

**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



**Comportamiento en compresión y tensión del concreto hidráulico  
simple reforzado con fibras de polipropileno para obras de  
edificaciones**

Por:

Edinson Crisologo Vasquez Guevara

Asesor:

Roberto Roland Yoctún Rios

**Lima, setiembre de 2020**

## DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Roberto Roland Yoctún Ríos, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente trabajo de investigación titulado: "COMPORTAMIENTO EN COMPRESIÓN Y TENSIÓN DEL CONCRETO HIDRÁULICO SIMPLE REFORZADO CON FIBRAS DE POLIPROPILENO PARA OBRAS DE EDIFICACIONES" constituye la memoria que presenta el estudiante Edinson Crisologo Vasquez Guevara para aspirar al grado de bachiller en Ingeniería Civil, cuyo trabajo de investigación ha sido realizado en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este trabajo de investigación son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en LIMA, a los 22 días del mes de setiembre del 2020



---

Roberto Roland Yoctún Ríos

### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a.....los.....18.....día(s) del mes de.....setiembre.....del año 2020.... siendo las.....12:15.....horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión campus Lima, bajo la dirección del (de la) presidente(a): .....Mg. Leonel Chahuares Paucar....., el (la) secretario(a): .... Ing. Reymundo Jaulis Palomino.....y los demás miembros:..... Ing. David Díaz Garamendi .....y el (la) asesor(a)...Ing. Roberto Roland Yoctún Ríos.....con el propósito de administrar el acto académico de sustentación del trabajo de investigación titulado: "Comportamiento en comprensión y tensión del concreto hidráulico simple reforzado con fibras de polipropileno para obras de edificaciones". de los (las) egresados (as):

.....a) **EDINSON CRISOLOGO VASQUEZ GUEVARA**.....  
 .....b).....Conducente a la obtención del grado académico de Bachiller en  
 .....**INGENIERÍA CIVIL**.....

(Denominación del Grado Académico de Bachiller)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato/a (a): **EDINSON CRISOLOGO VASQUEZ GUEVARA**.....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	16	B	BUENO	MUY BUENO

Candidato/a (b):.....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(\*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó ... al.... candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

\_\_\_\_\_  
 Presidente  
 Mg. Leonel Chahuares  
 Paucar



\_\_\_\_\_  
 Secretario  
 Ing. Reymundo Jaulis  
 Palomino

\_\_\_\_\_  
 Asesor  
 Ing. Roberto Roland  
 Yoctún Ríos

\_\_\_\_\_  
 Miembro

\_\_\_\_\_  
 Miembro  
 Ing. David Díaz  
 Garamendi

\_\_\_\_\_  
 Candidato (a)  
 Edinson Crisologo  
 Vásquez Guevara

\_\_\_\_\_  
 Candidato/a (b)

# **Comportamiento en compresión y tensión del concreto hidráulico simple reforzado con fibras de polipropileno para obras de edificaciones. (Revisión)**

## **Behavior in compression and tensile of simple hydraulic concrete reinforced with polypropylene fibers for building works. (Review)**

EDINSON CRISOLOGO VASQUEZ GUEVARA\*

*EP. Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana  
Unión, Perú.*

### **Resumen**

Existe una gran variedad de investigaciones sobre el comportamiento del concreto hidráulico reforzado con fibra de polipropileno (CHRFP), mostrando una serie de resultados donde se evidencia que la adición de Fibra de Polipropileno (FP) en la matriz de concreto altera el comportamiento mecánico normal en comparación con un concreto elaborado de manera convencional, y de acuerdo a las diferentes investigaciones ¿qué efectos tendrá la adición de FP en la resistencia a compresión y tensión del concreto?. En este artículo se propone analizar el comportamiento en compresión y tensión del concreto hidráulico reforzado con fibra de polipropileno, además determinar la dosificación que muestre un adecuado desempeño entre la unión fibra-concreto; mediante la recopilación de la información existente en las diferentes bases de datos. Para el análisis se han seleccionado un total de diez artículos científicos de las diferentes bases de datos, posteriormente se realizó el análisis bibliométrico. Finalmente luego de haber analizado las diferentes investigaciones se encontró que la FP modifica las propiedades mecánicas del concreto; incrementando su resistencia a la tracción con la adición de FP para el 100% del total de investigaciones analizadas, mientras que para la resistencia en compresión el 60% incrementa y el 40% disminuye su resistencia del total de las investigaciones analizadas, por lo que será indispensable conocer el tipo de solicitaciones de los diferentes elementos estructurales para poder definir si es conveniente añadir FP a la matriz de concreto dentro de la edificación.

