



Uso de la fibra sintética en el concreto estructural para edificaciones

Applications of reinforced concrete with synthetic fiber for buildings

Andrés Ramírez Gómez¹  Cesar Stiveen Gutiérrez Almarino² 
Juan Miguel Granados Valderrama³ 

Para citar: Ramírez, A., Gutiérrez, C. y Granados, J. (2019). Uso de la fibra sintética en el concreto estructural para edificaciones. *Redes de Ingeniería*, 10(1), 34-42, doi: <https://doi.org/10.14483/2248762X.14250>.

Recibido: 10-diciembre-2018 / **Aprobado:** 8-noviembre-2019

Resumen

En el 2016, se inicia la investigación buscando un concreto con mayor resistencia sin aumentar significativamente su costo. Al consultar varias fuentes se evidenció que el uso de las fibras en el mundo estaba aumentando. Ante los estudios realizados por otros investigadores, se plantea la hipótesis de que el uso de las fibras sintéticas en las estructuras verticales era demasiado limitado; así, se inició la consulta de fuentes acerca de las propiedades físicas y químicas de esta fibra. El inicio del uso a nivel mundial en materia de fibras sintéticas se da en Japón, lugar de varias empresas que fabrican y comercializan este material como refuerzo del concreto. La investigación llevó a la Universidad de Michigan, donde el director de investigaciones, el doctor Víctor Li, también avanzaba en el estudio del comportamiento y usos del concreto reforzado con fibra sintética, lo cual brindó la motivación para creer que el camino escogido era el correcto.

Palabras clave: elementos estructurales, fibra sintética, reforzamiento, sismorresistencia.

Abstract

In 2016 the research begins, looking for a material with the premise of increasing the strength of the concrete without this being directly proportional to the relationship with the cost. After consulting several sources, it was evidenced that the use of fibers in the world was increasing. Before the studies carried out by other researchers, it was hypothesized that the use of synthetic fibers in vertical structures was too limited. The consultation of sources about the physical chemical properties of these fibers was initiated, thus posing a possible solution to the problem of improving resistance versus reasonable cost. The beginning of the use worldwide in the matter of synthetic fibers goes back to Japan, place of several companies that manufacture and commercialize this material as reinforcement of the concrete. The research transported us to more than 10,000 kilometers, taking us to the University of Michigan, where the director of research Dr. Víctor Li, also advanced in the study of the behavior and uses of synthetic fiber reinforced concrete, several emails and conversations with the research center, gave the motivation to believe that the chosen path was the right one.

Keywords: synthetic fiber, reinforcement, structural elements, earthquake resistance.

1. Magíster en Ingeniería Civil con énfasis en Estructuras, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Colombia. Correo electrónico: arginco@yahoo.es, andres.ramirezg@ustadistancia.edu.co
2. Estudiante Construcción en Arquitectura e Ingeniería, Universidad Santo Tomas, Colombia. Correo electrónico: cesargutierrez@ustadistancia.edu.co
3. Estudiante Construcción en Arquitectura e Ingeniería, Universidad Santo Tomas, Colombia. Correo electrónico: juangranados@ustadistancia.edu.co

INTRODUCCIÓN

En el territorio colombiano, al igual que en la gran mayoría de los países, se ha establecido el concreto como el material de mayor uso en las construcciones a beneficio de la sociedad: viviendas con sistemas estructurales avalados por la norma vigente, puentes con grandes luces entre apoyos o columnas, mallas viales construidas sobre suelos flexibles y rígidos, placas de contrapiso de amplia área en zonas de uso comercial, entre otras. La idea inicial de aumentar las capacidades de este material sin aumentar significativamente su costo indiscutiblemente venía de la mano con la necesidad de enfocarse en la construcción de elementos estructurales duraderos, reducción en su sección transversal, mejora en la resistencia y obtención de mejor desempeño ante los esfuerzos a los que se ve sometida una estructura frente a un sismo.

El uso de concreto flexible también se requiere en temas urbanísticos como en reparación de puentes, ello ante la disminución de su fisuración o agrietamientos, donde las fibras sintéticas no reemplazan el acero, pero sí aportan a las propiedades mecánicas del material compuesto; es allí donde actúan de la mejor manera posible, amarrándose a la mezcla y evitando un fisuramiento generalizado y profundo del concreto.

