados de las dos viguetas, el cual presento un M_r de **0.1106 Mpa**.

Figura 3. Vigueta Sin Macrofibra



Las siguientes dos viguetas que se fallaron contenían un porcentaje del 0.0% de Macrofibras, los datos obtenidos fueron los anteriores. De la misma manera se realizó un promedio de los resultados de las dos viguetas, el cual presento un M_r de **0.3197 Mpa**.

Tabla 8. Resistencia a flexión en vigueta Con 0.67% De Macrofibras

VIGUETA %	CARGA (N)	MODULO DE ROTURA (Mpa)
0.67	92180	0.3197

FUENTE: PROPIA

Figura 4. Vigueta a 0.67% de Macrofibra



El cálculo del módulo de rotura se realizó teniendo en cuenta la localidad donde la fractura se presentó en la vigueta, por lo tanto, se calculó de la siguiente forma:

$$R = \frac{PL}{bd^2}$$

Donde:

R= módulo de rotura Mpa

P= carga aplicada N

L= longitud en cm

b= anchura media de la muestra

d= profundidad media de la muestra

Los valores que se determinaron para el cálculo del módulo de rotura se pueden observar en la siguiente tabla:

Tabla 9. Dimensiones de Vigueta.

DIMENSIONES
L=166
B=166
D=537

Nota: Las dimensiones se identificaron de acuerdo a la norma establecida, por Ana Rivera. Adaptado de (Icontec Internacional, 2004)

- **Analisis Costo/Beneficio**

Por último, se desarrolló el análisis costo beneficio, del material de refuerzo en macrofibras de polipropileno en plaqueta prefabricada de concreto, con el fin de presentar el presupuesto de una plaqueta prefabricada y del bloque convencional, y así realizar el análisis costo beneficio.

Tabla 10. PRESUPUESTO COMPARATIVO.

ITEM	BLOQUE CONVENCIONAL	PLAQUETA PREFABRICADA
Cemento portland (40Kg)	\$14.900	\$14.900
Agregados	\$20.000	\$20.000
Formaleta	\$195.000	\$45.000
Macrofibra de polipropileno (49 rollos)	\$0	\$70.000
TOTAL	\$299.900	\$149.900

Nota: Comparación de presupuestos de bloques prefabricados, con y sin macrofibras, por Ana Rivera, Adaptado de (Libre, 1999)

De acuerdo al total obtenido en la tabla 15, se determina la relación de costo beneficio comparativo de un bloque y de una plaqueta prefabricada, se define que el bloque convencional es más económico ya que no contiene macrofibras de refuerzo y adicional, la formaleta es metálica, es decir, que el precio no va incrementar a medida de la cantidad de bloques que se requieran, por lo tanto, se beneficia económicamente.

2. RESULTADOS

Es evidente el beneficio que aporta el polipropileno a la mezcla en su comportamiento mecánico al momento de ser sometido a cargas altas, es decir, la resistencia que aportan las macrofibras a la plaqueta es de 64.98%, teniendo en cuenta la resistencia 603.29 kN de las plaquetas sin macrofibra y la resistencia 392.003kN de la plaqueta con la mayor cantidad de macrofibras.

Del mismo modo al momento de determinar el módulo de rotura del material se observó numéricamente el aumento a la resistencia a flexión que aporta el material a la mezcla de concreto en elementos tipo vigueta, donde se manifestó la diferencia de resistencias en las viguetas que no contenían polipropileno y la que contenían un 0,67 % de polipropileno, esta vigueta arrojó un dato de resistencia de 92.18 kN obteniendo una diferencia de 34.606% de resistencia de más a las viguetas que no contenían, lo cual se concluye que las macrofibras aportan mayor resistencia a la flexibilidad antes de que falle el elemento.

En cuanto al presupuesto la diferencia de precios de fabricación entre el bloque y la plaqueta es de \$150.000, es decir, un 49.98% de diferencia de producción, sin tener en cuenta que la formaleta que se utiliza para los bloques es de material metálico, quiere decir que es favorable económicamente.

El análisis mecánico del bloque y de la plaqueta fue notable, ya que tenía una diferencia de resistencias de 74.15% a favor del bloque, ya que en la producción de la plaqueta hubo falencias en la porosidad.

Debido a los resultados y análisis anteriores, se logró concluir una alternativa de refuerzo de macrofibras de polipropileno en plaquetas prefabricadas y del mismo modo un porcentaje de 50.01% de ahorro en cuanto a producción.

4. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos, el material polipropileno es un material óptimo como refuerzo secundario, el cual sirve para el reemplazo de la malla electrosoldada, por lo tanto, se propone una alternativa para el refuerzo secundario en la mezcla de concreto en plaquetas prefabricadas.

Del mismo modo, se hace la apertura a nuevas investigaciones de este material, para que así se logre ampliar el estudio mecánico del polipropileno y poder tener conocimiento de los beneficios de este material en distintos materiales o elementos de construcción.

AGRADECIMIENTOS

Mi mayor agradecimiento a Dios, Él es el autor principal de este proyecto, extendiendo mis sentimientos de gratitud a mis padres que conocen todo el proceso de aprendizaje por el cual he caminado, y del mismo modo al Ing. Bregy Hassler Choque por disponer su conocimiento, su paciencia a mi favor. A la universidad por brindar su apoyo en todos los recursos, laboratorios a mi disposición.

REFERENCIAS

- [1] Fibraplasconcrete, «Ficha tecnica,» Bogota.
- [2] FIBERCON, «CONSTRUFINISH,» [En línea]. Available: <http://www.construfinish.com/pdf/FIBRA%20DE%20POLIPROPILENO.pdf>. [Último acceso: 7 Mayo 2020].
- [5] A. C. a. R. Spence, Earthquake Protection, Cambridge: Jhon Wiley y Sons, LTD, 2002.
- [6] H. G, «Modulos estructurales prefabricados de hormigon,» *Google Patentes*, 2001.