Palabras clave: Concreto reforzado, resistencia a la compresión, resistencia a la tensión, fibra de polipropileno

### **Abstract**

There is a wide variety of research on the behavior of hydraulic concrete reinforced with polypropylene fiber (CHRFP), showing a series of results where it is evident that the addition of Polypropylene Fiber (FP) in the concrete matrix alters the normal mechanical behavior compared to a concrete made in a conventional way, and according to the different investigations, ¿what effects will the addition of FP have on the compressive and tensile strength of concrete? This article proposes to analyze the behavior in compression and tension of hydraulic concrete reinforced with polypropylene fiber, also determine the dosage that shows adequate performance between the fiber-concrete union; by compiling the existing information in the different databases. For the analysis, a total of ten scientific articles have been selected from the different databases, subsequently the bibliometric analysis was carried out. Finally, after having analyzed the different investigations, it was

found that FP modifies the mechanical properties of concrete; increasing its tensile strength with the addition of FP for 100% of the total researches analyzed, while for the resistance in compression 60% increases and 40% decreases its resistance of all the researches analyzed, so it will be essential to know the type of stresses of the different structural elements in order to define whether it is convenient to add FP to the concrete matrix within the building.

Key words: Reinforced concrete, compressive strength, tensile strength, polypropylene fiber.

*\*Correspondencia del autor: Km. 19.5 Carretera central, Ñaña, Lima. E-mail: edinsonvguevara@upeu.edu.pe*

## INTRODUCCIÓN

A lo largo de los años el concreto como material de construcción ha sufrido grandes cambios por ser uno de los materiales más utilizados y por contar con propiedades particulares que lo diferencian de los demás, principalmente por su elevado aporte en cuanto a la resistencia en compresión; del mismo modo que la evolución de los materiales de construcción también han ido evolucionando las metodologías y sistemas constructivos juntamente con la necesidad y la exigencia de contar con estructuras cada vez más sofisticadas que realmente representan un gran reto para quienes se encuentran inmersos en el mundo de la generación de nuevas tecnologías del concreto, es ahí donde surge la necesidad de un mayor aporte del concreto tanto en compresión como en tracción. Evidenciada la necesidad gran cantidad de investigadores han realizado diferentes análisis del concreto sometiendo a diferentes situaciones e incorporando diferentes materiales en su composición, en este escenario se encontró el análisis en diferentes investigaciones sobre el comportamiento del concreto con la adición de fibra de polipropileno, y esta investigación pretende analizar el comportamiento en compresión y tensión del concreto hidráulico reforzado con fibra de polipropileno, además determinar la dosificación que muestre un adecuado desempeño entre la unión fibra-concreto; mediante la recopilación de la información existente en las diferentes bases de datos de tal manera que se pueda evidenciar ya sea el incremento o la disminución de sus propiedades mecánicas principalmente la resistencia a compresión y tracción.

### **Evolución de las fibras en el concreto**

Desde la antigüedad, las fibras se han utilizado para reforzar materiales frágiles; en los tiempos modernos en una amplia gama de materiales de ingeniería (incluidos productos de cerámica, plásticos, cemento y yeso) incorporan fibras para mejorar las propiedades de los compuestos. Las propiedades mejoradas incluyen resistencia a la tracción, compresión, módulo elástico, resistencia al agrietamiento, control de agrietamiento, durabilidad, vida a fatiga, resistencia al impacto y abrasión, contracción, expansión, características térmicas y resistencia al fuego.(Seabrook et al., 1984).

El hormigón reforzado con fibra se utilizó con éxito en una variedad de aplicaciones de ingeniería, debido a su desempeño sobresaliente y satisfactorio en la industria y el campo de la construcción. Sin embargo, la mayoría de los ingenieros e investigadores han pensado cómo y por qué las fibras funcionan con tanto éxito. Entonces, para reconocer el uso de fibras en el hormigón, en estas últimas cuatro décadas, la mayor parte de la investigación se realizó sobre el comportamiento mecánico del hormigón reforzado con fibras y las fibras en sí. (Mohod, 2015).

