

## CONCRETO REFORZADO CON MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO PARA CONTROL DE FISURACIÓN PLÁSTICA Y OPTIMIZACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS

**Alicia Milagros Mera - Yoplac**

Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM), Chachapoyas 01001, Perú

**Leiber Julón - Perez**

Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM), Chachapoyas 01001, Perú

**Beimer Chuquibala - Checan**

Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM), Chachapoyas 01001, Perú

Centro Experimental Yanayacu, Dirección de Servicios Estratégicos Agrarios (DSEA)

Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA)

**Leif Armando Portal - Cahuana**

Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM), Chachapoyas 01001, Perú

**Angie Fiorela Rios - Cumapa**

Universidad Nacional de San Martín, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura, Tarapoto, 01001, Perú

**Rut Ester Villacrez - Medina**

Universidad Nacional de San Martín, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura, Tarapoto, 01001, Perú

# RESUMEN

Este capítulo de libro presenta un estudio integral sobre la influencia de la adición de microfibras de polipropileno en el comportamiento del concreto  $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$  en el departamento de San Martín, Perú. Se analizaron propiedades de los agregados, incluyendo humedad, granulometría, peso unitario y absorción de agua, así como características del concreto fresco y endurecido, con el objetivo de evaluar su desempeño frente a la fisuración plástica y la resistencia mecánica. Los resultados muestran que la incorporación de microfibras reduce de manera significativa el número de fisuras y el ancho máximo de las mismas, alcanzando reducciones del 91.3 % y 92.6 %, respectivamente, respecto al concreto patrón. Además, la resistencia a compresión se incrementó de  $210.6 \text{ kg/cm}^2$  en el concreto patrón a  $374.4 \text{ kg/cm}^2$  en el concreto con microfibras, evidenciando un aumento aproximado del 77.8 %, lo que demuestra que las microfibras contribuyen tanto a la durabilidad como a la integridad estructural del concreto. Se incluye análisis gráficos y comparativos de humedad de agregados, distribución granulométrica fina y gruesa, peso unitario, absorción, resultados del ensayo ASTM C1579 y evolución de la resistencia a compresión, presentando los efectos de las microfibras de manera clara y didáctica. Se concluye que el uso de microfibras de polipropileno constituye una estrategia eficaz para controlar la fisuración plástica, mejorar la resistencia en aproximadamente un 77.8 % y optimizar el desempeño global del concreto, ofreciendo soluciones prácticas para aplicaciones en condiciones ambientales que favorecen la retracción y degradación temprana de estructuras.

**Palabras Clave:** Durabilidad; Fisuración Plástica; Microfibras de Polipropileno; Propiedades Mecánicas; Resistencia a Compresión.

## INTRODUCCIÓN

El concreto convencional ha sido, durante décadas, uno de los materiales más empleados en la construcción de infraestructura civil. Tradicionalmente, su producción se basa en la combinación de cemento Portland, agua, agregado fino y agregado grueso, componentes que permiten obtener una matriz endurecida capaz de soportar cargas estructurales en edificaciones, pavimentos, puentes, canales, losas y otros elementos constructivos (Jatoi *et al.*, 2019).

Ahmad *et al.* (2022) señalan que, el concreto convencional posee buena capacidad de compresión, pero una resistencia considerablemente menor frente a esfuerzos de tracción. En estructuras realizadas únicamente con concreto tradicional o convencional, sin la inclusión de refuerzos internos o materiales compuestos, la aparición de grietas tempranas puede ser una de las causas más significativas de la degradación del material.

Aunque estas grietas no siempre afectan de inmediato la resistencia del elemento, pueden crear caminos para la entrada de agua, sales, cloruros, sulfatos, dióxido de carbono y otros agentes nocivos. Esto conlleva a un aumento en la permeabilidad del concreto, un aceleramiento del desgaste de la matriz de cemento y, en el caso de existir acero de refuerzo, puede propiciar su corrosión (Otieno *et al.*, 2010).

Además, durante la fase plástica del concreto, previa al fraguado final, la rápida evaporación del agua superficial induce un fenómeno de contracción hidráulica. La cual es considerada como una deformación interna que provoca tensiones de tracción, originando fisuras por contracción plástica con profundidades considerables que oscilan regularmente entre 20 y 40 milímetros (Toirac, 2004).

En ese sentido, la contracción plástica representa un desafío para los elementos estructurales con grandes superficies, por ejemplo, losas de piso de gran luz o tableros de puentes expuestos a condiciones ambientales que tienden a favorecer altas tasas de evaporación (Kwak & Ha, 2006). Por lo tanto, debe ser considerado un fenómeno técnico importante, y no sólo como un defecto superficial, dado que ocurre durante las primeras horas luego de su colocación, cuando el material todavía no ha alcanzado la rigidez y resistencia necesarias

para resistir las tensiones internas provocadas por la pérdida de humedad (Ghourchian, 2018).

Frente a estas limitaciones, la ingeniería de materiales viene fomentando la creación de compuestos con base en cemento, los cuales están constituidos por una matriz y una o más fases dispersas que actúan como refuerzo, relleno funcional o modificador del desempeño en los compuestos cementicios (Fode *et al.*, 2023).

Esta perspectiva permite comprender que el concreto no es solo una mezcla tradicional de cemento, agua y agregados, sino un sistema multifásico cuyo comportamiento depende de la interacción entre sus componentes, la microestructura generada durante la hidratación, las condiciones de curado y exposición (Gao *et al.*, 2024).

La incorporación de fibras metálicas, sintéticas, minerales o naturales permite modificar la respuesta del material ante esfuerzos de tracción, impacto, abrasión, contracción y propagación de grietas. A diferencia del concreto convencional, aquí las fisuras pueden desarrollarse y extenderse con relativa facilidad, la presencia de fibras distribuidas en la matriz permite generar un mecanismo de puenteo, transferencia de tensiones y control de la apertura de fisuras (Balagopal *et al.*, 2022). Es importante mencionar, que en cuanto a fibras de origen natural, estas presentan desventajas técnicas críticas, destacando una elevada absorción de agua y una marcada vulnerabilidad ante el ambiente altamente alcalino de la matriz del cemento, lo que degrada los filamentos a largo plazo si no se aplican tratamientos químicos previos (Hamada *et al.*, 2023)

Por ello, en este capítulo del libro se menciona una de las fibras sintéticas más utilizadas en matrices cementicias; estas fibras pueden encontrarse en variedad de longitudes, anchos y formas, lo que significa que su efectividad se basa tanto en sus características físicas como en la cantidad utilizada y en su correcta distribución dentro de la mezcla de cemento (Reza & Ozbakkaloglu, 2019).

Específicamente, las microfibras de polipropileno que se añaden al concreto desempeñan un papel importante en las etapas iniciales del material, debido a su baja densidad, resistencia química, estabilidad frente al ambiente alcalino del cemento, bajo costo relativo y facilidad de incorporación en la mezcla (Latifi *et al.*, 2021).

Al distribuirse en la matriz de cemento, estas microfibras crean una red tridimensional que ayuda a mantener la cohesión del concreto fresco, disminuye la exudación, limita la aparición de grietas y ayuda a controlar su apertura en el momento en que comienzan a formarse. Investigaciones sobre concreto reforzado con fibras de polipropileno muestran que estas fibras pueden aumentar la tenacidad, la durabilidad y la baja permeabilidad del concreto, aunque su uso en cantidades altas puede afectar la fluidez de la mezcla; por lo tanto, elegir la dosificación correcta es esencial para lograr un equilibrio entre el control de fisuras y la trabajabilidad (Ahmad *et al.*, 2022).

