



Compendio de investigaciones sobre concreto en estructuras de pavimento rígido reforzadas con fibras de polipropileno

Compendium of research on concrete in rigid pavement structures reinforced with polypropylene fibers

Jaime Blas Cano^{1*}

Francisco Alvarado Vergara¹

Josefina del Pilar Depaz Romero¹

Jhony Espinoza Chinchay¹

Margoth Gamarra Ortiz¹

Jorge Villarreal Ubaldo¹

¹Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo - Huaraz - Perú.

Recibido: 20 Abr, 2024 | Aceptado: 30 May, 2024 | 20 Jul.2024

Autor: de correspondencia*: wblasc@unasam.edu.pe

Como citar este artículo: Blas Cano, J., Alvarado Vergara, F. , Depaz Romero, J. del P., Espinoza Chinchay, J., Gamarra Ortiz, M. , & Villarreal Ubaldo, J.

Compendio de investigaciones sobre concreto en estructuras de pavimento rígido reforzadas con fibras de polipropileno. *Aporte Santiaguino*, 17(1). <https://doi.org/10.32911/as.2024.v17.n1.1150>

RESUMEN

El presente trabajo recopila diversas investigaciones sobre la influencia del concreto con aditivos de fibras de polipropileno (FPP). Se emplea una metodología exploratoria-descriptiva-cuantitativa, sin intervención directa en el proceso de investigación. La muestra incluye estudios relevantes desarrollados a nivel local, nacional e internacional, centrados en pavimentos rígidos. Los estudios locales destacan la mejora en la $f'c$ y MR con la adición de FPP, aunque dosis excesivas pueden reducir estas propiedades. La dosificación óptima de FPP suele estar en torno al 6% respecto al peso del cemento. A nivel nacional, se realizan investigaciones sobre la fisuración, resistencia y trabajabilidad del concreto, variando las dosificaciones de FPP y los métodos de evaluación. Internacionalmente, se examina la resistencia a tensiones, durabilidad y rendimiento del concreto, con énfasis en la resistencia a la abrasión y la temperatura. Los resultados muestran mejoras en resistencia y durabilidad con la adición de FPP, aunque la dosificación óptima y los efectos en las propiedades del concreto varían según las condiciones específicas de cada estudio. Se determinó que el concreto reforzado con FPP puede mejorar notablemente las propiedades y la durabilidad del pavimento rígido. Esto tiene resultado favorable en la resistencia $f'c$, flexión y fatiga del pavimento, así como en su capacidad para resistir el agrietamiento y la abrasión.

Palabras Clave: Concreto; fibras; polipropileno; estructuras especiales; diseño de mezcla; propiedades mecánicas; dosificación.

ABSTRACT

This paper compiles various research on the influence of concrete with polypropylene fiber additives (FPP). An exploratory-descriptive-quantitative methodology is employed, without direct intervention in the research process. The sample includes 26 relevant studies conducted at local, national, and international levels, focusing on rigid pavements. Local studies highlight improvements in $f'c$ and MR with the addition of FPP, although excessive doses may reduce these properties. The optimal dosage of FPP is typically around 6% relative to the weight of cement. Nationally, research is conducted on cracking, strength, and workability of concrete, varying FPP dosages and evaluation methods. Internationally, tensile strength, durability, and concrete performance are examined, with emphasis on resistance to abrasion and temperature. The results show improvements in strength and durability with the addition of FPP, although the optimal dosage and effects on concrete properties vary depending on the specific conditions of each study. It was determined that concrete reinforced with FPP can significantly enhance the properties and durability of rigid pavement. This has a favorable outcome on the $f'c$, flexural strength, and fatigue of the pavement, as well as its ability to resist cracking and abrasion.

Keywords: Concrete, fibers, polypropylene, special structures, mix design, mechanical properties, dosage.

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia de atribución de Creative Commons, que permite el uso sin restricciones, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que se cite debidamente la obra original.



INTRODUCCIÓN

A nivel local, nacional e internacional, existen autores que desarrollan investigaciones en concretos $f'c$ de 210 kg/cm², $f'c$ de 280 kg/cm², que añaden diversos porcentajes de FPP, aplicados para construcciones de pavimentos rígidos. En la mayoría los antecedentes se centran en controlar las microfisuras en edades tempranas del concreto y durante su vida útil de diseño. Una de las innovaciones más significativas en los pavimentos es la inclusión de fibras de polipropileno, que llamaremos FPP, que se usa como refuerzo secundario para mejorarlo en su estado endurecido, donde controla la fisuración, que han demostrado tener un impacto beneficioso en varias propiedades clave del concreto. En esta recopilación, exploraremos cómo el uso de las FPP mejora la $f'c$ y flexural, reduce la abrasión y contribuye a prevenir la formación de fisuras por fatiga, especialmente en pavimentos.