## **La fibra de polipropileno**

El polipropileno es hidrofóbico, lo que significa que lo hace no absorber agua, en la elaboración del concreto no se espera que las fibras de polipropileno se adhieren químicamente en una matriz de hormigón, pero se ha demostrado que ocurre por interacción mecánica. Se utilizan fibras de polipropileno para mejora temprana de la fuerza.(Seabrook et al., 1984).

Las fibras de polipropileno por su gran versatilidad se utilizan ampliamente en muchas aplicaciones industriales y su incorporación en el hormigón reforzado permite utilizar en carreteras y pavimentos, caminos de acceso, superposiciones y revestimientos, losas apoyadas en el suelo, cimientos de máquinas, estructuras marinas, tanques y piscinas, etc.(Madhavi, Reddy, Kumar, Raju, & Mathur, 2015).

## **REVISIÓN DE LA LITERATURA**

Según (Isidro Perca, 2017), para un concreto de 210 kg/cm<sup>2</sup> a edades de 7, 14 y 28 días elaborado con agregado grueso de tamaño máximo nominal de 11/2” y una incorporación de fibras de polipropileno de 19mm en proporciones de 0.6, 1.2, 1.8 y 2.4 kg/m<sup>3</sup> de concreto afirma que reduce la resistencia a compresión desde un 5.47% hasta 12.27% sin embargo la resistencia a flexión incrementa desde 5.12% hasta 16.75% de acuerdo a la cantidad de fibra incorporada resultando la cantidad de 1.8 kg/m<sup>3</sup> con mejores resultados con respecto al ensayo por flexión con un aumento de la resistencia en un 14% además la investigación muestra que en general todos los testigos con fibra incrementa en el módulo de ruptura a flexión del concreto sin embargo en todo los casos reduce significativamente la resistencia a compresión dependiendo de la proporcionalidad de fibra agregada a la matriz cementante, siendo la matriz con 1.8 kg/m<sup>3</sup> de fibra la más afectada a los 28 días con una resistencia de 190 kg/cm<sup>2</sup> y la muestra patrón sin fibra con una resistencia de 217 kg/cm<sup>2</sup> disminuyendo la resistencia en un 12% en compresión.

Por otro lado (Castoldi, Souza, & de Andrade Silva, 2019), realizaron experimentos incorporando fibras de polipropileno en tamaños de 15mm, 25mm y 30mm obteniendo mejores resultados para la proporción agregada a la matriz cementante de 30 mm mejorando en un 60 % al de 15mm y en 54% con respecto a la FP de 25mm en cuanto a la fuerza cortante resistida lo que se traduce como un incremento importante en la resistencia a la flexión de la matriz. La presencia de fibras como refuerzo cambia el comportamiento en flexión de los hormigones. Así mismo se muestra que los compuestos presentan un comportamiento lineal hasta la aparición de la primera grieta, seguido de una disminución del esfuerzo con el aumento del espesor de la grieta.

(Aylie, Antonius, & Okiyarta, 2015), presenta un estudio experimental sobre la efectividad del confinamiento en vigas elementos sometidos a flexión; en su investigación realizaron diferentes ensayos de vigas con diferentes tipos de confinamiento colocando acero de refuerzo como estribos confinando diferentes zonas que luego fueron evaluadas resultando que el testigo con una zona con más confinamiento obtiene un momento de agrietamiento más elevado con respecto a los otros testigos con menos confinamiento en efecto se concluye que un testigo mejor confinado tiene un momento agrietamiento tardío en consecuencia la resistencia a la flexión aumenta por otro lado al añadir fibra uniformemente en la matriz se está contribuyendo a un mejor confinamiento en la zona actuante de un miembro en flexión.

Según (Xin, Wang, Zhou, & Gao, 2019), realizaron una serie de pruebas de tabla de sacudidas en modelos de túnel a escala con concreto simple, concreto reforzado con acero y concreto reforzado con fibra de polipropileno bajo excitaciones de intensidades sísmicas crecientes y como resultado afirma que la fibra de polipropileno cambia el comportamiento frágil del concreto simple y los patrones de daño de concreto reforzado junto con las rutas de distribución de las grietas permitiendo minimizar la cantidad de microgrietas iniciales, pospone asimismo la aparición de nuevas grietas, previene la propagación de microgrietas y alivia la concentración de tensión en los extremos de las fibras.