Cabe resaltar que la fibra no busca reemplazar el acero, el cual es un material muy importante y de alta resistencia para tomar los esfuerzos de tensión en los elementos estructurales de concreto reforzado en sus diferentes usos, sino que la fibra sintética se integra a este material compuesto con el fin de establecer una mayor resistencia a la compresión, ductilidad y tracción ante esfuerzos generados, principalmente, por eventos sísmicos, fuerzas dinámicas u otros.

Una de las construcciones ya realizadas con este tipo material es el puente Mihara Bridge en Hokkaido, Japón. Este puente es un 40% más ligero que si

hubiese sido construido en concreto convencional y se estima que tiene una vida de servicio de 100 años. En Colombia, para la segunda fase del Centro Comercial Diver Plaza, ubicado en Bogotá D.C., se utilizaron fibras en las placas de contrapiso y entrepiso, siendo este tipo de construcción de uso comercial; asimismo, en otros sectores la fibra ha destacado por ser útil en pisos industriales, muros de contención y placas en sótanos [1].

USOS Y FUNDAMENTOS

Se realizó un proyecto de investigación cuyo proceso técnico fijó un objetivo para utilizar el concreto convencional combinado con fibras sintéticas. El material compuesto presenta mejoras en las propiedades mecánicas como compresión, flexión y tracción indirecta con respecto al concreto convencional, además de la reducción de las secciones transversales y del peso de los elementos estructurales.

Se crea una propuesta viable en la industria de la construcción mediante la implementación de nuevas tecnologías en materiales y alternativas para diferentes usos en construcciones verticales u horizontales, entre estos se pueden mencionar edificios, vías, puentes, túneles, cimentaciones, entre otros. Asimismo, cabe resaltar que su objeto de estudio principal son elementos como vigas y placas de entre piso, cuyo estudio de diseño y proceso constructivo está acorde con las normas vigentes colombianas tales como la NSR-10.

Este tipo de material ha sido usado en países como Japón, Corea, Suiza y Australia; sin embargo, a nivel mundial no se ha logrado expandir debido a que faltan estudios en elementos cargados a largo plazo. Lo anterior genera que en el comercio no sea un producto altamente solicitado, ya que las investigaciones a fondo son limitadas y, por lo tanto, son pocos los visionarios que se deciden a implementarlas en una obra real. Las pruebas realizadas a corto plazo muestran resultados muy

satisfactorios, esto sirve de base para profundizar en otros estudios complementarios y vitales, augurándole un éxito a este complemento.

De acuerdo con la investigación de Su-Jin Lee y Jong-Pil Won en 2014, se puede obtener una equivalencia entre la fibra sintética y la fibra de acero, de tal manera que la mezcla sea manejable sin la reducción de la resistencia por los altos porcentajes de fibra sintética [2]. Además, las mezclas con 10 kg/m³ dosis de fibras sintéticas de poliolefina han cumplido los requisitos establecido en las normas que permiten considerar la contribución de las fibras en el diseño estructural de un elemento [3].

Según la investigación de Asad Zia y Majid Ali en 2017, la adición de fibras de nylon al 1% al hormigón mejoró la compresión, tracción y resistencias a la flexión en un 7%, 10% y 12% respecto al hormigón convencional. La ductilidad del hormigón también se mejoró y se observó una mayor durabilidad debido a la reducción de la fisuración con la consiguiente mejora del hormigón para la construcción de canales [4].

En la investigación adelantada por Mohammad Abdur Rasheed y Suriya Prakash en 2015, el comportamiento mecánico de los cilindros bajo compresión pura y bloques bajo flexión con y sin refuerzo de fibra estructural de poliolefina, así como híbrido, arrojaron resultados de las pruebas que indican que la adición de fibras estructurales mejoró la resistencia a la compresión de hasta 66.8% para la fracción de volumen de 0.55%. La ductilidad pospico mejoró hasta un factor de nueve en caso de compresión para una fracción de volumen del 0.55%. Del mismo modo, resultó en un aumento del 15.31% de ductilidad a la flexión pospico mediante una adición híbrida de 0.44% y 0.02% de fracción de volumen de macro y microfibras respectivamente. El refuerzo de fibra híbrida mejoró la resistencia máxima y la ductilidad, lo cual indicó un mejor puente de grietas tanto a nivel micro como macro [5].

Los resultados de la investigación realizada en 2012 por Amir Alani y Derrick Beckett demuestran que el uso de las fibras sintéticas a una dosis de 7 kg/m³ se comparan favorablemente con fibras de acero con gancho en una dosis de 40 kg/m³ [6].