La $f'c$ es una característica fundamental por su capacidad para soportar cargas verticales del concreto. La adición de FPP al concreto ha demostrado incrementar significativamente esta propiedad. Las fibras de polipropileno actúan como refuerzo, distribuyendo las fuerzas de compresión de manera más uniforme a lo largo de la estructura del concreto. Esto resulta en una resistencia superior, lo que permite que el concreto soporte cargas más pesadas y prolongue su vida útil. Además de la $f'c$, la resistencia flexural es crucial en muchas aplicaciones de concreto, especialmente en pavimentos y losas. Las FPP agregadas al concreto mejoran su capacidad para resistir las tensiones de flexión, lo que reduce la probabilidad de fisuras y fracturas bajo cargas dinámicas. Esto es importante en pavimentos, donde el tráfico vehicular ejerce fuerzas repetidas sobre el concreto. La presencia de la FPP refuerza la matriz de concreto, evitando la propagación de grietas y prolongando la vida útil del pavimento.

Otro beneficio clave de utilizar FPP se relaciona con el incremento de su resistencia a la abrasión. Así las FPP que se encuentran en su interior actúan como pequeñas barreras que protegen la superficie contra el desgaste causado por la fricción y el rozamiento. Esto es relevante cuando el concreto se expone a abrasión, como pavimentos de carreteras y áreas de alto tráfico peatonal. Las FPP influyen en la resistencia y durabilidad del concreto, pero también disminuyen las fisuras por fatiga. Las cargas cíclicas que se generan por tráfico vehicular pueden causar fatiga en el concreto, resultando en fisuras que comprometen su integridad estructural. La inclusión de las FPP ayuda a dispersar estas tensiones, minimizando la formación de fisuras y manteniendo la integridad del pavimento a lo largo del tiempo.

El concreto es un material constructivo moderno, implementado en las diferentes regiones del país, tanto de forma artesanal y no todos los que están en el rubro constructivo conocen a cerca de las dosificaciones o de un diseño de mezclas, utilizando sus conocimientos basados en la experiencia para el proceso constructivo. Sin embargo, su aplicación en estructuras especiales requiere una comprensión detallada de sus características técnicas, constructivas y de diseño de mezcla.

MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación tiene carácter exploratorio-descriptivo-cuantitativo, donde se recopila información numérica y se realiza inferencias estadísticas en tablas y figuras. Asimismo, tiene orientación aplicada, no experimental, ya que mediante el proceso de investigación se conoce la realidad sin intervención directa. Las técnicas e instrumentación incluyen análisis de documentos y consulta de bases de datos académicos, generación de cuadros comparativos por año y características del concreto, generación de diferencias y similitudes entre autores, incluyendo tesis y artículos sobre el tema de investigación. La muestra estuvo compuesta por 26 estudios relevantes a nivel local, nacional e internacional, mientras que la población estuvo conformada por artículos científicos, tesis e informes relacionados con el concreto reforzado con FPP en pavimentos rígidos en su mayoría.

DESARROLLO Y DISCUSIÓN

Local

En el ámbito local, Chapoñan & Quispe (2017), Espinoza & Espinoza (2021) y Paredes & Sevillano (2021) han analizado el impacto de la incorporación de FPP en mezclas destinadas para pavimentos rígidos en lo referente a la $f'c$ y flexión, empleando así el concreto reforzado de $f'c$ de 280 kg/cm² y 210 kg/cm², en la que se adicionó diversos porcentajes de FPP, evaluándose sus propiedades de trabajabilidad. Los testigos obtenidos fueron evaluados a diferentes edades. Concluyeron que la incorporación de FPP incrementa la $f'c$ y la resistencia flexural, dando cuenta que las óptimas adiciones de FPP se encuentran en el rango del 6% de FPP respecto del peso del cemento, consiguiendo aumentos en la $f'c$ del 21.64%, además de reducir el espesor del pavimento hasta en 5.34 cm para concretos con $f'c$ de 28MPa. Cabe señalar que la adición excesiva de FPP actúa en detrimento de la $f'c$ y resistencia flexural debido a que se ensayaron adiciones de hasta 20.25kg/m³ en las que consiguieron disminuciones de 77.53% de la resistencia flexural del concreto evaluado a los 28 días de edad.

Nacional

En los estudios nacionales revisados, uno de los autores fue Chirinos y Cuervo (2021), el otro fue Huamán (2022). En sus investigaciones, analizaron las fisuras con fibras sintéticas en pavimentos y resistencia con un material de polipropileno virgen y reciclado, con la metodología del ASTM C 1579 y el ACI, teniendo una dosificación TMN=1", slump 3"-4", cantidad de agua de 197 lt/m³; $F'c=210$ kg/cm² tuvo A/C=0.56, con un volumen 0.044 m³ de concreto, resultando fisuras en el concreto patrón de 0.50mm, fibra reciclada de espesor 0.35mm y fibra virgen 0.25 mm, y para la otra investigación con fibra 0.5% ,1% , 1.5%. Concluyen que las fibras contribuyen a reducir la dimensión de las fisuras causadas por efecto de retracción del concreto, también mejorando en ambos casos la resistencia.