En la investigación de (Błaszczński & Przybylska-Fałek, 2015), se encuentra los resultados de una serie de pruebas de compresión del hormigón con y sin adición de fibra mediante métodos acústicos y clásicos donde afirman que la adición de fibras de acero influye en la relación esfuerzo deformación para los hormigones en compresión, y el nivel de tensiones críticas aumenta junto con la altura de la cantidad de fibras de acero agregadas a la mezcla de concreto además; durante la compresión, la presencia de refuerzo disperso en el hormigón influye en la propagación de grietas, dado que la deformación límite que acompaña a la destrucción total de un elemento es mayor para la hecha de hormigón reforzado con fibra.

(Fathima.A; Varghese, 2014), en su estudio analiza los esfuerzos en compresión y tracción para un concreto de 30 MPa a edades de 7 y 28 días, con una incorporación de fibra de polipropileno de 50mm en proporciones de 0.25%, 0.5%, 0.75% por volumen de concreto obteniendo como resultado los incrementos de 1.96%, 9.80% y 0.98% respectivamente para 28 días y de 4.86%, 20.63%, 9.19% para 7 días de curado en cuanto a resistencia en tracción mientras que en la resistencia por compresión se obtuvieron un incremento de 2.91%, 15.24% y 7.37% respectivamente para los 28 días; resultando la adición con mejor desempeño tanto en compresión y tracción la de 0.5% por unidad de volumen.

En su investigación (Mohod, 2015), analiza los esfuerzos tanto en compresión como en tracción de concretos de 30 MPa y 40 MPa con la adición de fibras de polipropileno con gravedad especifica de 1.33 gr/cm<sup>3</sup> en cantidades de 0.5%, 1%, 1.5% y 2% para 7, 14 y 28 días de curado; en cuanto a la tracción solo se reportaron resultados a los 28 días según se muestran en las imágenes:

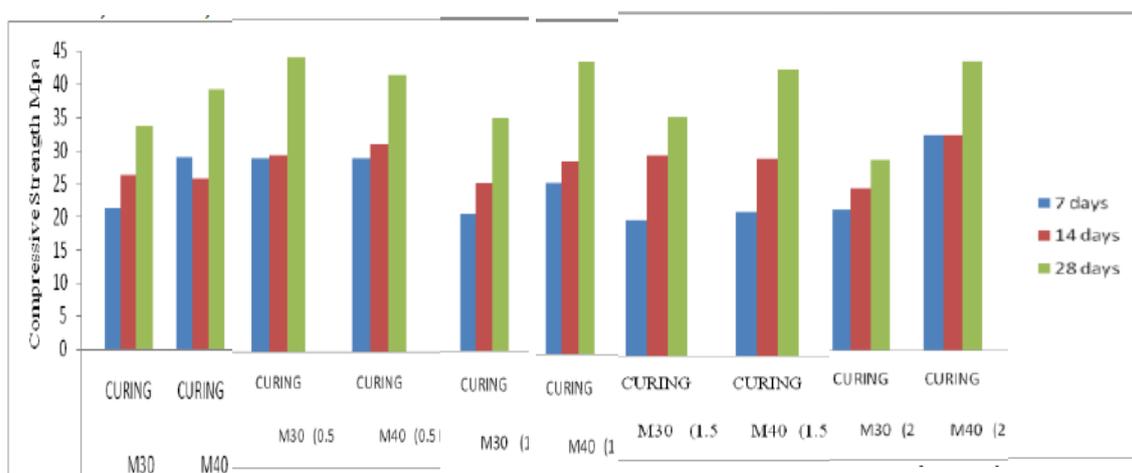
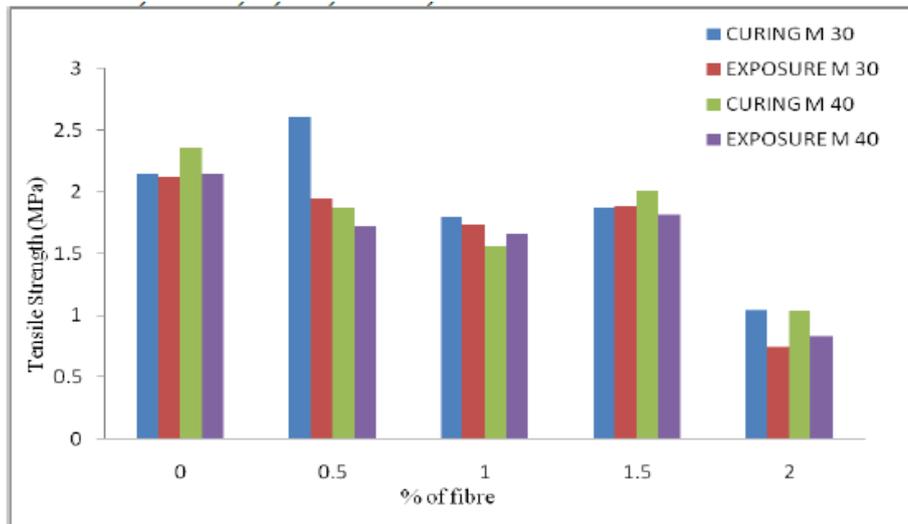