En ese sentido, las microfibras no son partícipes directas de los procesos químicos de hidratación, pero alteran las propiedades del material al funcionar como refuerzos distribuidos. En la fase plástica, cuando el concreto todavía tiene una resistencia baja, las fibras contribuyen a frenar la aparición de grietas al conectar microfisuras y redistribuir las tensiones internas (Banthia & Gupta, 2006).

La importancia de incluir microfibras de polipropileno en el hormigón se centra en que esta innovación ayuda a abordar un problema común en construcciones expuestas a circunstancias ambientales severas, tales como temperaturas elevadas, radiación solar, viento o humedad relativa baja. Estos aspectos aumentan la evaporación del agua en la superficie y propician la aparición temprana de grietas en el hormigón recién vertido (Ghourchian *et al.*, 2017).

Además, la adición de microfibras no supe las prácticas constructivas adecuadas, tales como el curado en el tiempo correcto, la compactación eficaz y la protección contra el viento, la radiación o la rápida evaporación del agua. No obstante, actúa como una estrategia adicional para potenciar el rendimiento del concreto frente a las fisuras tempranas (Kayondo *et al.*, 2019).

Por otro lado, al reducir la cantidad, longitud y ancho de las fisuras, las microfibras de polipropileno pueden contribuir a mejorar la durabilidad, reducir la permeabilidad, limitar el ingreso de agentes agresivos, disminuir costos de mantenimiento y prolongar la vida útil de las estructuras de concreto (Bagherzadeh *et al.*, 2012).

Por ello, resulta importante generar información experimental con materiales disponibles en cada región, ya que los resultados obtenidos bajo otras condiciones de laboratorio, con otros agregados o con diferentes diseños de

mezcla no siempre pueden extrapolarse directamente a todos los contextos constructivos (Collins *et al.*, 2008). Así mismo, en zonas tropicales o de alta evaporación, el análisis del comportamiento del concreto con microfibras permite identificar alternativas de mejora para reducir fisuras tempranas sin modificar de manera compleja los procesos tradicionales de producción, colocación y curado del concreto.

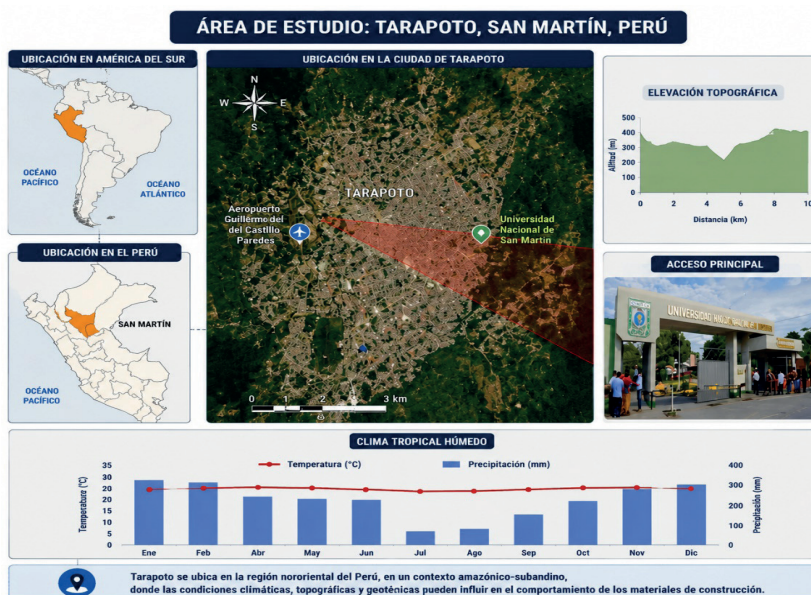
El propósito central de este capítulo de libro es demostrar, de manera práctica y accesible, cómo el uso de microfibras de polipropileno funciona como una solución tecnológica para evitar el agrietamiento del concreto. Este documento busca acercar la ciencia de los materiales tanto a profesionales de la construcción como a lectores no especializados que deseen comprender el beneficio de estos refuerzos poliméricos. Para lograr este objetivo, el capítulo expone de forma clara los análisis de laboratorio realizados en un contexto real, tomando como caso de estudio las condiciones climáticas de la ciudad de Tarapoto en el Perú. Tarapoto, al presentar temperaturas elevadas y una evaporación superficial acelerada a lo largo del año, constituye el modelo geográfico ideal para evaluar la efectividad de las microfibras en la prevención de fallas tempranas en el concreto fresco. De este modo, el análisis desarrollado no solo proporciona un marco de referencia técnico para el diseño de mezclas, sino que actúa como una guía de divulgación práctica que fundamenta el uso de tecnologías accesibles para garantizar estructuras más seguras y duraderas en la Amazonía y otras regiones de clima cálido.

## **Área de estudio y laboratorio**

De acuerdo con la Figura 1, el área de estudio se localiza en la ciudad de Tarapoto, distrito, provincia y departamento de San Martín, en la región nororiental del Perú. De acuerdo con la información base del estudio, Tarapoto se ubica aproximadamente en las coordenadas 6°28'58.08" S y 76°22'26.4" O, correspondiente a la zona UTM 18L, con una altitud media de 356 msnm. Esta ubicación resulta relevante para el análisis del concreto, debido a que la ciudad se encuentra en un contexto amazónico-subandino, donde las condiciones climáticas, topográficas y geotécnicas pueden influir en el comportamiento de los materiales de construcción.

Tarapoto exhibe un clima tropical, con temperaturas altas la mayor parte del año, humedad considerable y lluvias en todos los meses. De acuerdo con la información meteorológica, la localidad se categoriza como clima tropical húmedo, con lluvias notables incluso en el mes más seco. Además, se registra una temperatura media anual de aproximadamente 24,2 °C y una precipitación total anual que ronda los 2059 mm (ClimateData, 2026).

**Figura 1.** Ubicación y clima del área de estudio.



En cuanto al contexto sísmico, la ciudad de Tarapoto se encuentra en una zona que debe ser considerada dentro del diseño estructural de edificaciones. La Norma Técnica Peruana E.030 de Diseño Sismorresistente establece que el territorio nacional se divide en cuatro zonas sísmicas según la sismicidad observada, las características de los movimientos sísmicos, la atenuación con la distancia epicentral y la información neotectónica. En el listado de la norma, Tarapoto aparece dentro de la provincia de San Martín, con asignación correspondiente a zona sísmica 2 para determinados distritos de esta provincia, incluyendo Tarapoto, Morales, La Banda de Shilcayo, Juan Guerra, Sauce y otros (Ministerio de Vivienda, 2026).

Si bien, la actividad sísmica no está directamente vinculada a la retracción plástica, ya que esta última se produce principalmente por la evaporación y la contracción temprana del hormigón recién colocado (Slowik *et al.*, 2014). A pesar de esto, tiene una relación indirecta con la relevancia de utilizar hormigones que sean duraderos y que presenten menos fisuras iniciales. En áreas donde existe una alta demanda sísmica, es fundamental que las estructuras empleen materiales que conserven una buena integridad, baja permeabilidad y un rendimiento adecuado durante su ciclo de vida (Poursaee & Ross, 2022).

