

Uso de fibra de aguja de pino para mejorar las propiedades mecánicas del hormigón: una revisión sistemática

Use of pinus needle fiber to enhance the concrete mechanicals properties: a systematic review

Flor Liliana del Rocío Llenque Galán ^{1,a}  

Filiación institucional

¹ Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo, Perú.

Filiación académica

^a Estudiante de ingeniería.

Recibido: 04-11-23

Aprobado: 04-02-23

Publicado: 12-02-24

RESUMEN

Objetivo. Realizar una revisión sistemática sobre la fibra de agujas pino agregadas para mejorar las propiedades mecánicas del hormigón. **Métodos.** Se aplicó una revisión sistemática de 80 artículos distribuidos en las bases de datos indexadas de la siguiente manera: 15 de Scopus, 30 de ProQuest, 11 de EBSCO, y 24 ScienceDirect, donde se encontraron 32 artículos del 2017 al 2019 y 48 artículos del 2020 al 2022. **Desarrollo.** Para la búsqueda de los artículos fueron usadas las siguientes palabras clave: fibras de pino, influencia de la fibra de pino, propiedades del concreto con fibra, uso de la fibra de pino. Se tiene como resultado que usando el 25 % y 50 % de fibras de pino mejora las propiedades mecánicas del concreto, aumentando un 12,6 % y 15,60 % de la resistencia a la compresión del hormigón. **Conclusión.** Se concluye que usar fibra de pino en el concreto puede aumentar la resistencia a la compresión como también puede aumentar su ductilidad y tenacidad, entre otras propiedades mecánicas.

Palabras clave: fibras de pino; influencia de la fibra de pino; propiedades del concreto con fibra; uso de la fibra de pino.

ABSTRACT

Objective. Realizing a systematic review about pinus needle fiber added to enhance the mechanical properties of concrete. **Methods.** A systematic review of 80 articles distributed in indexed databases was applied as follows: 15 from Scopus, 30 from ProQuest, 11 from EBSCO, and 24 ScienceDirect, where 32 articles from 2017 to 2019 and 48 articles from 2020 to 2022 were found. **Development.** To the articles search were used the next words: pinus fibers, influence of pinus fiber, properties of concrete with fiber, use of pinus fiber. It is found that using 25 % and 50 % of pinus fibers improves the mechanical properties of concrete, increasing by 12.6 % and 15.60 % the compressive strength of concrete. **Conclusion.** It is concluded that using pinus fiber in concrete can increase the compressive strength as well as increase its ductility and toughness, among other mechanical properties.

Keywords: pinus fibers; influence of pinus fiber; properties of concrete with fiber; use of pinus fiber.

Citar como: Llenque, F. (2024). Uso de fibra de aguja de pino para mejorar las propiedades mecánicas del hormigón: una revisión sistemática. *Revista Científica De Ingeniería, Diseño y Arquitectura Contemporánea*, 1(1):41-9. <https://doi.org/10.37711/idac.2024.1.1.6>



Introducción

Según Sanjeev y Nitesh (2020), el hormigón es el material de construcción preferido en el área de la ingeniería civil en todo el mundo debido a sus ventajas; como el bajo costo, el fácil acceso al material y la durabilidad, por lo cual, los materiales utilizados deben presentar un comportamiento dúctil y una alta absorción de energía. Sin embargo, Merta y Schegg (2015) mencionan que el hormigón es un material quebradizo debido a su baja resistencia a la tracción (RT) y a la flexión (RF), así como a sus pobres propiedades de tenacidad; además, la contaminación ambiental está aumentando con el aumento en el uso del cemento.

De acuerdo con Mustafa (2022), los estudios para el progreso de las propiedades mecánicas del hormigón, al limitar el uso de cemento, van en aumento; uno de los cuales apunta a agregar fibra de aguja de pino al concreto, ya que es uno de los métodos efectivos para aumentar las propiedades mecánicas del hormigón. Esto también se relaciona con lo mencionado por Orami y Seibi (2017), quienes manifiestan que agregar fibra al concreto no es un tema nuevo, dado que en la actualidad se han llevado a cabo numerosos estudios sobre el hormigón reforzado con fibras de pino.