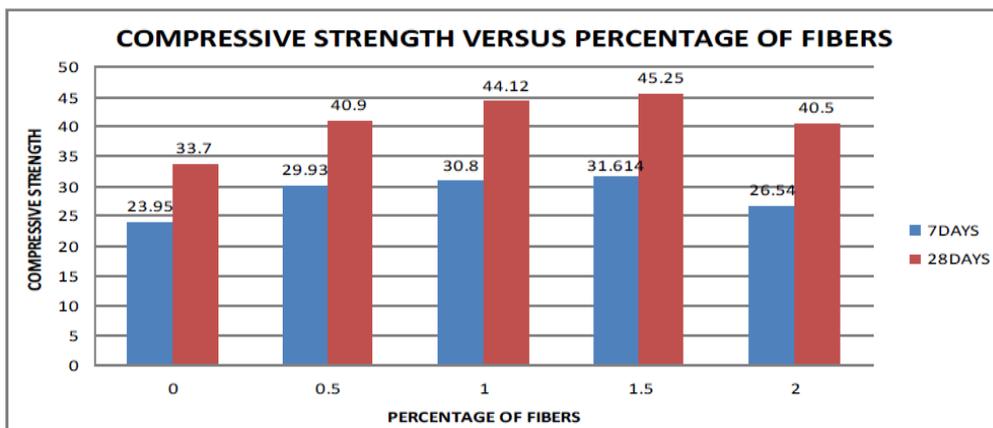
Ilustración 1 Resistencia a la compresión del concreto reforzado con fibra de polipropileno de diferentes resistencias a diferentes edades. Fuente (Mohod 2015).

De acuerdo a su investigación en el gráfico muestra que para un concreto de 30 MPa en compresión el mejor desempeño es generado con la adición en cantidad de 0.5% de fibra de polipropileno, mientras que para un concreto de 40MPa en compresión el mejor desempeño es generado con la adición en cantidad de 1% de fibra; de modo similar se puede visualizar en el gráfico para el esfuerzo en tensión obteniendo un mejor desempeño para el concreto de 30 MPa la adición en cantidad de 0.5% de fibra; mientras que para el concreto de 40 MPa se ve una disminución con respecto a la muestra sin la adición de fibra sin embargo la adición que muestra un mejor desempeño es la de 1.5% de fibra de polipropileno.



*Ilustración 2 Resistencia a la tensión del concreto reforzado con fibra de polipropileno de diferentes resistencias a diferentes edades. Fuente (Mohod 2015).*

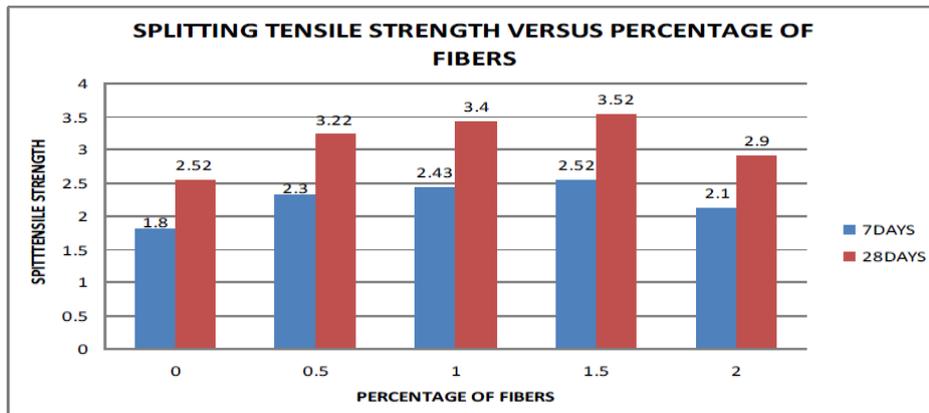
(Cazan, Gherman, Szilagyi, & Constantinescu, 2015), en sus estudios analizan los esfuerzos en compresión y tensión del concreto a los 7 y 28 días con la adición de fibras de polipropileno con una gravedad específica de 0.91gr/cm<sup>3</sup> en cantidades de 0.5%, 1%, 1.5%, 2% obteniendo los datos según se muestran en los gráficos.