En cuanto, a la fase experimental se desarrolló en el Laboratorio de Tecnología de Concreto de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Este laboratorio constituye un ambiente académico y técnico destinado al desarrollo de prácticas, ensayos e investigaciones vinculadas con materiales de construcción, tecnología del concreto y control de calidad de mezclas cementicias. Su uso resulta pertinente para investigaciones aplicadas en ingeniería civil, debido a que permite caracterizar agregados, diseñar mezclas de concreto, elaborar especímenes y evaluar propiedades del concreto en estado fresco y endurecido.

Del mismo modo, en el laboratorio se realizó la recepción, registro y acondicionamiento de los agregados locales empleados en la mezcla de concreto. Estos materiales fueron sometidos a ensayos físicos para determinar propiedades como contenido de humedad, análisis granulométrico, peso específico, absorción y peso unitario, siguiendo procedimientos establecidos en normas técnicas aplicables.

En la Figura 2, se observa que el laboratorio cuenta con equipos y herramientas necesarios para la preparación del concreto, entre ellos mezcladora mecánica, balanzas, recipientes de medición, bandejas, tamices, horno de secado, moldes cilíndricos, cono de Abrams, varilla compactadora, regla metálica, pozas de curado y prensa hidráulica para ensayos de compresión.

Para la evaluación de la fisuración por retracción plástica, el laboratorio permitió acondicionar paneles de concreto conforme al método ASTM C1579, exponiéndolos a condiciones controladas de evaporación superficial.

**Figura 2.** Vista general del laboratorio de concreto, con bancos, taburetes y equipo de ensayo (A). Prensa hidráulica para ensayos de compresión de concreto (B). Juego de tamices y soporte para caracterización de agregados (C). Balanza digital y molde cilíndrico para pesar agregados (D). Moldes, recipientes y herramientas para preparación y mezcla de concreto (E).



## MATERIALES

Para el desarrollo del estudio se utilizaron materiales convencionales empleados en la elaboración de concreto, a los que se les añadieron microfibras de polipropileno como componente de refuerzo.

El concreto patrón se formuló a partir de cemento Portland Tipo I, agua, agregado fino y agregado grueso. Estos insumos constituyen la mezcla tradicional de concreto utilizada en la construcción de obras civiles, tales como losas, pavimentos, aceras, columnas, vigas y otros elementos estructurales. Con esta mezcla convencional se creó un concreto con una resistencia de diseño  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , un valor común en estructuras de uso general y proyectos urbanos.

El cemento tipo Portland I, es un material que actúa como el elemento fundamental aglutinante en la mezcla. Cuando se combina con agua, el cemento comienza un proceso de hidratación que produce una pasta sólida capaz de unir los agregados y proporcionar fuerza al concreto.

El agua utilizada tenía la función de activar la hidratación del cemento y facilitar la mezcla de los materiales. La cantidad de agua fue meticulosamente controlada, puesto que un exceso puede resultar en un concreto más líquido, pero también más poroso y propenso a fisuras; mientras que una cantidad insuficiente puede dificultar su colocación y compactación.

El agregado fino fue de arena local, principalmente de fuentes de los ríos Cumbaza y Huallaga. Este agregado tiene la función de llenar los espacios entre las partículas más grandes, aumentar la cohesión de la mezcla y mejorar la trabajabilidad del concreto fresco. El agregado grueso consistió en piedra triturada que proviene del río Huallaga; este material aporta volumen, estabilidad y resistencia al concreto.

**Figura 3.** Materiales convencionales empleados en la elaboración de concreto.



Se utilizaron microfibras de polipropileno SikaFiber®-1225 PPM como refuerzo, disponibles y distribuidas por empresas autorizadas en la ciudad de Tarapoto. Estas microfibras son filamentos sintéticos muy delgados que se añaden

directamente al hormigón durante el proceso de mezcla. Su objetivo principal no es sustituir el acero de refuerzo, sino facilitar el control de pequeñas fisuras superficiales que pueden surgir mientras el hormigón sigue fresco.

Las microfibras empleadas cuentan con una base química de polipropileno, con una longitud cercana a 12 mm, un diámetro de entre 0.020 y 0.025 mm, una densidad de  $0.91 \text{ g/cm}^3$ , una resistencia a la tracción superior a 450 MPa y no absorben agua, según las especificaciones técnicas indicadas.

**Figura 4.** Reconocimiento de microfibras de polipropileno SikaFiber®-1225 PPM.



En el estudio se consideró una mezcla patrón sin microfibras y mezclas modificadas con diferentes cantidades de microfibra. Sin embargo, para los propósitos de este capítulo, se debe resaltar la proporción de  $0.9 \text{ kg/m}^3$ , ya que proporciona un balance adecuado entre control de fisuras y facilidad en la colocación del concreto.

## NORMATIVA UTILIZADA

La caracterización de los agregados se realizó bajo las siguientes normas:

Contenido de humedad (Advancing Standards Transforming Markets (ASTM C566), 2019): Este procedimiento permitió medir la cantidad de agua presente en los agregados antes de ser mezclados, lo cual es crucial para ajustar la cantidad realmente necesaria de agua y asegurar que la proporción entre agua y cemento sea la adecuada.

Análisis granulométrico (ASTM C136, 2019): Se evaluó cómo se distribuyeron los tamaños de las partículas en los agregados. Una granulometría adecuada garantiza una buena compactación, facilidad de manejo y la resistencia final del concreto.

Peso específico y absorción (ASTM C128, 2022): Se determinó la densidad y la capacidad de los agregados para absorber agua, aspectos clave para determinar la correcta cantidad de agua y cemento, previniendo excesos o faltantes que puedan afectar la resistencia y longevidad.

Peso unitario (ASTM C29, 2023): Permite conocer la relación entre el peso y el volumen del agregado, tanto en su estado suelto como compactado. Esto tiene un impacto directo en la facilidad de trabajo y la densidad del concreto, asegurando que la mezcla sea homogénea.

Para el caso del cemento Portland de tipo I, se utilizó la normativa (ASTM C150, 2024), la cual garantizó que el cemento posea características químicas y físicas reguladas para lograr la resistencia estructural requerida, así como la compatibilidad con los agregados y el agua, además de su durabilidad ante diferentes condiciones ambientales.

Por otro lado, para la calidad del agua utilizada en mezclas cementicias, se utilizó (ASTM C1602, 2022). Su objetivo fue garantizar que el agua esté libre de impurezas, sales, aceites, ácidos, álcalis u otros elementos que puedan alterar la hidratación del cemento, impidiendo que se forme correctamente la matriz sólida.

Para las microfibras de polipropileno se empleó:

ASTM C1116 / EN 14889-2: Ayudó a definir los requisitos para la producción, distribución y análisis de concretos que contienen fibras, garantizando que la

mezcla sea uniforme y que las fibras actúen como un refuerzo funcional dentro de la matriz de cemento (ASTM C1116, 2023).

ASTM C1579: Se utilizó para determinar las técnicas de prueba para medir la fisuración por retracción plástica en concretos que han sido reforzados, incluyendo el tamaño de los paneles, la exposición a diferentes condiciones ambientales y la evaluación de fisuras. Su uso permitió medir de manera precisa la efectividad de las microfibras (ASTM C1579, 2021).