Por su parte, Coutts (2017) expresa que uno de los primeros estudios en utilizar fibras naturales para aumentar las propiedades mecánicas del concreto fue una la investigación australiana donde Tioua et al. (2017) señalan que una de las investigaciones fue el uso de fibras de agujas de pino, las cuales han utilizadas como sustituto del asbesto en productos de fibrocemento, de modo que el hormigón reforzado con fibra de agujas de pino tiene mejor flexibilidad y resistencia que el hormigón ordinario.

Desde el punto de vista de Sanjeev y Sai Nitesh, (2019), las grietas en el concreto con niveles de daño avanzados provocan pérdidas de resistencia y una disminución de la tenacidad por la cual las fibras actúan como pararrayos y aumentan las propiedades mecánicas como la ductilidad, la tenacidad y la resistencia al impacto después del agrietamiento. Como también afirman Sanjay et al. (2017), las fibras de agujas de pino tienen propiedades únicas como lo son el bajo costo, baja densidad, reciclabilidad, biodegradabilidad y sostenibilidad en términos de recursos y disponibilidad abundante; lo que las hacen ser consideradas como los materiales de elección. Además, en cuanto a la preparación de fibras naturales, este es un proceso fácil que requiere poco equipo; además, los métodos de preparación utilizados no generan gases nocivos, lo que mitiga la contaminación ambiental.

Métodos

Este documento utilizó como fuentes de información varias bases de datos de referencias bibliográficas como bases de información como Scopus, ProQuest, EBSCO y ScienceDirect. Para la selección de fuentes fueron incluidas las miradas más pertinentes para los períodos de 2017 a 2022. Así mismo, para la indagación de los artículos fueron usadas las siguientes palabras clave: fibras de pino, influencia de la fibra de pino, propiedades del concreto con fibra, uso de la fibra de pino, pudiendo recopilarse una suma de 80 artículos.

Desarrollo y discusión

Fueron elaboradas dos matrices; la primera examinó las normas de búsqueda y la determinación de los artículos en los que se observó lo siguiente: las palabras clave, la cantidad de registros vistos según el tiempo de búsqueda, el uso de la condición de búsqueda, los resultados con el canal, para adquirir finalmente los artículos fundamentales para la exploración. Para dar un detalle superior, en la Tabla 1 se visualizan los artículos utilizados de acuerdo con la base de información y los largos períodos de distribución.

Después de pasar por los filtros en la segunda matriz posterior se detalla la cantidad de artículos retirados cada año, en la cual se hallaron 80 artículos indexados y repartidos de la siguiente manera: 15 de Scopus, 30 de ProQuest, 11 de EBSCO y 24 ScienceDirect. Respecto de la temporalidad, se encontraron 32 artículos del 2017 al 2019 y 48 artículos del 2020 al 2022. Para mayor detalle la Tabla 2 muestra los artículos difundidos para cada base de información ordenada y la distribución por año.

Tabla 1
Motor de búsqueda y selección de artículos usados en la investigación

Base de datos	Palabra clave	Total de documentos	Años de búsqueda	Cantidad de documentos	Ecuación de la búsqueda	Resultado final con filtro	Artículos elegidos
EBSCO	<i>Influence of pine fiber</i>	246,612	2017-2022	76,302	Revista	985	8
	<i>Use of pine fibers in concrete</i>	130,860	2017-2022	38,996	Revista	722	4
	<i>Properties of concrete with pine</i>	351,941	2017-2022	97,672	Revista	2,678	16
Scopus	<i>Influence of pine fiber</i>	247	2017-2022	79	<i>Engineering+ Materials Science</i>	46	3
	<i>Use of pine fibers in concrete</i>	33	2017-2022	17	<i>Engineering+ Materials Science</i>	16	1
	<i>Properties of concrete with pine</i>	80	2017-2022	33	<i>Engineering+ Materials Science</i>	29	3
ScienceDirect	<i>Influence of pine fiber</i>	20,117	2017-2022	6,616	<i>Review articles+ Research articles</i>	5,367	10
	<i>Use of pine fibers in concrete</i>	3,006	2017-2022	1,135	<i>Review articles+ Research articles</i>	804	6
	<i>Properties of concrete with pine</i>	6,632	2017-2022	2,292	<i>Review articles+ Research articles</i>	1,794	12
ProQuest	<i>Influence of pine fiber</i>	40,255	2017-2022	13,907	Artículo+ Revisión de literatura	118	11
	<i>Use of pine fibers in concrete</i>	17,955	2017-2022	4,195	Artículo+ Revisión de literatura	10	2
	<i>Properties of concrete with pine</i>	74,492	2017-2022	21,258	Artículo+ Revisión de literatura	24	8
Total							80