*Ilustración 3 Resistencia a la compresión del concreto reforzado con fibra de polipropileno. Fuente (Cazan, Gherman, Szilagyi, & Constantinescu, 2015).*

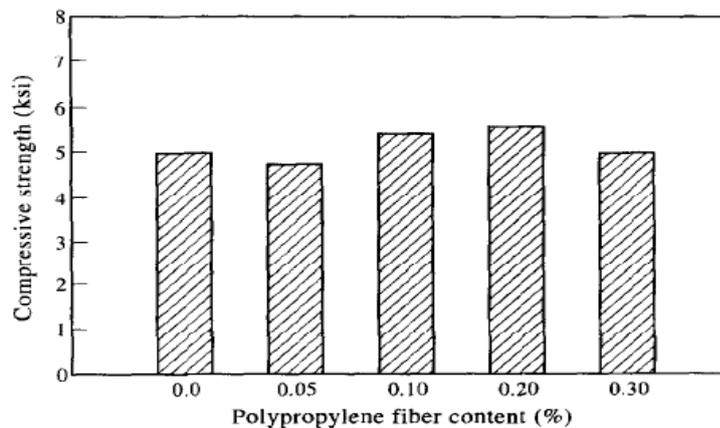
Del gráfico claramente se puede visualizar que la adición con mejor desempeño en cuanto a la resistencia a compresión es la de 1.5% tanto para los 7 días como para los 28 días

mostrando un incremento con respecto a la muestra sin la adición de fibra de 24.24% y 25.52% respectivamente; por otro lado en cuanto a la resistencia en tensión de modo similar muestra un mejor desempeño para la adición en cantidad de 1.5% de fibra de polipropileno tanto para el análisis a los 7 y 28 días obteniendo una resistencia de 2.52MPa y 3.52 MPa respectivamente con incrementos de 28.57% a los 7 días y 28.41 % a los 28 días con respecto a la muestra patrón según se muestra en el gráfico.



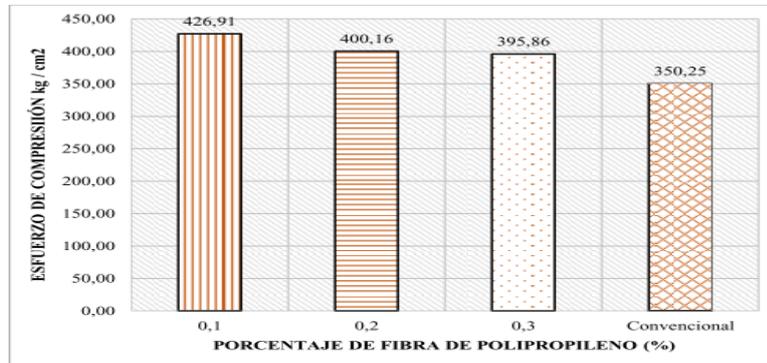
*Ilustración 5 Resistencia a la tensión del concreto reforzado con fibra de polipropileno. Fuente (Cazan, Gherman, Szilagyi, & Constantinescu, 2015).*

Pr otro lado (Alhozaimy, Soroushian, & Mirza, 1996), en su investigación muestran un análisis de un concreto de 5 KSI reforzado con fibra de polipropileno con gravedad específica de 0.9 gr/cm<sup>3</sup> obteniendo un mejor desempeño en la resistencia a compresión la adición de 0.2 % en cantidad de fibra de polipropileno obteniendo, además, un incremento del 16.67% con respecto al espécimen sin la adición de ninguna cantidad de fibra (muestra patrón).