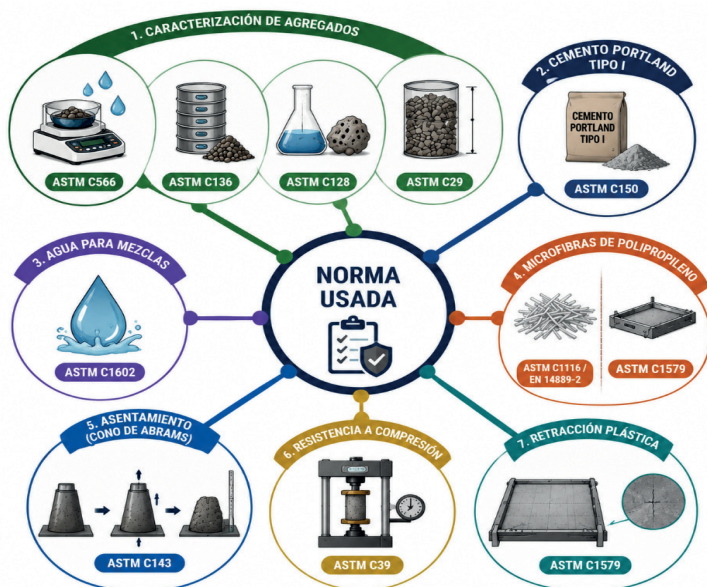
Así mismo, para la prueba de asentamiento usando el cono de Abrams, se usó la norma ASTM C143. Este método ayudó a evaluar la facilidad con la que se puede colocar, compactar y nivelar el concreto sin que se produzca segregación o pérdida de uniformidad. La evaluación se realizó una vez que se retiró el cono, midiendo cuánto se asentó y comparando que el valor se ubicó en el rango de 3 a 4 pulgadas, asegurando que la mezcla mantuviera una buena manejabilidad sin afectar el proceso de colocación en el sitio (ASTM C143, 2020).

La resistencia a compresión del concreto fue analizada conforme a la norma ASTM C39, la cual establece los métodos para la elaboración, tratamiento y almacenamiento de las muestras, asegurando lecturas consistentes y precisas en la prensa universal. Igualmente, aseguro que los resultados representen la verdadera resistencia del concreto, sin importar el laboratorio, facilitando la comparación con otros análisis y garantizando que la mezcla satisfaga las especificaciones estructurales (ASTM C39, 2023).

Además, el ensayo de retracción plástica mide la tendencia del concreto fresco a fisurarse debido a la pérdida rápida de humedad superficial durante las primeras horas tras el vaciado. Para ello, se siguió también la norma ASTM C1579, que define: dimensiones del molde y componentes de restricción interna para emular tensiones auténticas, condiciones ambientales controladas de temperatura, humedad y circulación de aire, reproduciendo situaciones críticas que favorecen la aparición de fisuras, y, métodos para medir fisuras usando una regla milimétrica, fisurómetro y documentación fotográfica.

Finalmente, el objetivo de la norma es asegurar la reproducibilidad y validez del ensayo, permitiendo que los resultados representen el comportamiento verdadero del concreto fresco en obra (ASTM C1579, 2021).

**Figura 5.** Normativa regulada empleada.



## MÉTODOS

La investigación se organizó en distintas fases. Para empezar, se examinaron los materiales, se calibraron los equipos. Después se analizaron los agregados, se formuló la mezcla de concreto, se elaboró el concreto patrón y se añadieron las microfibras de polipropileno. Para concluir, se llevaron a cabo pruebas para medir la trabajabilidad, la resistencia a compresión y la fisuración por contracción plástica.

Este procedimiento permitió comprender el concreto en tres etapas: en su estado fresco, al comenzar a endurecer y después de haber adquirido resistencia. De esta forma, la técnica no solo facilitó la obtención de datos, sino que también esclareció cómo cada fase impacta en el rendimiento final del material.

## Preparación y revisión de los materiales

Previo a la elaboración del hormigón, se llevó a cabo una evaluación de los insumos para confirmar que estuviesen en estado óptimo. Los componentes

fueron analizados visualmente, asegurándose de que no tuvieran contaminantes evidentes, exceso de humedad en la superficie o combinación inadecuada de los materiales.

## **Caracterización de los agregados**

Primero, se midió el contenido de humedad. Para ello, se pesó una muestra de agregado en su estado húmedo y luego se secó en un horno. Al contrastar el peso inicial con el final, se determinó la cantidad de agua presente en el material. Esta información es importante porque los agregados húmedos pueden sumarle agua a la mezcla y alterar la proporción de agua y cemento.

A continuación, se llevó a cabo el ensayo de granulometría, que implica hacer pasar el agregado fino y grueso por una serie de mallas o tamices de distintos calibres. Este método permitió determinar si los agregados contienen partículas finas, medias y gruesas en las proporciones adecuadas. Una adecuada distribución de los tamaños contribuye a que el concreto sea más denso, más fácil de aplicar y contenga menos espacios vacíos internos.

Asimismo, se midieron el peso específico y la capacidad de absorción de los agregados. Estos reflejaron cuánto pesa el material en comparación con su volumen y la cantidad de agua que puede retener. Si un agregado absorbe demasiada agua, podría eliminar parte del agua necesaria para hidratar el cemento; en cambio, si tiene poca absorción, la mezcla puede resultar más equilibrada. Por esta razón, estos datos fueron esenciales para ajustar el diseño de mezcla de manera correcta.

Finalmente, se estableció el peso por unidad de los agregados, tanto en su forma suelta como cuando están compactados. Esta prueba proporciona información sobre la cantidad de material que ocupa un volumen específico.

**Figura 6.** Caracterización de agregado fino y grueso.



## Diseño de la mezcla de concreto

Con la información recogida de los agregados, se elaboró una mezcla de cemento con una resistencia esperada de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ . El diseño pretendió que la mezcla tenga una adecuada consistencia, la resistencia necesaria y facilidad en su aplicación. Este diseño siguió el método ACI 211.1.

Para ello, se prepararon muestras en forma de cilindros de 15 cm de diámetro y 30 cm de alto. El concreto fue vertido en los moldes por capas, cada una de las cuales fue compactada utilizando una varilla para minimizar los espacios vacíos. Este método contribuyó a lograr una densidad uniforme en las muestras.

Una vez moldeadas, las muestras se dejaron reposar hasta que alcanzaron la rigidez necesaria para ser retiradas de los moldes. Después, se sumergieron en agua a una temperatura aproximada de  $23^\circ\text{C}$ , donde permanecieron hasta que se realizaron las pruebas. El curado en agua permitió que el cemento siga hidratándose, y a su vez aumente su resistencia con el tiempo.

La mezcla de referencia se creó sin la inclusión de microfibras (testigo). Esta formulación sirvió como un patrón de comparación, ya que permitió analizar el comportamiento del concreto convencional ante la retracción plástica. A partir de este punto de partida se desarrollaron mezclas que incorporaron microfibras de polipropileno, conservando el mismo tipo de cemento, agua y agregados.

El concreto se elaboró utilizando una mezcladora mecánica de laboratorio. En primer lugar, se añadieron los áridos y el cemento, mezclando estos ingredientes en estado seco para obtener una distribución equilibrada. Posteriormente, se añadió el agua gradualmente, evitando verterla de una sola vez.