García & Córdova (2021) y Huacho (2021) investigaron los efectos del FPP en el concreto con diferentes proporciones. El primer autor usó porcentajes de 0.30%, 0.40% y 0.5% de FPP en concretos de 210 y 245 kg/cm², añadiendo 600gr, 1200 gr, donde concluye que las fibras aumentan la resistencia a compresión reduciendo la permeabilidad. Por otro lado, Huacho demostró que adicionar el FPP disminuye las fisuras en un 96.13%. Donde iban aumentando las fibras, iban disminuyendo las fisuras, comprobando que la FPP tiene mejor durabilidad y resistencia para aplicaciones de pavimento.

Los estudios de Armas (2016), Baldeón (2017), Quispe (2019) y Vargas & Yataco (2020) se centraron en el uso de fibras de refuerzo para hacer mejoras en las características del concreto. Armas examinó la $f'c$ y a la flexión a 28 días del concreto con un A/c de 0,75, 0,68 y 0,57 y descubrió una pequeña mejora de la resistencia. Baldeón determinó el porcentaje de integración de fibras (0%, 50%, 75% y 100%) en un concreto de 280 kg/cm³, donde mejora las resistencias óptimas requeridas. Quispe analizó con dosificaciones 0 gr, 600, 800 y 1000 g/m³, donde concluye que la dosificación óptima con la que se consigue la máxima resistencia es de 600 gr/ m³ y para el caso de la resistencia flexural, la dosificación es de 800gr/m³, aumentando la $f'c$ hasta un 9.39% y la resistencia flexural de 29.80%. Vargas & Yataco evaluaron el uso de macrofibras de propileno en una rotura de 28 días. Concluyen que los mayores resultados que se pueden conseguir en la resistencia flexural utilizando las macro FPP llega al 18%, utilizando una dosificación de 5kg/m³ y para las microFPP se consigue un incremento de hasta 12% utilizando una dosificación de 0.45kg/m³.

Espinoza y Arquíñigo (2022), Merma (2022), Rivero y Cabrera (2023) se centran en mejorar la resistencia y el rendimiento del pavimento rígido. Espinoza y Arquíñigo sugieren añadir acero y macrofibras FPP para aumentar la resistencia a la flexión, obteniendo un 8.71% más de resistencia en comparación que concreto convencional. Merma investigó con diferentes adiciones de fibra de 300 g, 400g y 500 g, resultando que se mejoró la resistencia disminuyendo la trabajabilidad, pero para 300 g ocasionó un resultado negativo para esfuerzos a compresión con valor de 32.74 Mpa porque se produjo un asentamiento medio más bajo. Como el adicionamiento de fibra es poco,

el costo también bajó. Por último, Rivero y Cabrera probaron diseños de mezcla incorporando fibras metálicas y sintéticas donde se utilizaron tres modelos de mezcla para los periodos de 7 y 14 días. Concluyeron que las fibras metálicas superan las resistencias requeridas, mientras que las sintéticas no fueron suficientes para alcanzar la rotura especificada.

Internacional

A nivel internacional, el estudio de Santos (2007) desarrolla un concreto más resistente a las tensiones en distintas clases de pavimentos portuarios usando FPP, disminuyendo la probabilidad de que el material pueda fragmentarse en estado endurecido. Sustituyó así la malla electrosoldada usada actualmente. Tras las pruebas, el investigador logró evidenciar que estas fibras ayudan a controlar las fisuras y aumentan la ductilidad del concreto cuando se somete a cargas externas, siendo menos costosas y susceptibles a la corrosión.

Mohsen (2020), Babar (2020) y Hatami (2020) examinaron el comportamiento mecánico y de las fracturas en pavimentos de concreto reforzado con FPP. Para tal fin, utilizaron ensayos de flexión y la energía de fractura de discos brasileños con muescas rectas centrales (CSNBD) de concreto sin FPP, además de las ventajas medioambientales y financieras derivadas del uso de concreto mezclado con fibra de acero y FPP. Concluyeron que las FPP mejoran el comportamiento a fisuración cuando se usa en la capa superior de los especímenes 2LCP y que no afectan a la resistencia flexural. Además, la utilización de FPP en la mezcla de concretos disminuyó los efectos negativos de la construcción de pavimentos sobre el medio ambiente y la economía y que el contenido óptimo de FPP para obtener la mayor tenacidad a la fractura fue de 0.35% en volumen con respecto al concreto.

Brescia (2021), Hassan (2021) y Packialakshmi (2021) investigaron la mejora del rendimiento de los pavimentos de concreto con la adición de las FPP para evaluar y cuantificar el efecto sinérgico de las FPP con humo de sílice y la nanosílice sobre las propiedades necesarias del concreto requeridas para mejorar el rendimiento de los pavimentos en la durabilidad y en las características de resistencia al fuego del concreto con FPP. Obtuvieron mejoras de 200% en la resistividad superficial, 212 % de la resistencia a la abrasión y 158 % de menor expansión por sulfato. Se incrementó la resistencia a la temperatura y una disminución en la incidencia de agrietamiento en el concreto con FPP respecto a un concreto sin FPP, observándose que el concreto con FPP aumentó la resistencia a la temperatura hasta en un 6.3% para 7 días y 5.3% para 28 días, en comparación con el concreto convencional. Se concluyó que se puede obtener pavimentos más duraderos, productivos y sostenibles, que además podrían utilizarse en estructuras resistentes al fuego.