CONCRETO DE ALTO DESEMPEÑO

Los concretos en la industria se han denominado como material de mayor uso en las diferentes construcciones que se observan en la sociedad, siendo este el promotor del desarrollo de diferentes países en razón de que la infraestructura genera avances tecnológicos y ampliación de conocimientos; por ello, el concreto de alto desempeño se puede considerar uno de los más estudiados ante las estructuras, obteniendo resistencias aproximadas de 42 MPa (6000PSI) [3]. Este tipo de concretos de alto desempeño es utilizado en edificaciones de alturas considerables, presentándose ante la industria como una alternativa con ventajas sumamente positivas para la construcción de rascacielos [7]. Vale la pena resaltar que en Colombia se ha utilizado este concreto de alto desempeño en la ciudad de Barranquilla, edificio Grattacielo [8].

Finalmente, es importante mencionar que, en un comparativo de concretos de alto desempeño versus el material sintético antes mencionado, cada diseño de mezcla debe contar con un agregado fino (cemento) de alta calidad para que sea óptima su resistencia [9].

MÉTODOS

Programa experimental

Dentro de la investigación realizada por la Universidad Santo Tomás, Vicerrectoría de Universidad Abierta y a Distancia (VUAD) y por el semillero de investigación "SIAC" en avances de la construcción, se realizaron un total de 48 especímenes. Semanalmente se construyeron doce, discriminados en ocho Cilindros y cuatro viguetas, los cuales

fueron fundidos en los laboratorios de la Universidad Santo Tomas; los ensayos se realizaron en las instalaciones de Asocreto Colombia, una entidad certificada para realizarlos. La programación fue diseñada para optimizar los costos y el tiempo de realización de los ensayos, dando espacio al fraguado y desencofrado del concreto [10], [11].

Los ensayos a los especímenes se realizan a los catorce y veintiocho días después de fundido el material, de a dos especímenes por fecha, logrando obtener un resultado promedio de las resistencias a compresión, flexión y tensión indirecta [12], [13].

El método empleado para la dosificación y mezcla se realizó siguiendo la norma ACI 211.1 con un concreto de 21 MPa de resistencia nominal a la compresión ($f'c$); además, se tuvieron en cuenta las recomendaciones dadas por los fabricantes y los profesionales con amplia experiencia en laboratorio de materiales, ello con el fin tener una guía práctica para continuar con el proceso investigativo [14].

Se realizaron tres ensayos del mismo tipo variando la mezcla para un total de dieciséis ensayos. Los

Tabla 1. Tipos de ensayos realizados y edad de falla.

Espécimen	Tipo de ensayo	Fallar a los catorce días	Fallar a los veintiocho días
0 Kg/M3 de Fibra	Compresión	2	2
	Flexión	0	4 (2 con acero)
	Tracción indirecta	2	2
4 Kg/M3 de Fibra	Compresión	2	2
	Flexión	0	4 (2 con acero)
	Tracción indirecta	2	2
8 Kg/M3 de Fibra	Compresión	2	2
	Flexión	0	4 (2 con acero)
	Tracción indirecta	2	2
12 Kg/M3 de Fibra	Compresión	2	2
	Flexión	0	4 (2 con acero)
	Tracción indirecta	2	2

Fuente: elaboración propia.

ensayos de laboratorio a realizar fueron: flexión, compresión y tracción indirecta. Se presenta a continuación en la Tabla 1 los tipos de ensayos realizados y su tiempo de curado (fallados a los catorce y veintiocho días).

Para la elaboración de los especímenes reforzados con fibra y ensayados, se emplearon los materiales mencionados a continuación [15].

Tabla 2. Tipos de ensayos realizados y edad de falla.