Ensayo de resistencia a la compresión utilizando fibras de agujas de pino

Según Prakash et al. (2020), los resultados de la prueba de compresión presentan que el uso de fibra con longitudes de 30 y 40 mm incrementó la resistencia a la compresión (RC); sin embargo, según Abdelsamie et al. (2021) las fibras de 50 mm de longitud disminuyeron la RC en comparación con la muestra de referencia. Zhu et al. (2021) describen que en el uso de fibra de 40 mm de longitud la RC aumentó en 8,65 %, 10,45 %, 9,92 % y 9,14 % en las muestras con contenido de fibra de 0,25 %, 0,50 %, 0,75 % y 1,00 %, respectivamente.

Tabla 2
Artículos distribuidos de acuerdo con la base de datos y año de publicación

Año	Bases de datos				Total
	EBSCO	Scopus	ScienceDirect	ProQuest	
2017	2	1	3	4	10
2018	1	2	5	5	13
2019	2	1	3	3	9
2020	1	6	4	4	15
2021	4	2	4	6	16
2022	1	3	5	8	17
Total	11	15	24	30	80

En la Tabla 3 se visualiza la comparación de la RC del concreto patrón o normal con el concreto con reemplazo parcial de las fibras de agujas de pino.

Tabla 3

Resistencia a compresión del concreto con los diferentes porcentajes de fibras de pino

Referencia	Porcentaje óptimo de fibras de agujas de pino	Contenido de cemento (kg/m ³)	Relación agua cemento (a/c)	Resistencia a la compresión del concreto patrón (kg/cm ²)	Resultados
(Bakri et al., 2017)	0,25 %	360	0,61	210	Aumento 12,26 %
(Jianchen et al., 2022)	0,50 %	496	0,5	210	Aumento 15,60 %
(Kaarthink y Gowtham, 2018)	0,75 %	330	0,45	175	Aumento 14,24 %
(Dhivya et al., 2021)	1,00 %	204	0,42	280	Aumento 13,31 %

Ensayo de la resistencia a la flexión usando fibras de pino al concreto

Según Libre et al. (2017), los efectos del ensayo de resistencia a la flexión (RF) de las muestras del uso de la fibra de pino en el concreto, con un aumento en la cantidad de fibra hasta un 0,50 %, aumenta la RF. Por otra parte, Meng et al. (2020) manifiestan que el uso de más del 0,50 % de fibra de pino reduce ligeramente la resistencia.

Por otro lado, Amin et al. (2022) argumentan que el aumento de la longitud de las fibras de pino en el concreto disminuyó la RF del hormigón, debido a lo cual, la RF del hormigón con adición de fibra de 30 mm varía entre 21,95 y 22,46 MPa, dependiendo del contenido de fibra. Por otra parte, Tolga y Uzun (2021) dan a conocer que la RF del hormigón con adición de fibra de 40 mm varía entre 21,14 y 21,63 MPa, dependiendo del contenido de fibra.

En la Tabla 4 se visualizan los resultados de RF comparando la resistencia del concreto patrón con la resistencia agregando fibra de agujas de pino.

Trabajabilidad de la fibra de agujas de pino en concreto

Según Waqas et al. (2020), la trabajabilidad con fibra de pino y sus compuestos aumentan la filtración del recurso hídrico, en el caso de los compuestos cementosos. Esto a su vez reduce la disponibilidad de agua para

Tabla 4

Resultados de la resistencia a la flexión del hormigón con fibra de pino (unidad: MPa)

Porcentaje óptimo de fibras de agujas de pino	Resistencia a la flexión del concreto patrón (kg/cm ²)	Tipo de cemento	Resultado	Referencias
0,30 %	210	Cemento Portland tipo I	22,46 MPa	(Wenhui et al., 2022)
0,40 %	175	cemento Portland ordinario	21,63 MPa	(Yang et al., 2021)
0,50 %	175	Cemento Portland tipo III	20,44 MPa	(Bashir et al., 2019)
0,60 %	280	Cemento porland	19,54 Mpa	(Anupama et al., 2019)