Ozturk & Ozyurt (2022), Hussain (2022), Sun (2023) y Mishra (2024) investigaron el efecto del uso de macrofibras de FPP en diferentes cantidades sobre el rendimiento general de pavimentos de concreto y verificaron su impacto en las características de los agregados utilizados para elaborar concreto reciclado y evaluaron el comportamiento de la FPP en concreto reforzado frente a variaciones de temperatura. Se hallaron que la resistencia, rigidez, absorción y porosidad fueron similares; sin embargo, las mezclas de concreto reforzadas con FPP presentaban un mejor comportamiento tras la fisuración y una mayor resistencia a la abrasión. Para esto se realizaron pruebas de compresión, flexión y resistencia residual en especímenes de concreto reforzados con diferentes fibras y una serie de pruebas experimentales, incluyendo compactación modificada, $f'c$ no confinada, módulo resiliente y deformación permanente. Inclusive se utilizó como herramienta metodológica el modelo de Discretización de Partículas en Rejilla con Fibras (LDPM-F). Por lo tanto, encontraron una reducción del 2.2% al 19.8% y del 15.9% al 27.5% en los valores de espesor requeridos para mezclas reforzadas con FPP. Además, obtuvieron cambios variables en los costos de los materiales del pavimento (aumentó del 9.1% hasta 139.8%) y las emisiones de CO₂ (del 12.8% hasta el 16.4%). Respecto a la incorporación de un 0.1 % de FPP al agregado de concreto reciclado dio el valor más alto de módulo resiliente a 117.34 MPa y transformó el comportamiento del agregado de 'Colapso Incremental' a 'Fluencia Plástica'.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

ESTUDIOS LOCALES

Tabla 01

Comparación de estudios locales sobre concreto con FPP

Autor (año)	Tipo de estructura y adición	f'c promedio (kg/cm ²)			MR promedio (kg/cm ²)	FPP (%)	a/c	Slump (")
		07 días	14 días	28 días	28 días			
Chapoñan y Quispe (2017)	Pavimento rígido con FPP	212.07	-	324.32	45.54	0.15%	0.46	-
Paredes & Sevillano (2021)	Pavimento rígido con FPP	-	-	233.46	44.94	-	0.54	3.5
Espinoza & Espinoza (2021)	Pavimento rígido ultrafino con FPP	-	-	340.6	48.94	6%	-	-

Nota. MR denota el módulo de rotura o resistencia a flexión y FPP denota la fibra de polipropileno.

ESTUDIOS NACIONALES

Tabla 02

Comparación de estudios nacionales sobre concreto con FPP

Autor (año)	Tipo de estructura y adición	f'c promedio (kg/cm ²)			MR promedio (kg/cm ²)	FPP (%)	a/c	Slump (")
		07 días	14 días	28 días	28 días			
Armas (2016)	Pavimentos con FPP Chema Fibra Ultrafina	-	-	235.22	48.37	-	0.68	3.5
Baldeón (2017)	Pavimento rígido con FPP (SikaFiber)	221.5	-	288	43.5	-	-	-
Quispe (2019)	Concreto con adiciones de FPP para pavimento rígido	-	-	384.1	-	-	-	2
Vargas & Yataco (2020)	Pavimento Rígido con adición de FPP	-	-	-	-	18	-	-
García & Córdova (2021)	Pavimento de tránsito ligero con FPP	-	-	223.66	-	-	0.33	-
Huacho (2021)	Concreto con adiciones de FPP para pavimento de concreto	-	-	-	-	7	0.53	0.466
Chirinos y Cuervo (2021)	Pavimento rígido con FPP reciclado y vírgenes	-	-	287.095	57.42	-	-	-
Merma (2022)	Pavimento rígido con adición de 300 gr de FPP	-	-	333.85	44.66	0.3	0.56	3.58
Espinoza & Arquíñigo (2022)	Pavimento rígido con adición de macrofibra de polipropileno	-	-	-	44.94	6	0.52	4
Huamán (2022)	Pavimentos de concreto con FPP	-	-	232.96	58.78	-	0.54	4
Rivero y Cabrera (2023)	Pavimento rígido urbano con adición de FPP	-	-	333.85	45.92	1	0.45	-

Nota. MR denota el módulo de rotura o resistencia a flexión y FPP denota la fibra de polipropileno.

ESTUDIOS INTERNACIONALES

Tabla 03

Comparación de estudios internacionales sobre concreto con FPP

Autor (año)	Tipo de estructura y adición	f'c promedio (kg/cm ²)			MR promedio (kg/cm ²)	FPP (%)	a/c	Slump (")
		07 días	14 días	28 días	28 días			
Santos Cortés (2007)	Concreto en pavimento portuario	-	-	241	33.73	0.25	0.58	3
Hussain (2020)	Concreto de resistencia normal	-	-	346.5	51	1	-	2
Brescia Norambuena (2020)	Pavimentos subterráneos para minería	-	-	-	-	-	0.325	1
Babar (2020)	Concreto reforzado con FPP	-	-	-	-	0.75	-	-
Mohsen (2020)	Concreto compactado con rodillo	-	-	383	50	0.4	-	-
Hatami (2020)	Concreto reforzado con FPP	-	-	362.4	55.9	0.275	0.4	-
Packialakshmi (2021)	Concreto reforzado con FPP	-	-	428.6	-	1	0.465	-
Hassan (2021)	Concreto de cemento reforzado con FPP	-	-	-	-	0.35	-	-
Ozturk (2022)	Concreto convencional	-	-	-	-	0.5	-	-
Mohammad (2023)	Concreto reciclado de agregados	-	-	-	-	-	-	-
Mishra (2024)	Concreto reforzado con FPP (MSFRC)	-	-	555	-	-	0.46	-