Material	Resistencia	Características
Concreto	$f'c = 26.3$ MPa	Concreto reforzado con 4 kg/m^3 de fibra sintética hallado en la investigación.
Acero de refuerzo longitudinal	$F_y = 420$ MPa	Usado para las viguetas patrón en varillas de $\phi 3/8"$.
Fibra sintética (Sika)	F a tensión = 550 MPa	Usada para mezclado con el concreto convencional.
Agregado fino	N.A.	Arena de río, cantidad proporcional según el diseño de mezcla evaluado por su peso específico: 2500 kg/m^3 , absorción 2,7136 (NTC 385), humedad 6,81 (NTC 1776), módulo de finura 2.62, densidad 1.97 gr/m^3 (NTC 237).
Agregado grueso	N.A.	Grava tamaño máximo: $3/4"$, peso específico 1600 kg, absorción 3,20% (INVIAS E 223), cantidad de humedad 5,28% (NTC 1776), densidad $2,31 \text{ gr/m}^3$ (NTC 176).
Aditivo: Sika Viscocrete 2100 de Sika	N.A.	Sika Viscocrete 2100 de Sika, funcional para mayor maleabilidad al concreto, es decir, una textura de alta plasticidad para generar una mezcla homogénea.

Fuente: elaboración propia.

MATERIALES

En la Tabla 2, se muestra la caracterización de los materiales usados en la investigación.

En la Figura 1 y la Figura 2, se muestra el curado de los cilindros y el etiquetado de especímenes. En la Figura 3 y la Figura 4, se registran los ensayos realizados.



Figura 1. Curado de cilindro en laboratorio.

Fuente: elaboración propia.



Figura 2. Etiquetado de especímenes.

Fuente: elaboración propia.



Figura 3. Ensayo de compresión.

Fuente: elaboración propia.



Figura 4. Ensayo de tracción indirecta.

Fuente: elaboración propia.

RESULTADOS

Con el objetivo de optimizar los materiales de construcción y los espacios habitables, además de impulsar la implementación de las fibras en la construcción vertical de orden habitacional, se trabajó con tres

cantidades de fibra sintética agregadas a un concreto convencional apoyados en anteriores investigaciones [16], [17]. Se obtienen los siguientes resultados:

- Se evidencia un aumento en la resistencia a la compresión de 35% para el diseño de mezcla

de concreto reforzado con fibra de 4 kg/m³ con respecto al concreto convencional sin refuerzo.

- Se observa una reducción de la resistencia a la compresión para los diseños de mezcla con respecto a 8 y 12 kg/m³, donde se demuestra que la dosificación óptima es de 4 kg/m³.
- La resistencia a la compresión máxima alcanzada con el diseño de mezcla a 4 kg/m³ de fibra a los 28 días es de 28.10 MPa, superior a los valores alcanzados por los otros diseños.
- Se concluye que es viable su uso para edificaciones en concreto reforzado en elementos estructurales por la reducción de las secciones transversales y del peso de la estructura.
- Para un edificio de tres pisos de uso habitacional, se evidenció mediante el diseño estructural con el programa SAP 2000 una reducción en el peso de la estructura reforzada con fibra sintética del 20% con respecto a la estructura en concreto convencional.
- Se evidencia la reducción de las fuerzas sísmicas, reducción del tamaño de la cimentación, aumento de la ductilidad y de la durabilidad del concreto reforzado con fibra sintética gracias a la reducción de la probabilidad de fisuras.
- De acuerdo con la cantidad de fibra sintética, se observa que se pueden generar planos de

falla o se reduce la resistencia a esfuerzo de compresión para valores de fibra mayores a 4 kg/m³.

Tablas de tendencia

En la Figura 5, puede observarse la resistencia a la compresión en relación con la cantidad de fibra sintética.

En la Figura 6, se presenta la resistencia a la tracción indirecta en relación con la cantidad de fibra sintética.

En la Figura 7, se presenta la resistencia a la flexión en relación con la cantidad de fibra sintética.

En la Figura 8, Figura 9 y Figura 10, se presenta la estructura en concreto según diferentes parámetros.

En la Figura 9, se muestran las secciones diseñadas para concreto de $f'c = 21$ Mpa sin adición de fibra sintética.

En la Figura 10, se muestran las secciones diseñadas para concreto de $f'c = 21$ Mpa con adición de fibra sintética, las cuales son menores que las de la Figura 9.