*Ilustración 4 Resistencia a la compresión del concreto reforzado con fibra de polipropileno. Fuente (Alhozaimy, Soroushian, & Mirza, 1996).*

De modo similar (Martinez, 2016), en su tesis realiza un análisis con bloques de concreto con diferentes fibras de polipropileno en proporciones de 0.1%, 0.2% y 0.3% de los cuales según el gráfico la adición de 0.1 % de fibra de polipropileno aumenta un 22% de la resistencia a compresión en comparación con los adoquines convencionales; mientras que los demás porcentajes se encuentran en el rango de  $f'c = 400 \text{ kg/cm}^2$  que equivale a un 14% mayor a la resistencia de diseño; además se debe tener en cuenta que la fibra de polipropileno en análisis contiene un peso específico de  $0.91 \text{ gr/cm}^3$  y un largo de 12mm.



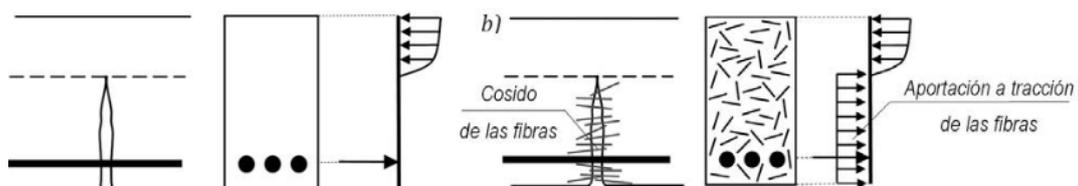
*Ilustración 6 Resistencia a la compresión del concreto reforzado con fibra de polipropileno. Fuente (Martinez, 2016).*

## DISCUSIÓN

(Madhavi et al., 2015), afirma en su investigación que las fibras de polipropileno reducen la permeabilidad al agua, el plástico, la contracción y el asentamiento; de acuerdo a la revisión de las diferentes bibliografías durante esta investigación se encontró que a medida que se va incrementando la adición de fibra de polipropileno la trabajabilidad del concreto disminuye. Sin embargo, se puede lograr una mayor trabajabilidad con la adición de aditivos.

Las fibras de polipropileno mejoran principalmente la resistencia a tracción del concreto; además gran parte de los autores afirman que la rotura del concreto es gradual y dúctil cuando es reforzado con fibra de polipropileno.

Además de la resistencia a la compresión y tracción del concreto la adición de fibra mejora el desempeño ante eventual exposición de fuego según (Amancio, De Carvalho Rafael, De Oliveira Dias, & Bezerra Cabral, 2018), De acuerdo a (Blanco, Pujadas, De la Fuente, & Antonio, 2010), el concreto reforzado con fibra tendría una rotura tardía en comparación del concreto convencional esto significa que también el momento de agrietamiento sería en un tiempo mayor para el concreto reforzado con fibra de polipropileno para describir mejor el aporte de la fibra en este sentido se presenta las siguiente ilustración:



*Ilustración 7 Modelo del aporte de fibra de polipropileno en el concreto. Fuente (Blanco, Pujadas, De la Fuente, & Antonio, 2010).*

Donde claramente se puede visualizar el aporte de la fibra en el concreto en comparación con el concreto convencional donde no se cuenta con estos monofilamentos trabajando entre

sí, la adherencia con el concreto cuando es distribuido en la matriz cementante de manera adecuada permite retardar la aparición de grietas y en consecuencia el incremento de la resistencia en tracción.

### **CONCLUSIONES**

- Se encontró que la adición de fibra de polipropileno de 30mm cuenta con un mejor desempeño en el análisis de la resistencia a la tracción.
- La cantidad adecuada para la tensión de acuerdo a las investigaciones se encontró que sería la de 1.5% para resistencias iguales a 40MPa y de 0.5% para resistencias iguales a 30MPa, si se decide incorporar fibra de polipropileno de 1.33gr/cm<sup>3</sup>.
- Se encontró que la adición de fibra de polipropileno de 50mm sería la adecuada añadiendo en cantidades de 0.5% para la resistencia a compresión.
- La cantidad adecuada para la resistencia a compresión de acuerdo a las investigaciones se encontró que sería la de 2% para resistencias iguales a 40MPa y de 1.5% para resistencias iguales a 30MPa, si se decide incorporar fibra de polipropileno de 1.33gr/cm<sup>3</sup>.
- Finalmente, luego de haber analizado las diferentes investigaciones se puede afirmar que la FP modifica las propiedades mecánicas del concreto; incrementando su resistencia a la tracción con la adición de FP para el 100% del total de investigaciones analizadas, mientras que para la resistencia en compresión el 60% incrementa y el 40% disminuye su resistencia del total de las investigaciones analizadas.