Para el concreto con microfibras de polipropileno, las fibras se incorporaron de manera progresiva. Esta fase resultó crucial ya que, si las fibras se agregan de forma abrupta o en excesivas cantidades, pueden confluír y generar grumos. Al añadirlas despacio, se promueve su dispersión en la mezcla, logrando que actúen como una red interna repartida por todo el concreto. El propósito de la mezcla fue lograr una combinación uniforme, sin separación visible y con la consistencia adecuada para su aplicación.

**Figura 7.** Preparación de concreto en mezcladora mecánica (A), compactación del concreto mediante varillado por capas (B), probetas de concreto patrón identificadas por edades de ensayo (C) y probeta de concreto con microfibras de polipropileno (D).



**A:** Vertido del concreto en los moldes cilíndricos.  
**B:** Compactación del concreto mediante varillado en capas.  
**C:** Probetas de concreto patrón identificadas por edades de ensayo (7, 14 y 28 días).  
**D:** Ensayo a compresión de probeta cilíndrica de concreto patrón y detalle de la fractura.

## Ensayo de asentamiento

Una vez que se completó la mezcla, se llevó a cabo la prueba de asentamiento utilizando el cono de Abrams. Para realizar la prueba, el concreto recién mezclado se introdujo en el cono en capas, se compactó con una varilla y, posteriormente, se levantó el molde de manera vertical. La diferencia en altura entre el comienzo del cono y la altura del concreto asentado proporcionó el valor del asentamiento.

La realización de esta prueba resultó valiosa ya que las microfibras pueden alterar la textura de la mezcla. En términos generales, al añadir fibras, el concreto podría volverse más cohesivo y presentar un menor asentamiento. No obstante, esto no se considera necesariamente algo desfavorable, siempre y cuando la mezcla mantenga una trabajabilidad adecuada para su colocación y compactación.

**Figura 8.** Colocación de la mezcla de concreto fresco en el molde troncocónico del ensayo de revenimiento (A), compactación de la mezcla mediante varillado dentro del molde (B), retiro vertical del molde troncocónico para permitir el asentamiento libre de la mezcla de concreto (C), medición del revenimiento del concreto después de retirar el molde, determinando la consistencia y trabajabilidad de la mezcla (D).



## Ensayo de resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión se midió utilizando una prensa universal de tipo hidráulico. En el procedimiento, la muestra cilíndrica se ubicó entre dos placas metálicas, y se ejerció una carga en dirección vertical hasta que el concreto colapse. El máximo de carga que soporta se usa para determinar la resistencia del material.

Este método fue útil para comprobar si la mezcla alcanzó la resistencia deseada, también permitió analizar el impacto de las microfibras en el comportamiento mecánico del concreto endurecido, ya sea de manera positiva o negativa. Las muestras fueron curadas y evaluadas a los 7, 14 y 28 días, lo que permitió analizar cómo evolucionaba la resistencia con el paso del tiempo.

**Figura 9.** Elaboración, curado y ensayo de resistencia a compresión de probetas.



## Ensayo de retracción plástica

Se fabricaron paneles de concreto siguiendo el procedimiento establecido por la norma ASTM C1579. Dichos paneles permitieron simular condiciones que facilitan la creación de fisuras, especialmente cuando la superficie del concreto

se seca rápidamente. Los paneles midieron 560 x 355 x 100 mm y se mantuvieron en un entorno controlado de evaporación en la superficie.

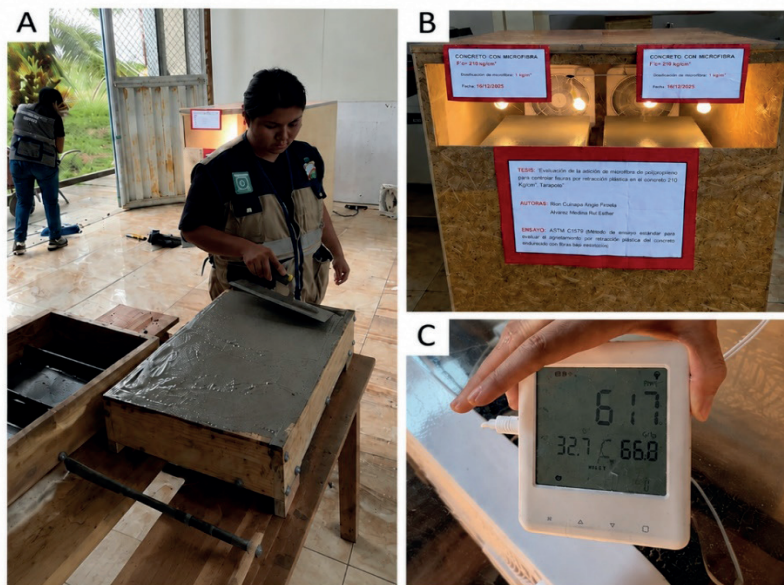
Además, para investigar cómo el hormigón fresco forma fisuras en sus primeras horas, se emplearon cámaras climáticas construidas en laboratorio que imitaron condiciones ambientales extremas parecidas a las que se encuentran en la construcción, especialmente en climas cálidos y húmedos como el de Tarapoto. Estas cámaras permitieron ajustar tres factores principales: temperatura, humedad relativa y circulación de aire, para que la evaporación del agua en la superficie suceda de manera controlada y reproducible.

La función de estas cámaras climáticas fue crear un ambiente donde la superficie del hormigón se seque rápidamente, lo que genera tensiones capilares que, si no se supervisan, pueden ocasionar fisuras tempranas. De este modo, se pueden comparar hormigones sin refuerzos con aquellos que contienen microfibras de polipropileno, evaluando la eficacia de las fibras para disminuir el número, la longitud y el ancho de las grietas.

En la práctica, los paneles de hormigón fueron ubicados en el cámara justo tras el vaciado y el acabado de la superficie. Durante el periodo de exposición, se monitorearon continuamente las fisuras mediante observación directa y fotografías, registrando la evolución de cada grieta. Esto generó datos cuantitativos, como el total de fisuras, el ancho máximo y la longitud total, de manera consistente para todas las mezclas analizadas, asegurando que las condiciones ambientales fuesen idénticas en cada prueba.

Esta cámara, funcionó como un simulador de obra, es decir; reprodujo el calor, el viento y la sequedad que impactan al hormigón en el campo, pero de forma controlada, lo que permite evaluar con precisión cómo las microfibras ayudan a mitigar las fisuras desde que el hormigón está fresco hasta que comienza a endurecer. Posteriormente, los paneles con microfibras hicieron posible la comparación para evaluar si la introducción de fibras disminuía la frecuencia, longitud o grosor de las fisuras.

**Figura 10.** Colocación y alisado del concreto fresco en el molde (A), exposición de los paneles de concreto en la cámara climática controlada para simular condiciones ambientales (B), y monitoreo de temperatura y humedad mediante termohigrómetro para garantizar la consistencia del ensayo (C).