la lubricación del cemento, lo que resulta en una disminución de la trabajabilidad. Como también lo hacen notar Paricaguán et al., (2017), quienes describen que incorporando al concreto 0, 20, 50, 75 y 100 % de fibras de pino que se retiene la malla N.º 200, la cual se sustituye de arena un 20 % de fibra de pino que pasa la malla N.º 200 actuando como remplazante del cemento Portland ordinario y una relación a/c de 0,55, donde se vieron las caídas de 73, 92, 76, 53 y 37 mm para las incorporación de 0, 20, 50, 75 y 100 % de fibras de agujas de pino, dando así como resultado una mejor trabajabilidad al 25 % para el reemplazo del 20 % de fibra de pino y una decrecimiento de la misma para el reemplazo de hasta el 100 % de fibra de pino. En la Tabla 5 se muestra la trabajabilidad del concreto utilizando diferentes porcentajes de fibras de pino.

Tabla 5

Resultados de la trabajabilidad del concreto añadiendo fibras de agujas de pino

Referencia	Proporción óptima de fibras de pino	Resistencia de trabajabilidad del concreto patrón (kg/m ²)	Contenido de cemento (kg/m ³)	(Mahdi et al., 2017)
(Mahdi et al., 2017)	30 %	210	300	Incrementa un 25 %
(Sukhoon y Hyeong, 2017)	23 %	175	360	Se mantiene igual su trabajabilidad 20 %
(Ahmed, 2017)	18 %	NR	310	Disminuye su trabajabilidad un 10 %
(Abbas et al., 2020)	10 %	NR	320	Disminuye su trabajabilidad un 15 %
(Zamis et al., 2017)	15 %	280	290	Disminuye su trabajabilidad un 12 %

Nota. NR = No reportado

Absorción de agua agregando la fibra de pino al concreto

Saravanan y Buvaneshwari (2018) mencionan que la absorción de agua aumenta con la adición en el contenido de fibra de agujas de pino, siendo atribuido ese aumento a los vacíos inducidos en la matriz por las fibras. Por otra parte, según Huyen et al. (2020) manifiestan que, de acuerdo con los resultados de RC y la velocidad de pulso ultrasónico (UPV), las fibras vegetales son propensas a una alta absorción de agua, lo que cuestiona el uso de fibras de agujas de pino en materiales compuestos. Como hacen notar también Zhou et al. (2017), la filtración del recurso hídrico de los componentes de fibra de pino aumenta con un aumento en el contenido de fibra.

Velocidad de pulso ultrasónico (UPV)

De acuerdo con Mengual et al. (2017), el UPV de las muestras se reduce con la adición del contenido de fibra en una longitud particular de las fibras. Por otra parte, Smita et al. (2017) declaran que el UPV de la muestra de control es de 4,36 km/s, mientras que la velocidad máxima alcanzada es con las fibras más largas, y es de 4,2 km/s con una dosis del 1 %. Según Sandeep et al. (2019), el efecto de las fibras de pino en el UPV del concreto, encontrando una disminución en el UPV con un aumento en el contenido de fibra.

Densidad del concreto agregando fibras de pino

De otra parte, Krayushkina et al. (2019) obtuvieron que la densidad seca con 20 % de FP (rango de 2450-2225 kg/m³) es aproximadamente 7 % y 9,5 % más baja que el mismo porcentaje con las fibras de agujas de pino (rango de 2300 - 2475 kg/m³).

Según Mejias et al. (2017) el uso de la fibra de pino al concreto disminuye su densidad con un aumento en la cantidad de fibra de agujas de pino; sin embargo, se incrementa con un aumento en la longitud de la fibra a la misma dosis. Por otra parte, Kuqo y Mai (2021) manifiestan que agregando al concreto el 1 % de fibra de pino este tendrá una densidad promedio en comparación con los demás. Sin embargo, Bin Young y Kai (2019) describen que, agregando fibras de agujas de pino al concreto, con el 2 % de fibra, este tiene la densidad más baja.

El asentamiento en el concreto usando fibras de pino

Desde la posición de Shereen et al. (2022), cuanto mayor sea el porcentaje de fibra de pino en la mezcla, menor será el valor de asentamiento. Por otra parte, Ahmed et al. (2021) manifiestan que las tasas de reducción del asentamiento en comparación con la muestra de referencia fueron 28,6 %, 52,7 % y 84,6 % en proporciones de fibras de pino de 0,25 %, 0,5 % y 1 %, respectivamente.