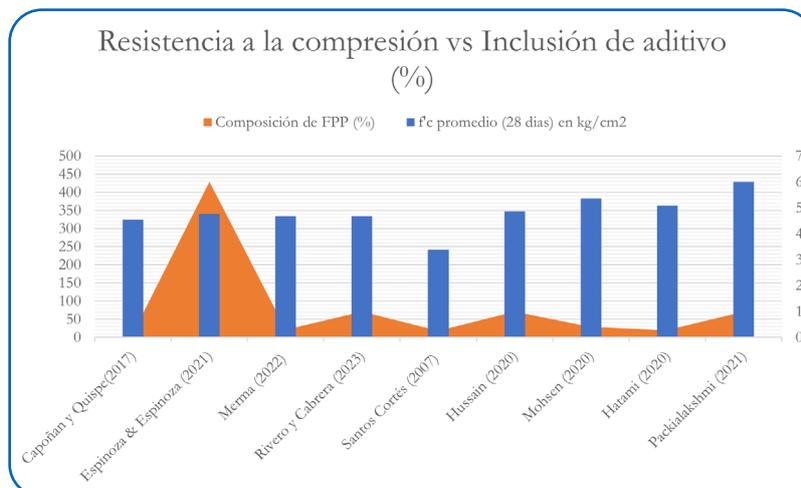
Nota. MR denota el módulo de rotura o resistencia a flexión y FPP denota la fibra de polipropileno.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

En los estudios locales, se observa una variación en la f'c del concreto con (FPP). Por ejemplo, en el estudio de Chapoñan y Quispe (2017), se obtuvo que la f'c a los 28 días fue de 324.32 kg/cm², mientras que en el estudio de Armas (2016), la f'c a los 28 días fue de 235.22 kg/cm². Se desprende que la adición de FPP puede influir en la f'c del concreto, pero la variabilidad puede depender de varios factores como la dosificación de las fibras y las condiciones de curado.

Figura 01

Inclusión de aditivo en % y su influencia en la resistencia a la compresión



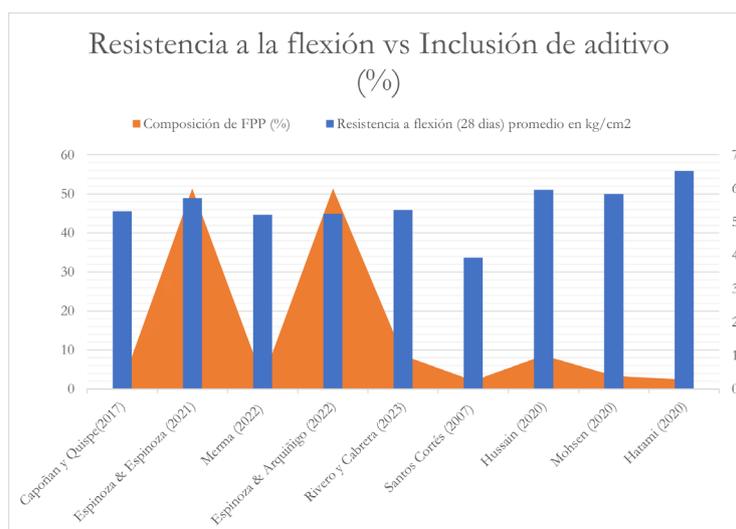
Nota. FPP denota la fibra de polipropileno y f'c denota la resistencia a la compresión del concreto.

RESISTENCIA FLEXURAL

En cuanto a la resistencia flexural, los estudios locales muestran resultados similares. Por ejemplo, el estudio de Chapoñan y Quispe (2017) reportó una resistencia flexural de 45.54 kg/cm², mientras que el estudio de Armas (2016) es de 48.37 kg/cm². Esto indica que las FPP mejoran la resistencia flexural del concreto, siendo beneficioso para aplicaciones donde se requiere una mayor capacidad de carga y resistencia a la fatiga.

Figura 02

Inclusión de aditivo en % y su influencia en la resistencia flexural



Nota. FPP denota la fibra de polipropileno.