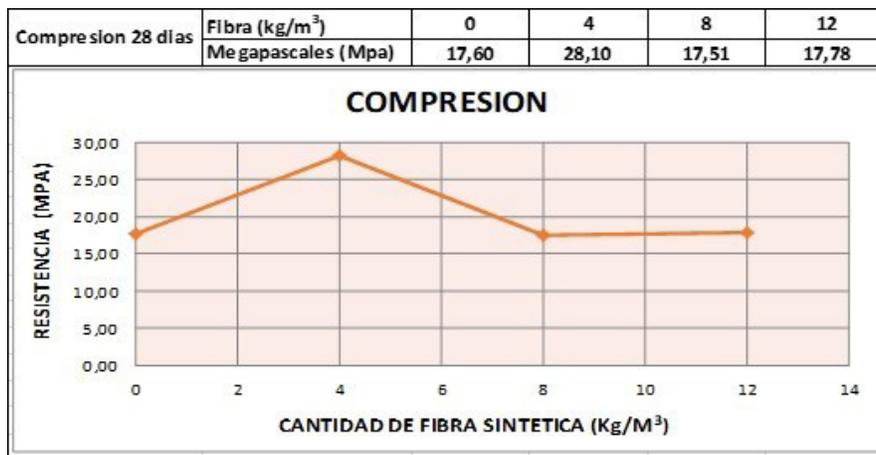


Figura 5. Resistencia a la compresión versus cantidad de fibra sintética.

Fuente: elaboración propia.

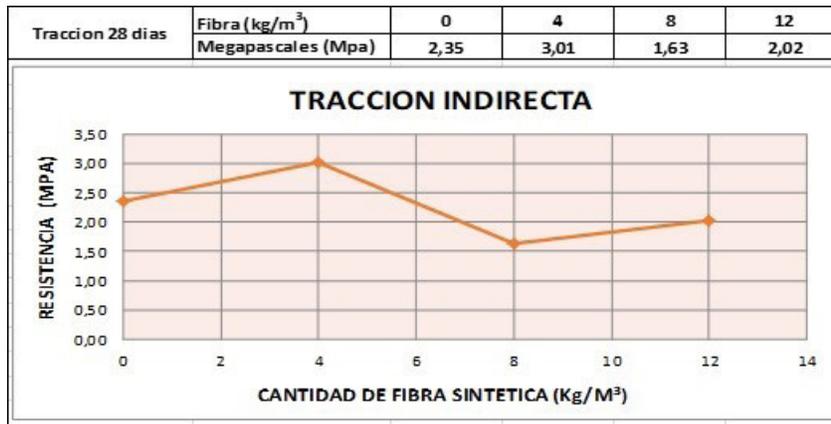


Figura 6. Resistencia a la tracción indirecta versus cantidad de fibra sintética.

Fuente: elaboración propia.

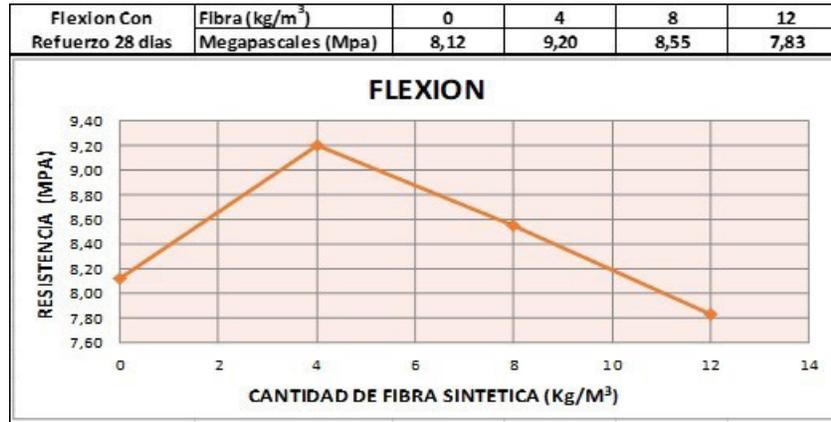


Figura 7. Resistencia a la flexión versus cantidad de fibra sintética.

Fuente: elaboración propia.

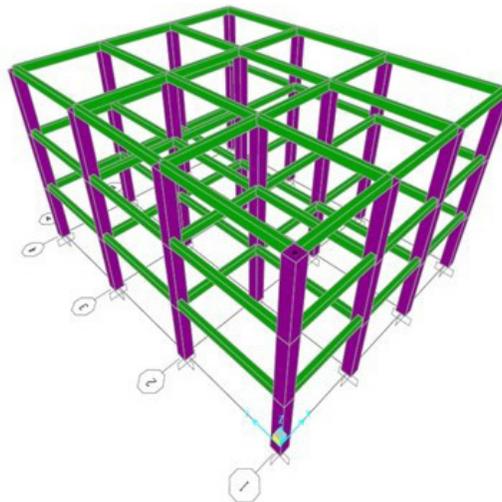


Figura 8. Modelo de estructura en concreto reforzado en SAP 2000.