### **RECOMENDACIONES**

- Se recomienda conocer el tipo de solicitaciones de los diferentes elementos estructurales para definir si es conveniente añadir FP a la matriz de concreto dentro de la edificación.
- Se recomienda tener en cuenta la longitud de FP a utilizar ya que de acuerdo a la revisión se encontró que es conveniente utilizar fibras de mediano tamaño, la fibra de 30mm de longitud muestra mejor desempeño en cuanto a la resistencia en tracción.
- Se recomienda añadir fibra de polipropileno a la matriz de concreto dentro de una edificación para los elementos estructurales que estén sometidos a esfuerzos de tensiones.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alhozaimy, A. M., Soroushian, P., & Mirza, F. (1996). Mechanical properties of polypropylene fiber reinforced concrete and the effects of pozzolanic materials. *Cement and Concrete Composites*, 18(2), 85–92. [https://doi.org/10.1016/0958-9465\(95\)00003-8](https://doi.org/10.1016/0958-9465(95)00003-8)
- Amancio, F. A., De Carvalho Rafael, M. F., De Oliveira Dias, A. R., & Bezerra Cabral, A. E. (2018). Behavior of concrete reinforced with polypropylene fiber exposed to high temperatures. *Procedia Structural Integrity*, 11, 91–98. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2018.11.013>
- Aylie, H., Antonius, & Okiyarta, A. W. (2015). Experimental study of steel-fiber reinforced concrete beams with confinement. *Procedia Engineering*, 125, 1030–1035. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.11.158>
- Blanco, A., Pujadas, P., De la Fuente, A., & Antonio, A. (2010). Análisis comparativo de los modelos constitutivos del hormigón reforzado con fibras. *Hormigon y Acero*, 61(256), 83–101.
- Błaszczczyński, T., & Przybylska-Fałek, M. (2015). Steel Fibre Reinforced Concrete as a Structural Material. *Procedia Engineering*, 122(Orsdce), 282–289. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.10.037>
- Castoldi, R. de S., Souza, L. M. S. de, & de Andrade Silva, F. (2019). Comparative study on the mechanical behavior and durability of polypropylene and sisal fiber reinforced concretes. *Construction and Building Materials*, 211, 617–628. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.282>
- Cazan, O. E., Gherman, M. C., Szilagyi, H., & Constantinescu, H. (2015). Strength properties of polypropylene fiber reinforced high strength concrete. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*, 1(6), 193–200.
- Fathima, A.; Varghese, S. (2014). Behavioural Study of Steel Fiber and Polypropylene Fiber. *International Journal of Research in Engineering & Technology*, 2(10), 17–24.
- Isidro Perca, G. (2017). *Influencia de las fibras de polipropileno en las propiedades del concreto*  $f'c$  210  $kg/cm^2$ . 229. Retrieved from <https://www.educaweb.com/profesion/ingeniero-civil-50/>
- López Cruz, J. A. (2014). Propiedades mecánicas del concreto modificado a base de fibras de nylon y polipropileno para su uso en elementos estructurales. *Emecanica.Ingenieria.Usac.Edu.Gt*, 1–75. Retrieved from <http://emecanica.ingenieria.usac.edu.gt/sitio/wp-content/subidas/6ARTÍCULO-III-INDESA-SIE.pdf>
- Madhavi, T. C., Reddy, M., Kumar, P., Raju, S., & Mathur, D. (2015). Behaviour of polypropylene fiber reinforced concrete. *International Journal of Applied Engineering Research*, 10(9), 22627–22638.
- Martinez, J. (2016). *Análisis Comparativo De La Resistencia a Compresión Entre Un Adoquín Convencional y Adoquines Preparados Con Diferentes Fibras Sintética (Polipropileno), Orgánica (Estopa de Coco), Inorgánica (Vidrio)*.

- Mohod, M. V. (2015). Performance of Polypropylene Fibre Reinforced Concrete. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*, 12(1), 28–36. <https://doi.org/10.9790/1684-12112836>
- Seabrook, P. T., Balck, L. F., Bawa, K. S., Bortz, S. A., Chynoweth, G. L., Crom, T. R., ... Litvin, A. (1984). State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Shotcrete. *Concrete International*, 6(12), 15–27.
- Xin, C. L., Wang, Z. Z., Zhou, J. M., & Gao, B. (2019). Shaking table tests on seismic behavior of polypropylene fiber reinforced concrete tunnel lining. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 88(February), 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2019.02.019>