Resistencia a la abrasión

Según Zsigmond et al. (2021), se observó un aumento de la resistencia a la abrasión del 6 % al 7 % al usar fibras de agujas de pino de 12 mm de longitud. Por otro lado, Tolga Cogurcu (2022) refiere el aumento de la resistencia a la abrasión del 13 % al 16 % al usar fibra de pinos de 12 mm de longitud para hormigón con RC en el rango de 18–38 MPa (W/C se cambió de 0,7 a 0,5).

Por su parte, Ahmed Shaikh (2017) muestra que la profundidad de agotamiento fue de 0,27 mm, 0,32 mm, 0,33 mm, 0,38 mm y 0,42 mm con 0 %, 5 %, 10 %, 15 % y 20 % de sustituciones con fibras de pino. Además, Meza y Siddique (2019) expresaron que la profundidad de la erosión fue de 0,23 mm a 0,42 mm, 0,31 mm, 0,26 mm, 0,25 mm y 0,23 mm con porcentajes de 0 % a 20 % de sustitución total gruesa. Esto implica que la obstrucción por desgaste aumenta con la expansión en la sustitución de total fino y total grueso por fibras de pino

Ensayo de resistencia a la tracción

Según Rabiaa et al. (2020) fueron utilizadas fibras de agujas de pino con longitudes de 12 y 22 mm y los resultados demostraron que las fibras de agujas de pino acompañadas de una mayor longitud conducían a una gran mejora de la resistencia a la tracción. Por otra parte, como menciona Zhensheng et al. (2018), los resultados mostraron que, en comparación con el concreto normal, el aumento máximo a los 3, 7 y 28 días para la resistencia a la tracción agregando fibras de pino al concreto fue del 20 %, 27 % y 18 %, respectivamente. En la Tabla 6 visualizamos los resultados de la resistencia a la tracción añadiendo fibras de agujas de pino al concreto para luego comparar con la resistencia patrón a la tracción del concreto.

Tabla 6

Resultados de la resistencia a la tracción del concreto añadiendo fibras de agujas de pino

% óptimo de fibra de vidrio	Contenido de cemento (kg/m ³)	Relación de agua cemento (a/c)	Tipo de cemento	Kg/m ³ de fibra en el concreto	FC ¹ (MPa)	FC ² (MPa)	Referencias
1	360	0,28	Cemento Portland CEM II	50	60	40,06	(Jiang et al. 2018)
1,5	300	0,45	cemento Portland	35	NR	38,6	(Yancong et al., 2020)
2	204	0,42	cemento Portland ordinario	26	25	28,9	(Linling et al., 2021)
2,5	600	0,61	cemento Portland CEM	30	NR	32,6	(Jiangang et al., 2021)

* Fc1 = resistencia patrón. Fc2 = resistencia agregando fibra de pino

Propiedades térmicas del hormigón con el uso de fibras de agujas de pino

Según Ahn et al. (2017), la utilización de fibras de agujas de pino puede funcionar en la obstrucción caliente; usando las fibras de agujas de pino adquiere mejoras en la obstrucción caliente del cemento. Como también mencionan Ryu et al. (2020), la temperatura se incrementará en general con el rasgo primario del cemento a la luz del hecho de que tal oposición provocará una mayor conductividad cálida y espesor, permitiendo posteriormente el movimiento del calor.

Así mismo, Álvarez et al. (2020) muestran que al observar una mayor resistencia al cizallamiento y límite de carga con respecto a la infiltración del suelo al añadir 1,5 %, 2,5 % y 3,5 % de fibras de agujas de pino expresa que la unión de la combinación se expandió y el punto de erosión interior disminuyó como para el suelo regular.

Durabilidad

Los resultados de una investigación sobre la robustez de la fibra de agujas de pino de Nematzadeh et al. (2020) evidenciaron que, a pesar de mostrar una gran oposición a la dispersión de partículas corrosivas y de cloruro, el pilar de construcción implantado en el hormigón con fibra de pino era extremadamente propenso a la erosión en contraste con la barra de refuerzo en el hormigón de control.