Fuente: elaboración propia.

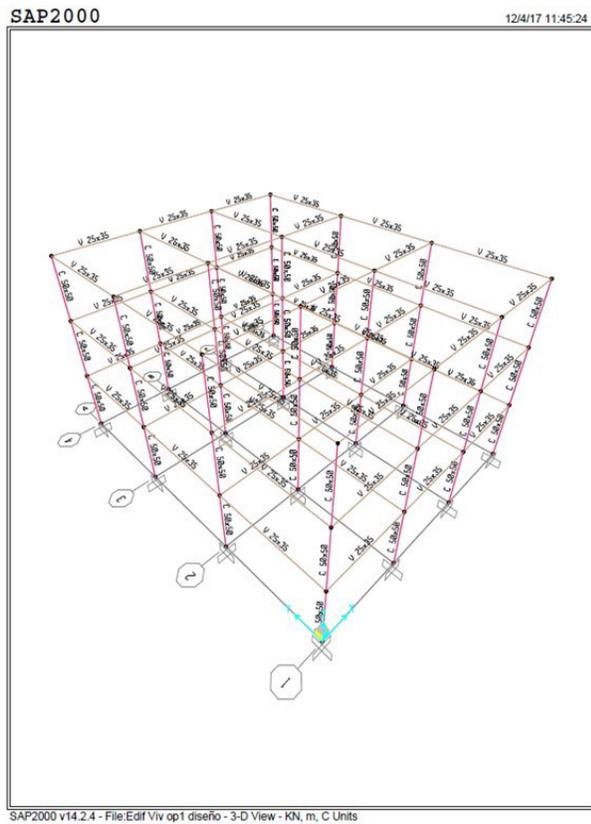


Figura 9. Modelo de estructura en concreto sin fibra sintética.
Fuente: elaboración propia.

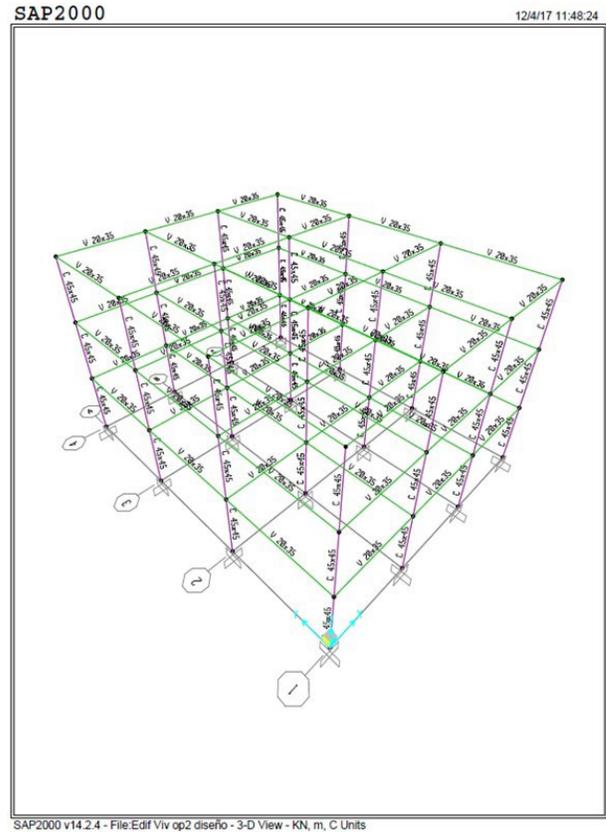


Figura 10. Modelo de estructura en concreto con fibra sintética.
Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio, al aumentar la cantidad de fibra sintética por encima de los 4 Kg/m³ se reduce la resistencia del concreto, posiblemente debido a la aparición de nuevos planos de falla y vacíos entre la fibra y el concreto. Sin embargo, tras realizar varios ensayos se evidenció que las mayores resistencias mecánicas se presentaron para una dosificación de fibra sintética de 4 Kg/m³. Con este resultado positivo para la industria de la construcción se pueden lograr mayores resistencias a partir de los mismos materiales pétreos y costos similares, ello con la consiguiente reducción de las secciones transversales de los elementos estructurales y el peso global de las estructuras.

Este tipo de concreto reforzado con fibra sintética de alto desempeño se puede utilizar en la

construcción de edificios residenciales con mayores espacios arquitectónicos en relación con el uso del concreto convencional.