## Evaluación y cálculo de fisuras

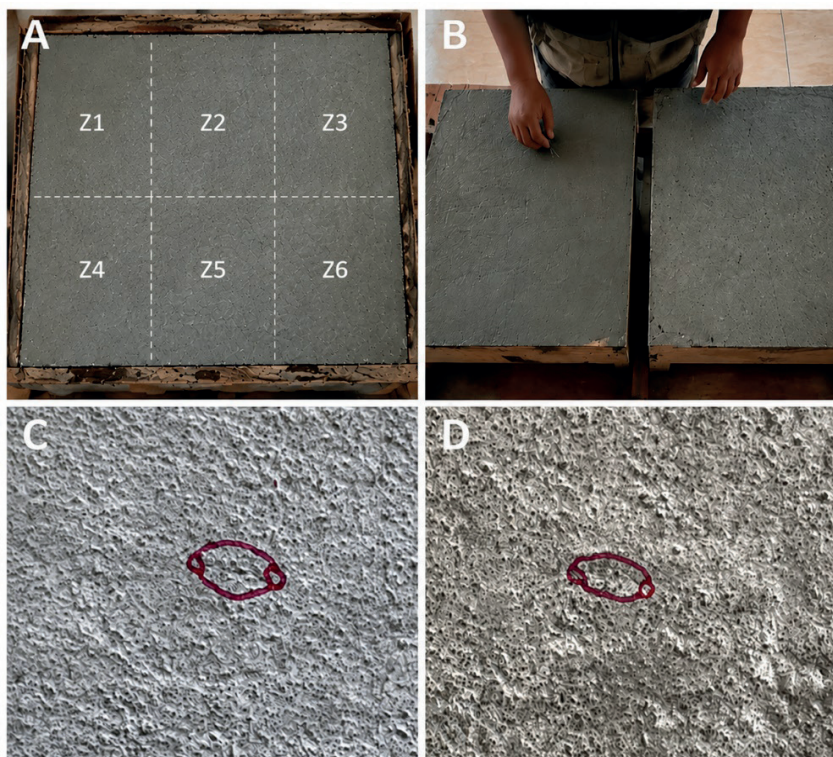
Tras el periodo de exposición, se examinaron y midieron las fisuras que se formaron en los paneles. Se contabilizó la cantidad de fisuras, su longitud y su ancho. Esta información facilitó la comparación entre el comportamiento del concreto sin microfibras y el concreto que contenía microfibras.

Para que sea más comprensible, se puede decir que si el concreto de referencia mostró un mayor número de fisuras, que eran más largas o anchas, esto indica una mayor susceptibilidad a la retracción plástica. Por otro lado, si el concreto con microfibras presentó menos fisuras o más delgadas, esto sugiere que las fibras contribuyeron a mitigar este problema.

Para medir la efectividad de las microfibras de polipropileno en la reducción de fisuras, se utilizó el Índice de Reducción de Fisuras (CRR, en inglés). Este parámetro hizo posible la comparación entre la cantidad y el tamaño de las fisuras en el concreto reforzado con microfibras y el concreto de referencia sin microfibras, ofreciendo un porcentaje de reducción de fisuras. Se utilizó la

fórmula:  $CRR (\%) = (A_p - A_f) / A_p \times 100$ , donde:  $A_p$ = ancho promedio de fisuras del concreto patrón,  $A_f$ = ancho promedio de fisuras de la mezcla con fibras.

**Figura 11.** Panel de concreto dividido en zonas para análisis de fisuras (A). Medición de ancho de fisuras en concreto patrón y con microfibras (B). Resultados cuantitativos de fisuras con microfibras (C). Detalle de microfisuras y reducción de ancho con fibras (D).



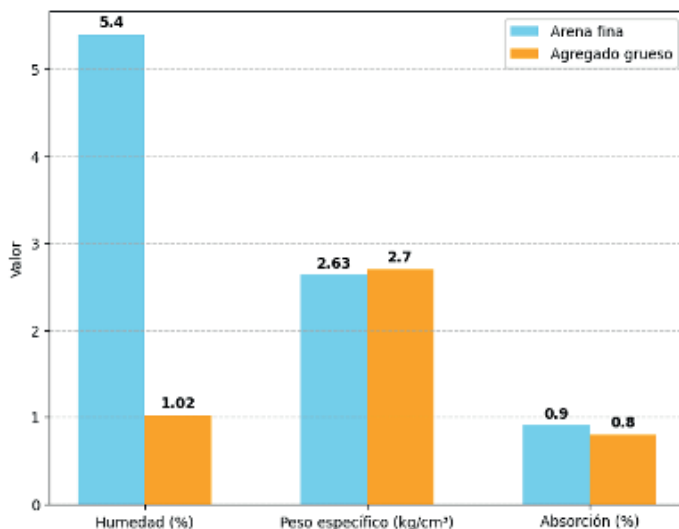
## RESULTADOS

### Análisis de los agregados

Los materiales empleados mostraron propiedades adecuadas para la fabricación de concreto. Como se observa en la Figura 12, la arena fina presentó un promedio de humedad del 5.4 %, un peso específico de 2.63 g/cm<sup>3</sup> y una absorción de 0.90 %, mientras que el agregado grueso tuvo una humedad de 1.02 %, un peso específico de 2.70 g/cm<sup>3</sup> y una absorción de 0.80 %. Estos parámetros

garantizaron que la mezcla fuera uniforme y estable, lo que la hizo apta para la adición de microfibras sin alterar la consistencia de la mezcla.

**Figura 12.** Propiedades de los agregados para el concreto.

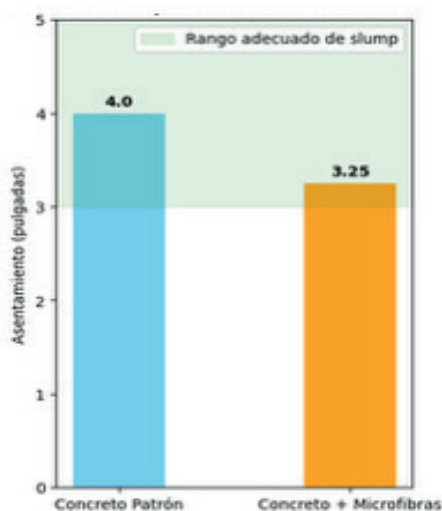


### Ensayo de asentamiento de diseño de mezcla patrón y con microfibras

El concreto patrón se elaboró sin microfibras y mostró un asentamiento de 4.00 pulgadas durante la prueba del cono de Abrams, lo que sugiere una adecuada manejabilidad.

Por otra parte, al incorporar microfibras de polipropileno a razón de 0.9 kg/m<sup>3</sup>, la mezcla mantuvo una trabajabilidad adecuada, con un slump de 3.25 pulgadas, ligeramente menor que el patrón, pero suficiente para que el concreto sea colocado y compactado adecuadamente.

**Figura 13. Medidor de Slump – Concreto patrón vs microfibras**

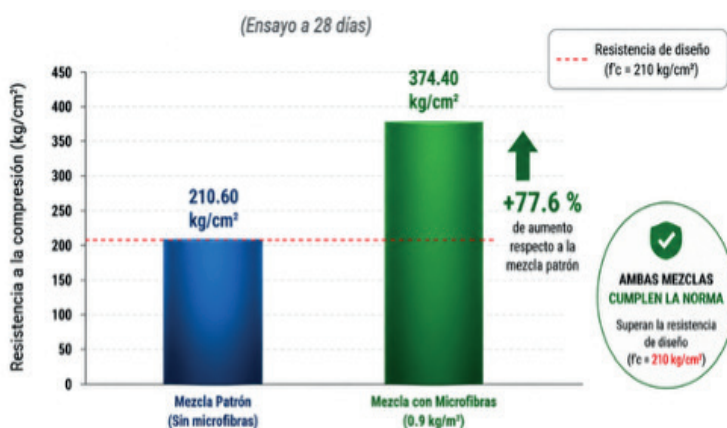


## Resistencia a la compresión

El análisis del concreto endurecido mostró que todas las mezclas cumplieron con la resistencia de diseño ( $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ ). La mezcla patrón alcanzó  $210.60 \text{ kg/cm}^2$  a los 28 días, mientras que la incorporación de microfibras produjo un aumento de la resistencia a la compresión, especialmente en la mezcla con  $0.9 \text{ kg/m}^3$ , que alcanzó  $374.40 \text{ kg/cm}^2$ .