Los resultados demuestran que los totales obtenidos de las fibras de agujas de pino disminuyen la resistencia mecánica de los modelos, pero trabajan en la flexibilidad y la durabilidad de los materiales. En ese sentido, Saucedo et al. (2021) lograron obtener los siguientes resultados para la solidez de la sustancia integrando fibras de pino: la combinación con un 1,00 % de fibras de pino y una proporción de perspectiva de 0,45 funciona tanto en la agresión corrosiva como en la de cloruro.

Tenacidad

De acuerdo con Eisa et al. (2020), el impacto de la fusión de un 10 % de fibras de agujas de pino, donde se trabajó en las propiedades de maleabilidad y durabilidad de la sustancia, y mostrando que agregar fibras de pino mejora la tenacidad del concreto. Por otra parte, según Xiaoyan et al. (2020), al mezclar 1 % de fibras de agujas de pino hubo una mejora en la presentación de la apariencia sustancial que, al agregar fibra de pino como sustitución de los totales finos al 5 % y 10 %, muestra grandes propiedades mecánicas, ampliando la resistencia en 6 % y 5 %. Además, Junwei et al. (2022) mencionan que la adición de fibras de agujas de pino al hormigón mejora la tenacidad y la capacidad de amortiguación del hormigón en aproximadamente un 20,4 %.

Conclusión

Se concluye por tanto que el uso de fibras de pino de 30 mm y 40 mm de longitud mejoró la RC y la RF del hormigón. Sin embargo, el uso de fibra de 50 mm de longitud disminuyó la RC y mejoró la RF en comparación con la muestra de referencia. Es factible incorporar fibras de agujas de pino en el hormigón, dando como resultado una nueva clase de material integrado de hormigón revestido con fibra. Ya que, después de las diferentes revisiones literarias, agregar fibra de pino al concreto puede aumentar la RC como también puede aumentar su ductilidad y tenacidad entre otras propiedades mecánicas.

Referencias

- Abdelsamie, K., Agwa, I. S., Tayeh, B. A., & Hafez, R. D. (2021). Improving the brittle behaviour of high-strength concrete using keratin and glass fibres(Article). *Advances in Concrete Construction*, 12(6), 469-477. doi: 10.12989/acc.2021.12.6.469
- Ahmed Shaikh, F. U. (2017). Mechanical and durability properties of fly ash geopolymer concrete containing recycled coarse aggregates. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 5(2), 277-287. https://doi.org/10.1016/j.ijbsbe.2016.05.009
- Ahmed, H. U., Rabar, F. H., Hilal, N., Mohammed, A. A., & Sherwani, A. H. (2021). Use of recycled fibers in concrete composites: A systematic comprehensive review. *Composites Part B: Engineering*, 215, 108769. doi: https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2021.108769
- Ahn, Y., Gook Jang, J., & H.K, L. (2017). Mechanical properties of lightweight concrete made with coal ashes after exposure to elevated temperatures. *Cement and Concrete Composites*, 72, 27-38. doi: 10.1016/j.cemconcomp.2016.05.028
- Alvarez, N., Gutierrez, J., Duran, G., & Pacheco, L. (2020). Experimental study of the mechanical effect of a clayey soil by adding rubber powder for geotechnical applications. *Materials Science and Engineering*, 758, 012057. doi: 10.1088/1757-899X/758/1/012057
- Amin, M., Zeyad, A. M., Tayeh, B. A., & Saad Agwa, I. (2022). Effect of ferrosilicon and silica fume on mechanical, durability, and microstructure characteristics of ultra high-performance concrete. *Construction and Building Materials*, 320, 126233. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2021.126233
- Bin Young, W., & Kai Huang, J. (2019). The mechanical, hygral, and interfacial strength of continuous bamboo fiber reinforced epoxy composites. *Composites Part B: Engineering*, 166, 272-283. https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.12.013