COMPOSICIÓN

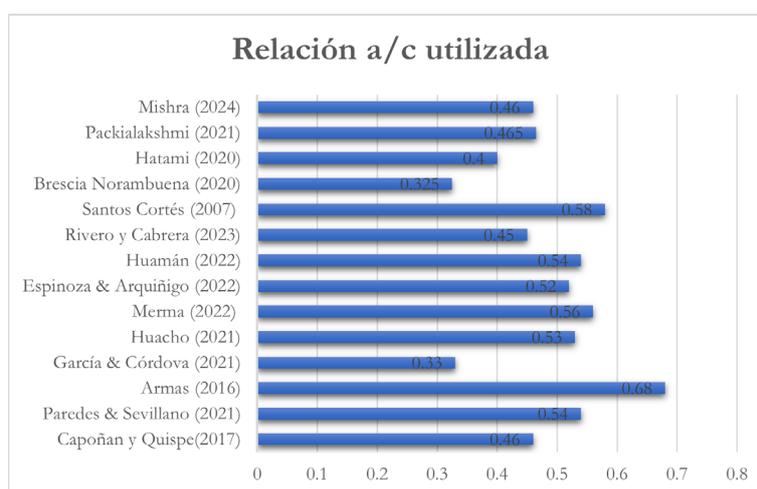
La composición de FPP varía entre los estudios locales. Por ejemplo, en el estudio de Chapoñan y Quispe (2017), se utilizó un 0.15% de FPP, mientras que en el estudio de Armas (2016) se utilizó un porcentaje mayor del 6%. La dosificación de FPP puede afectar a la trabajabilidad y resistencia del concreto, entre otras cualidades. Respetando la dosificación del fabricante, se obtienen resultados más óptimos, incrementándose los costos.

RELACIÓN AGUA Y CEMENTO

La relación a/c, puede variar entre los estudios locales. Por ejemplo, en el estudio de Chapoñan y Quispe (2017), la relación a/c utilizada fue de 0.46, mientras que en el estudio de Armas (2016) fue de 0.68. Una relación a/c más baja resulta en un concreto más compacto y duradero, mientras que una relación más alta puede tener un impacto negativo en la resistencia y durabilidad del concreto.

Figura 03

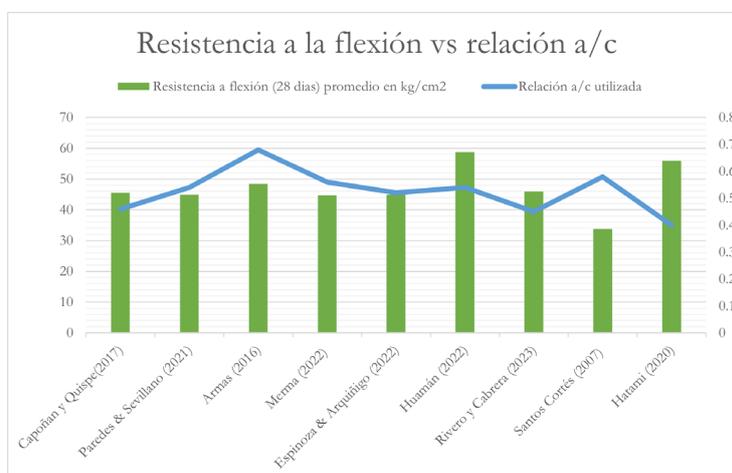
Relación agua/cemento



Nota. a/c denota la relación agua y cemento que existe.

Figura 04

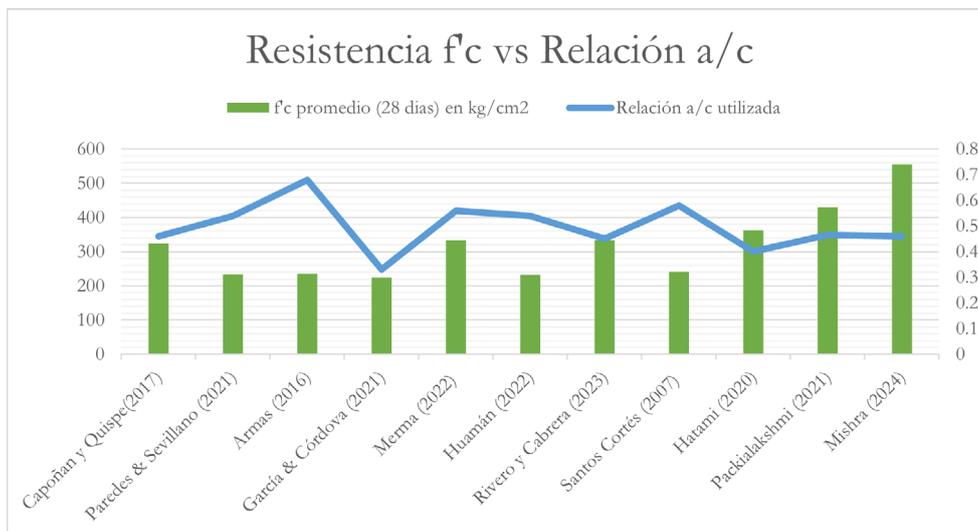
f'c vs a/c



Nota. a/c denota la relación agua/cemento que existe.