Este aumento se atribuye a que las microfibras ayudan a reducir microfisuras internas, mejorando la integridad de la matriz cementicia y distribuyendo mejor las tensiones durante el fraguado y endurecimiento. En términos sencillos, las fibras refuerzan la mezcla sin reemplazar el acero estructural, contribuyendo a un concreto más resistente.

**Figura 14.** Resultados del ensayo de resistencia a la compresión.



## Ensayo de retracción plástica (ASTM C1579)

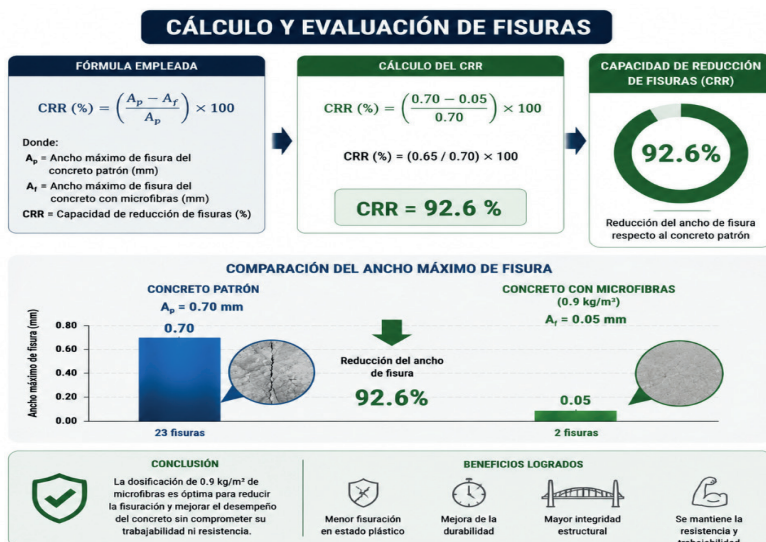
Los paneles de concreto reforzado con  $0.9 \text{ kg/m}^3$  de microfibras mostraron un número de fisuras igual a 2 y ancho máximo de 0.05 mm. Esto representó una eficacia de mitigación de aproximadamente 92.6% frente al patrón, que presentó 23 fisuras con un ancho máximo de 0.70 mm. Las microfibras actuaron como una red interna limitando la apertura de fisuras durante el fraguado inicial del concreto.

**Figura 15.** Comparativa de ensayo de retracción plástica de concreto patrón y con microfibras.



Por otra parte, se obtuvo el concreto patrón  $A_p = 0.70$  mm, concreto con  $0.9 \text{ kg/m}^3$   $A_f = 0.05$  mm, por lo tanto; el  $\text{CRR} = 92.6\%$ . Esto confirma que la dosificación de  $0.9 \text{ kg/m}^3$  es óptima para reducir la fisuración, mejorar durabilidad y mantener la integridad estructural del concreto sin comprometer su trabajabilidad o resistencia.

Figura 16. Cálculo y evaluación de fisuras.



## DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos demuestran que la incorporación de microfibras de polipropileno en una dosificación de  $0.9 \text{ kg/m}^3$  mejoró notablemente la resistencia del concreto ante fisuras provocadas por la retracción plástica, sin afectar su manejabilidad ni su resistencia. En el análisis realizado, el concreto de referencia mostró un asentamiento de 4.00 pulgadas, en contraste con la mezcla que contenía microfibras, que registró 3.25 pulgadas, lo que se traduce en una reducción de 0.75 pulgadas, equivalente a aproximadamente un 18.75%. Esta disminución sugiere que las microfibras fortalecieron la cohesión del concreto en estado fresco, creando una mezcla un poco menos fluida, pero aún válida para su colocación y compactado.

Este comportamiento coincide con lo reportado por Del Savio *et al.* (2022), quienes evaluaron concreto reforzado con microfibras de polipropileno en volúmenes de 0.4, 0.8 y 1.2 %. En su investigación, el concreto patrón registró un slump de 240 mm, mientras que las mezclas con microfibras presentaron reducciones progresivas: con 0.4 % de microfibra el asentamiento varió entre 140 y 210 mm, con 0.8 % entre 70 y 175 mm, y con 1.2 % entre 46 y 111 mm. En ese caso, la incorporación de microfibras no produjo incrementos tan marcados como en el presente estudio, e incluso algunas mezclas mostraron ligeras reducciones.

En cuanto a la resistencia a la compresión, el concreto patrón alcanzó 210.60 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días, valor que cumple con la resistencia de diseño establecida de  $f'_c = 210$  kg/cm<sup>2</sup>. La mezcla con 0.9 kg/m<sup>3</sup> de microfibras alcanzó 374.40 kg/cm<sup>2</sup>, lo que representa un incremento de 163.80 kg/cm<sup>2</sup> respecto al concreto patrón, equivalente a un aumento aproximado del 77.8 %. Este resultado evidenció que la dosificación empleada no afectó negativamente la resistencia del concreto; por el contrario, mejoró considerablemente su desempeño mecánico.

Por ejemplo, Gorji *et al.* (2023) en su estudio, mostraron que las probetas con microfibras de polipropileno presentaron una mejora del 9.67 % en la resistencia a la compresión, mientras que aquellas con microfibras de poliolefina mostraron una mejora del 30.47 % en comparación con las probetas sin microfibras. Igualmente, Ahmad *et al.* (2022), señalaron que, en varios casos, la incorporación de microfibras de polipropileno incrementó la resistencia a compresión hasta 36 % según volumen de microfibra, aunque a dosis más altas puede disminuir debido a problemas de trabajabilidad. También, de manera similar, Balagopal *et al.* (2022) encontraron que la incorporación de 0.5 % a 1.0 % de microfibras de polipropileno incrementó la resistencia a compresión entre 5 y 12 % respecto al patrón sin microfibras, dependiendo de la relación agua/cemento y el curado empleado.

También, Saeed *et al.* (2026) mencionan que, la incorporación de 1 % de microfibras de polipropileno aumentó la resistencia a compresión en aproximadamente 5 MPa respecto al concreto sin microfibras cuando se usó una mezcla con proporciones óptimas. En otra investigación, se diseñó concreto con porcentajes de microfibras de polipropileno (PPF) entre 0 % y 0.5 %. La resistencia a compresión aumentó hasta en 17 % cuando se empleó 0.5 % de fibra

comparado con el concreto sin microfibra, antes de comenzar a disminuir con dosificaciones superiores (Meena & Ramana, 2022).