- Coutts, R. S. (2017). A review of Australian research into natural fibre cement composites. *Cement and Concrete Composites*, 27(5), 518-526. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2004.09.003>
- Eisa, A. S., Elshazli, M. T., & Nawar, M. T. (2020). Experimental investigation on the effect of using crumb rubber and steel fibers on the structural behavior of reinforced concrete beams. *Construction and Building Materials*, 252, 119078. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119078>
- Huyen, B., Nassim, S., Mohamed, B., & Levacher, D. (2020). Determination and Review of Physical and Mechanical Properties of Raw and Treated Coconut Fibers for Their Recycling in Construction Materials. *Cementitious Composites Reinforced with Recycled and Natural Fibers*, 8(6), 3-10. <https://doi.org/10.3390/fib8060037>
- Junwei, Z., Zhe, Y., Shijie, L., & Hongjian, P. (2022). Investigation on mechanical property adjustment of multi-scale hybrid fiber-reinforced concrete. *Case Studies in Construction Materials*, 16, e01076. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01076>
- Krayushkina, K., Khmyryk, T., & Bieliatynskiy, A. (2019). Balsalt fiber concrete as a new construction. *Materials Science and Engineering*, 708, 012088. doi: 10.1088/1757-899X/708/1/012088
- Kuqo, A., & Mai, C. (2021). Mechanical properties of lightweight gypsum composites comprised of seagrass *Posidonia oceanica* and pine (*Pinus sylvestris*) wood fibers. *Construction and Building Materials*, 282, 122714. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122714>
- Libre, N. A., Shekarchi, M., Mahoutian, M., & Soroushian, P. (2017). Mechanical properties of hybrid fiber reinforced lightweight aggregate concrete made with natural pumice. *Construction and Building Materials*, 25(5), 2458-2464. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2010.11.058
- Mejia Ballesteros, J. E., Santos, V., Mármol, G., Frías, M., & Fiorelli, J. (2017). Potential of the hornification treatment on eucalyptus and pine fibers for fiber-cement applications. *scientific documents at your fingertips*, 24, 2275-2286. <https://doi.org/10.1007/s10570-017-1253-6>
- Meng, C., Li, W., Cai, L., Shi, X., & Jiang, C. (2020). Experimental research on durability of high-performance synthetic fibers reinforced concrete: Resistance to sulfate attack and freezing-thawing. *Construction and Building Materials*, 262, 120055. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.120055
- Mengual, A., Juárez, D., Balart, R., & Ferrándiz, S. (2017). Mechanical characterization of composite materials based on pine needle residues processed by thermocompression. *Procedia Manufacturing*, 13, 315-320. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.081>
- Merta, I., & schegg, E. (2015). Fracture energy of natural fibre reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 14, 991-997. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.11.060>
- Meza, A., & Siddique, S. (2019). Effect of aspect ratio and dosage on the flexural response of FRC with recycled fiber. *Construction and Building Materials*, 213, 286-291. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.04.081>
- Mustafa, C. (2022). Investigation of mechanical properties of red pine needle fiber reinforced self-compacting ultra high performance concrete. *Case Studies in Construction Materials*, 16. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e00970>
- Nematzadeh, M., Karimi, A., & Valukolaee, S. F. (2020). Compressive performance of steel fiber-reinforced rubberized concrete core detached from heated CFST. *Construction and Building Materials*, 239, 117832. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117832>
- Oraimi, S., & Seibi, A. (2017). Mechanical characterisation and impact behaviour of concrete reinforced with natural fibres. *Composite Structures*, 32, 165-171. [https://doi.org/10.1016/0263-8223\(95\)00043-7](https://doi.org/10.1016/0263-8223(95)00043-7)
- Paricaguán, B. M., Albano, C. L., Torres, R. V., Camacho, N., Infante, J., & Muñoz, J. L. (2017). Efecto de las fibras de coco sobre la resistencia a la flexión de mezclas de hormigón. *Materiales clave de ingeniería*, 88(4), 424-4. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4434557>
- Prakash, R., Thenmozhi, R., Raman, S., & Subramanian, C. (2020). Characterization of eco-friendly steel fiber-reinforced concrete containing waste coconut shell as coarse aggregates and fly ash as partial cement replacement. *Faculty of Engineering and Built Environment*, 21(1), 437-447. doi: 10.1002/suco.201800355
- Rabiaa, E., Mohamed, R., Sofi, W., & Tawfik, T. A. (2020). Developing Geopolymer Concrete Properties by Using Nanomaterials and Steel Fibers. *Advances in Materials Science and Engineering*, 5186091. <https://doi.org/10.1155/2020/5186091>
- Ryu, E., Kim, H., Chun, Y., & Yeo, H. (2020). Effect of heated areas on thermal response and structural behavior of reinforced concrete walls exposed to fire. *Engineering Structures*, 207, 110165. doi: 10.1016/j.engstruct.2020.110165
- Sandeep, G., Somit, G., Hitesh, S., Rakesh, & Kumar, P. (2019). Impact behavior of pine needle fiber/pistachio shell filler based epoxy composite. *Journal of Physics*, 1240(1), 012096. doi: 10.1088/1742-6596/1240/1/012096
- Sanjay, M. R., Arpitha, G. R., Naik, L. L., Gopalakrishna, K., & Yogesha, B. (2017). Applications of Natural Fibers and Its Composites: An Overview. *Scientific Research An Academic Publisher*, 7(3), 108-114. <http://dx.doi.org/10.4236/nr.2016.73011>
- Sanjeev, J., & Nitesh, S. (2020). Study on the effect of steel and glass fibers on fresh and hardened properties of vibrated concrete and self-compacting concrete. *Weight Materials and Structures*, 27, 1559 - 1568. doi: 10.1016/j.matpr.2020.03.208
- Sanjeev, J., & Sai Nitesh, K. J. (2019). Study on the effect of steel and glass fibers on fresh and hardened properties of vibrated concrete and self-compacting concrete. *Materials Today: Proceedings*, 27, 1559-1568. doi: 10.1016/j.matpr.2020.03.208
- Saravanan, N., & Buvaneshwari, M. (2018). Experimental Investigation on Behaviour of Natural Fibre Concrete (Sisal Fibre). *International Journal of Scientific Research & Engineering Trends*, 4(3), 2395-566. https://ijsret.com/wp-content/uploads/2018/05/IJSRET_V4_issue3_253.pdf