Figura 05

Resistencia flexural vs a/c



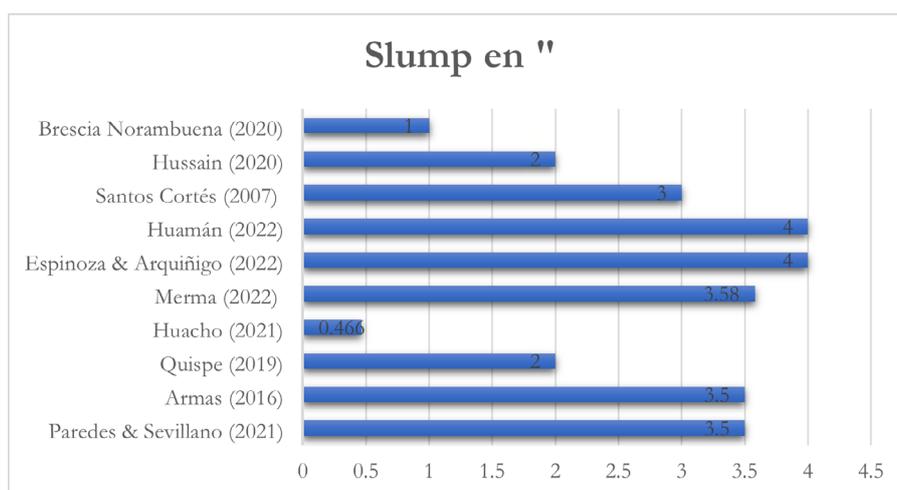
Nota. $f'c$ denota la resistencia a la compresión del concreto y a/c denota la relación agua y cemento que existe.

TRABAJABILIDAD

La trabajabilidad del concreto con FPP puede variar dependiendo de la dosificación de las fibras y otros aditivos utilizados. En general, se observa que a mayor cantidad de FPP, la trabajabilidad tiende a disminuir. Por ejemplo, en el estudio de Capoñan y Quispe (2017), no se menciona el slump o asentamiento, lo que puede indicar una trabajabilidad reducida debido a la adición de FPP. Sin embargo, en el estudio de Armas (2016) se utilizó un slump de 3.5 pulgadas, lo que sugiere una trabajabilidad aceptable para el colado y la consolidación del concreto.

Figura 06

Slump utilizado en investigaciones según autor



Nota. " denota la medición en pulgadas.

CONCLUSIONES

En la mayoría de las investigaciones evaluadas, las fibras de polipropileno (FPP) aumentan considerablemente la resistencia $f'c$ y a la flexión del concreto a nivel local, nacional e internacional.

Se observa un aumento promedio de hasta el 21.64% en la $f'c$ con la adición de FPP, mientras que para la resistencia flexural se registran incrementos notables.

Se identifica que dosificaciones excesivas de FPP pueden disminuir la resistencia del concreto, sugiriendo un rango óptimo de adición alrededor del 6% respecto al peso del cemento.

La presencia de FPP contribuye a reducir la probabilidad de que el concreto se agriete, lo que mejora su durabilidad y resistencia con el pasar de los años.

Se debe recalcar la importancia de utilizar las FPP en el desarrollo de proyectos viales y pavimentos rígidos para mejorar la resistencia a la abrasión y reducir la permeabilidad.

El impacto del FPP en las cualidades del concreto puede ser claramente modulado por variables que incluyen la dosificación de agua, la proporción de cemento y agua, y la inclusión de fibras o aditivos adicionales.

Los estudios internacionales exploran la combinación de FPP con otros aditivos como humo de sílice y nanosílice, mostrando mejoras adicionales en resistencia y durabilidad.