Teniendo en cuenta los procesos constructivos para la ejecución de puentes, túneles, vías, placas de entrepiso, de contrapiso, tanques, estructuras portuarias, plantas de tratamiento y demás, al reforzar cada elemento con fibras sintéticas de acuerdo con la cantidad calculada y efectiva se determina la optimización de recursos para la construcción en usos residenciales, comerciales, industriales y de transporte.

En los últimos quince años, el concreto de alto desempeño se ha diseñado con concretos de resistencias altas, donde uno de sus usos principales son las cimentaciones y superestructura en grandes proyectos de infraestructura; por ello, la fibra sintética, de acuerdo con los resultados obtenidos

y su comportamiento en el concreto, tiene un uso importante en la industria de la construcción.

REFERENCIAS

- [1] García, "360 Grados en Concreto". [En línea]. Disponible en: <http://blog.360gradosenconcreto.com/concretos-de-alto-desempeno-en-edificios/>
- [2] J. Won and S. Lee, "Flexural behavior of precast reinforced concrete composite members reinforced with structural nano-synthetic and steel fibers", *Composite Structures*, n.º 118, pp. 571-579, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2014.07.042>
- [3] M. G. Alberti, A. Enfedaque y J. C. Gálvez, "Comparison between polyolefin fibre reinforced vibrated conventional concrete and self-compacting concrete". *Construction and Building Materials*, n.º 85, pp. 182-194, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.03.007>
- [4] A. Zia and M. Ali, "Behavior of fiber reinforced concrete for controlling the rate of cracking in canal-lining", *Construction and Building Materials*, n.º 155, pp. 726-739, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.08.078>
- [5] M. A. Rasheed and S. S. Prakash, "Mechanical behavior of sustainable hybrid-synthetic fiber reinforced cellular light weight concrete for structural applications of masonry", *Construction and Building Materials*, n.º 98, pp. 631-640, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.08.137>
- [6] A. M. Alani and D. Beckett, "Mechanical properties of a large scale synthetic fibre reinforced concrete ground slab". *Construction and Building Materials*, n.º 41, pp. 335-344, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.11.043>
- [7] J. D. Tabares, "El concreto: tan flexible como resistente". [En línea]. Disponible en: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/categoryid/178/categoryname/concreto/el-concreto-tan-flexible-como-resistente>
- [8] Argos, "Portal Lógico de Colombia". [En línea]. Disponible en: <http://plc.mintransporte.gov.co/es/noticias/concreto-avanzado-solucion-para-estructuras-en-zonas-costeras>
- [9] S. Franco, "360 Grados". [En línea]. Disponible en: <http://blog.360gradosenconcreto.com/concretos-de-alto-desempeno-en-edificios/>
- [10] P. Dahl, «"Plastic shrinkage and cracking tendency of mortar and concrete containing fiber mesh", FCB Cement and Concrete Institute, Trondheim, Norway,,» 1985.
- [11] A. 211.1, « Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight and Mass Concrete. Reported by ACI Committee 211,» 1991.
- [12] U. Commons, 2010. [En línea]. Disponible en: <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3324/55872-8.pdf>
- [13] Arqhys, "Resistencia del concreto al corte". [En línea]. Disponible en: <http://www.arqhys.com/contenidos/resistencia-concreto-corte.html>
- [14] Instituto Nacional de Vías, "Resistencia a la flexión del concreto. Método de la viga simple cargada en el punto central. [En línea]. Disponible en: ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones_Normas_INV-07/Normas/Norma%20INV%20E-415-07.pdf. <https://doi.org/10.7203/normas.3.4678>
- [15] J. Maracano, "360 Grados en Concreto". [En línea]. Disponible en: <http://blog.360gradosenconcreto.com/el-concreto-tan-flexible-como-resistente/>.
- [16] C. J. Mendoza, C. Aire y P. Dávila, "Influencia de las fibras de polipropileno en las propiedades del concreto en estados plástico y endurecido", *Concreto y Cemento*, n.º 2, vol. 2, 2011.
- [17] A. Alhozaimy, P. Soroushian and F. Mirza, "Mechanical properties of polypropylene fiber reinforced concrete and the effects of pozzolanic materials", *Cement and Concrete Composites*, pp. 85-92, 1992. [https://doi.org/10.1016/0958-9465\(95\)00003-8](https://doi.org/10.1016/0958-9465(95)00003-8)