- Saucedo Rodríguez, J. A., Atoche Zamora, J. J., y Muñoz Pérez, S. P. (2021). Uso de los agregados PET en la elaboración del concreto: Revisión de la literatura. *Avances Investigación en Ingeniería*, 18(2), 1794-4953. <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.2.6942>
- Shereen, Q. A., Mohammad, S. N., Bahaa, H. A., & Hasan, Z. A. (2022). Mechanical and structural properties of waste rope fibers-based concrete: An experimental study. *Case Studies in Construction Materials*, 16, e00964. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e00964>
- Smita Mathur, P. S., & Pradeep Sharma, V. K. (2017). Potential of pine needles for PLA-based composites. *Society of Plastics Engineers*, 39(4), 1339-1349. <https://doi.org/10.1002/pc.24074>
- Tolga Cogurcu, M., & Uzun, M. (2021). The Taguchi Optimization of Mechanical and Durability Properties of Accelerator Added Concrete. *Research Article*, 1(1), 3-15. <https://doi.org/10.2339/politeknik.857525>
- Tolga Cogurcu, M. (2022). Investigación de las propiedades mecánicas del hormigón autocompactante de ultra altas prestaciones reforzado con fibra de agujas de pino rojo. *Casos de Estudio en Materiales de Construcción*, 16, e00970. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e00970>
- Waqas, A., Syed Hassan, F., Muhammad, U., Mehran, K., Ayaz, A., Fahid, A., . . . Muhammad, S. (2020). Effect of Coconut Fiber Length and Content on Properties of High Strength Concrete. *Concrete Technology and Mechanical Properties of Concretes*, 13(5), 1075. <https://doi.org/10.3390/ma13051075>
- Xiaoyan Han, A. C., Xiaoyu Wang, M. C., & Tengting Guo, Z. W. (2020). Mechanical and stress-strain behavior of basalt fiber reinforced rubberized recycled coarse aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 260, 119888. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119888>
- Zhensheng, G., Chunfeng, W., Mengye, X., & Jinxiang, C. (2018). Review of Basalt Fiber-Reinforced Concrete in China: Alkali Resistance of Fibers and Static Mechanical Properties of Composites. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2-11. <https://doi.org/10.1155/2018/9198656>
- Zhou, X., Saini, H., & Kastiukas, G. (2017). Engineering Properties of Treated Natural Hemp Fiber-Reinforced Concrete. *Division of Civil Engineering*, 33(3). <https://doi.org/10.3389/fbuil.2017.00033>
- Zsigmond, A. R., Száraz, A., & Urák, I. (2021). Macro and trace elements in the black pine needles as inorganic indicators of urban traffic emissions. *Environmental Pollution*, 291, 118228. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118228>

Fuentes de financiamiento

La investigación fue autofinanciada por los autores.

Conflictos de interés

La autora declara no tener conflictos de interés.

Correspondencia:

Flor Liliána del Rocío Llenque Galán
E-mail: florllenque20@gmail.com