Internacionalmente, las investigaciones actuales sobre el uso de aditivos de FPP en el concreto apuntan a evaluar la resistencia a la abrasión y fatiga en pavimentos y a las altas temperaturas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmadi, M. (2020). *Fractura y comportamiento mecánico de pavimentos de hormigón de dos capas fabricados con hormigón compactado con rodillos y fibras de polipropileno*. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121144>
- Ali, B. (2020). *Beneficios ambientales y económicos de la aplicación de compuestos de cemento reforzado con fibra de acero, vidrio y polipropileno en pavimentos de hormigón plano articulados*. <https://doi.org/10.1016/j.coco.2020.100437>
- Arce Cahuana Juvenal Santiago, M. O. (2020). *Pavimentos rígidos reforzados con fibra de acero vs pavimentos rígidos sin fibra de acero*. Lima: Universidad César Vallejo. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/71529/Arce_CJS-Moises_OA-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Baldeón Alayo, J. F. (2017). *Mejoramiento funcional en las propiedades del concreto hidráulico incorporando fibras de polipropileno al pavimento rígido, Comas- El correo*. Universidad César Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/25346>
- Brescia, L. (2021). *Mejora del rendimiento de los pavimentos de hormigón para minería subterránea mediante el efecto sinérgico del humo de sílice, la nanosílice y las fibras de polipropileno*. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122895>
- Chapoñan Cueva José Miguel, Q. C. (2017). *“Análisis del comportamiento en las propiedades del concreto hidráulico para el diseño de pavimentos rígidos adicionando fibras de polipropileno en el A.A.H.H Villamaría-Nuevo Chimbote”*. Nuevo Chimbote: Universidad Nacional del Santa. <https://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14278/2724/42998.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Chirinos Revilla Kenvil Jesús, C. P. (2021). *Propuesta para usar fibras sintéticas de polipropileno reciclado en el control de fisuras generadas por la retracción en pavimentos de concreto en Lima*. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/654823/ChirinosR_K.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Espinoza Mendoza, H. Y., & Espinoza Mendoza, O. C. (2021). *Propuesta de un pavimento rígido ultradelgado con fibras de polipropileno y fibras metálicas en Quillo - Ancash*. Tesis, Chimbote. Retrieved 07 de marzo de 2024, from <https://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14278/3726/52251.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Espinoza Rosales, J. P., & Arquiniño Jaimes, A. J. (2022). *Evaluación de la resistencia flexural para un pavimento rígido $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$, con la adición de fibra de acero y macro fibra de polipropileno frente al diseño tradicional en la ciudad de Huánuco - 2021*. Tesis, Huánuco. Retrieved 07 de marzo de 2024, from <https://repositorio.unheval.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13080/7952/TIC00313E88.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- García Ochoa, C. D., & Córdova Vásquez, K. J. (2021). *Evaluación del concreto permeable con incorporación de fibra de polipropileno para pavimento de tránsito ligero - Ucayali*. Universidad Nacional de Ucayali. <http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/5152>
- Hatami, M. (2020). *Efecto de las fibras de polipropileno sobre la tenacidad a la fractura y la propagación de grietas en modo I, modo II y modo mixto en hormigón reforzado con fibras*. <https://doi.org/10.1016/j.tafmec.2020.102723>
- Huacho Ochoa, A. A. (2021). *Control de fisuras por retracción en estado plástico en pavimentos de concreto mediante FPP, Cotabambas, Apurímac*. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/10787/1/IV_FIN_105_TE_Huacho_Ochoa_2021.pdf
- Hugo, A. A. (2016). *Efectos de la adición de fibra de polipropileno en las propiedades plásticas y mecánicas del concreto hidráulico*. Universidad Señor de Sipán. <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/2712>
- Iqrar, H. (2020). *Comparación de propiedades mecánicas del hormigón y espesor de diseño del pavimento con diferentes tipos de fibras de refuerzo (acero, vidrio y polipropileno)*. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00429>
- Rivera Huanca, p. G. (2023). *Comportamiento mecánico del concreto permeable con adición de fibras de carbono para pavimentos urbanos de alto tránsito en la localidad de Atocongo Unacem*. Tesis, Huancayo. https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/10064/T010_46875469_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Merma Hilario, R. D. (2022). *Influencia de fibra de polipropileno en las propiedades del concreto para pavimento rígido en av. La Florida - Cusco 2021*. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/13052/7/IV_FIN_105_TE_Merma_Hilario_2022.pdf
- Mishra, S. (2024). *Estudio numérico del comportamiento del hormigón armado con fibras de polipropileno sometido a variaciones moderadas de temperatura utilizando la teoría LDPM*. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.135424>
- Ozturk, O. (2022). *Sostenibilidad y rentabilidad de las mezclas de pavimentos de hormigón armado con fibras de acero y polipropileno*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132582>
- Packialakshmi. (2021). *Evaluación del desempeño de las características resistentes al fuego en concreto con fibras de polipropileno*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.04.445>
- Paredes Flores, A. S., & Sevillano Mendoza, J. E. (2021). *Análisis comparativo del comportamiento del concreto adicionando fibras naturales y de polipropileno en la urb. Nicolás garatea - nuevo chimbote-ancash-2021*. Repositorio Institucional - UCV. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/75680/Paredes_FAS-Sevillano_MJE-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Quispe Quichua, W. (2019). *Incidencia de la fibra de polipropileno en la durabilidad del concreto simple, aplicado en pavimentos rígidos livianos*. https://repositorio.unsch.edu.pe/bitstream/UNSCH/3906/1/TESIS%20CIV530_Qui.pdf
- Renan, H. D. (2022). “*Evaluación de la Variabilidad de las propiedades del concreto $f'c=210$ kg/cm² al incorporar fibra de polipropileno- Lima 2022*”. Lima: Universidad Cesar Vallejo. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/107962/Huam%0c3%0a1n_DJR-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Santos Cortés, L. (2007). “*Contribución de fibras PP provenientes de plásticos reciclados en el agrietamiento y resistencia del concreto en pavimentos portuarios de Veracruz*”. Tesis, Veracruz. <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/1402/SantosCortezf.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Saberian, M. (2023). *Propiedades mecánicas del agregado de hormigón reciclado reforzado con fibra de polipropileno para aplicaciones de base y subbase de carreteras sostenibles*. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.133352>
- Suiffi, H. (2021). *Estudio de la durabilidad del hormigón mezclado con fibras de polipropileno*. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2021.10.028>
- Vargas Ortiz, G. B., & Yataco Barreda, A. G. (2020). *Efecto de las fibras de acero y polipropileno en la resistencia flexural del concreto para pavimentos rígidos*. https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14138/3678/CIV-T030_72636801_T%20%20%20YATACO%20BARREDA%20ALVARO%20GUSTAVO.pdf?sequence=1&isAllowed=y