Por otro lado, Bagherzadeh *et al.* (2012) compararon concretos con 0.1 % y 0.3 % de microfibra de polipropileno y observaron que no hubo efecto estadísticamente significativo en la resistencia a compresión, aunque sí mejoras en otras propiedades mecánicas como tensión y flexión. Ghourchian *et al.* (2019) observaron incrementos de 10 al 18 % en la resistencia a compresión para concretos reforzados con 0.3% a 0.6 % de microfibras, destacando que la mejora es más evidente en concretos con menor contenido de agua y alta calidad de agregados. Estos datos confirman que, si bien la magnitud del aumento de resistencia varía según las condiciones experimentales y la mezcla, la adición de microfibras generalmente proporciona un refuerzo mecánico adicional que ayuda a controlar microfisuras internas y mejorar la integridad del material.

El efecto más significativo se notó en la prueba de contracción plástica. El concreto de referencia mostró 23 fisuras con un ancho máximo de 0.70 mm, mientras que la mezcla que incluía  $0.9 \text{ kg/m}^3$  de microfibras solo mostró 2 fisuras y un ancho máximo de 0.05 mm. Esto indica una disminución de 21 fisuras, lo que representa una reducción aproximada del 91.3 % en la cantidad de fisuras. Del mismo modo, el ancho máximo se redujo en 0.65 mm, lo que corresponde a una disminución del 92.6 % conforme al índice de reducción de fisuras calculado en la investigación.

Los hallazgos conseguidos son similares con el estudio de Islam & Das (2016), quienes analizaron el concreto reforzado con microfibras de polipropileno en cantidades de 0.1% a 0.3%. En su estudio, las microfibras lograron disminuir las fisuras por retracción plástica entre un 50% y 99% en comparación con el concreto que no contenía microfibras. Adicionalmente, el concreto de referencia mostró anchos de fisura que superaban el umbral de 3 mm establecido por ACI 224, mientras que con la inclusión de solo un 0.1% de microfibra, el tamaño de la fisura se redujo a cerca de 1 mm.

De manera similar, Abusogi *et al.* (2023) observaron reducciones importantes en el ancho de fisuras al incorporar microfibras de polipropileno en morteros y pastas cementicias. En mezclas de mortero con relación agua/cemento de 0.4, el ancho de fisura disminuyó de 0.10 mm en la mezcla sin microfibras a 0.04 mm

con 0.4 % de microfibras, 0.02 mm con 0.6 % y 0.001 mm con 0.8 % de microfibras. Esto representó reducciones de 60 %, 80 % y 99 %, respectivamente.

Así mismo, el uso de 0.10 % de microfibras de polipropileno resultó en reducciones en la longitud total de fisuras (91 %), área total de fisuras (94 %) y ancho máximo de fisura (90 %) comparado con el concreto convencional sin microfibras (Abdalkader & Elzaroug, 2021).

Folorunsho *et al.* (2026) indicaron que las microfibras de polipropileno redujeron las fisuras plásticas en un 98.80 %, mientras que otras microfibras como poliéster y vidrio redujeron las fisuras en 99.87 % y 96.72 %, respectivamente. Ramos & Parillo (2025) evaluaron tres dosificaciones de fibras de polipropileno: 500 g/m<sup>3</sup>, 1000 g/m<sup>3</sup> y 2000 g/m<sup>3</sup>, comparadas con un control. Los resultados reportaron para la dosificación intermedia (1000 g/m<sup>3</sup>) reducciones de 18.41 % en grosor promedio de fisuras, 11.46 % en longitud total de fisuras y 32.43 % en número de fisuras.

Por otra parte, en un reporte técnico de ensayos, paneles de concreto reforzado con microfibras de polipropileno demostraron reducciones del ancho de fisura de 0.45 mm (control) a 0.20 mm y 0.18 mm para dos niveles de microfibras 2 kg y 4 kg, respectivamente), lo que corresponde a un CRR de 67 % y 100 % (Sokolov *et al.*, 2018). Dichos resultados son inferiores a los encontrados en el presente estudio.

Finalmente, Banthia & Gupta (2006) observaron que, en mezclas con 0.2 % de microfibras, el número de fisuras observadas fue prácticamente nulo bajo condiciones estándar de ensayo, mientras que con 0.1 % hubo presencia de fisuras significativas, mostrando una clara relación dosis-efecto en reducción de fisuras.

## CONCLUSIONES

La incorporación de microfibras de polipropileno a razón de 0.9 kg/m<sup>3</sup> en la mezcla de concreto de 210 kg/cm<sup>2</sup> demostró ser altamente efectiva para controlar la fisuración temprana por retracción plástica, reduciendo el número de fisuras en un 91.3 % y el ancho máximo en un 92.6 % respecto al concreto patrón. Esto confirma que las fibras funcionan como una red tridimensional interna, limitando la propagación de microfisuras durante las primeras horas del fraguado.

La resistencia a compresión del concreto no solo se mantuvo, sino que incrementó de manera significativa, alcanzando  $374.40 \text{ kg/cm}^2$  con microfibras, lo que evidencia que su dosificación adecuada puede mejorar la integridad estructural y la distribución de tensiones internas en la matriz cementicia.

La trabajabilidad del concreto fresco se mantuvo dentro de rangos adecuados (slump de 3.25 pulgadas frente a 4.00 pulgadas del patrón), demostrando que la incorporación de microfibras no compromete la colocación y compactación de la mezcla, siempre que se respeten las proporciones recomendadas.

Los resultados experimentales obtenidos en condiciones climáticas controladas de Tarapoto reflejan que el uso de microfibras es una alternativa práctica y viable para reducir fisuras tempranas en regiones de clima cálido y húmedo, contribuyendo a una mayor durabilidad de las estructuras.

La comparación con literatura científica reciente evidencia que las reducciones observadas en este estudio se ubican en el rango superior de eficacia reportado en investigaciones indexadas, lo que respalda la pertinencia de la dosificación seleccionada.

## RECOMENDACIONES

Es aconsejable agregar microfibras de polipropileno en mezclas de hormigón que se encuentren en ambientes con alta evaporación, sobre todo en losas y superficies amplias, para reducir la aparición de fisuras plásticas en etapas tempranas.

Se debe mantener una dosificación de  $0.9 \text{ kg/m}^3$  como referencia, ya que ofrece un balance adecuado entre control de fisuras, facilidad de trabajo y resistencia física. Se pueden realizar ajustes menores dependiendo de las características locales de los agregados y las condiciones de colocación.

Es esencial que la incorporación de microfibras se realice junto con métodos de construcción apropiados, como un curado adecuado, resguardo contra el viento y la luz solar, así como una correcta compactación, para maximizar la eficacia del refuerzo.

Se recomienda llevar a cabo investigaciones complementarias utilizando diferentes longitudes y tipos de microfibras sintéticas, así como la mezcla con

aditivos minerales, con el fin de mejorar aún más el rendimiento del hormigón frente a fisuras tempranas en variadas condiciones climáticas.

Por último, se sugiere registrar y medir la disminución de fisuras en proyectos reales para verificar los hallazgos de laboratorio y elaborar guías técnicas útiles para la industria de la construcción en áreas tropicales y subtropicales.

## REFERENCIAS

ABDALKADER, A.; ELZAROU, O. Influence of polypropylene fiber on plastic shrinkage cracks of concrete. **Journal of Engineering Research**, v. 31, p. 13–24, 2021. DOI: <https://doi.org/10.66411/jer.v31i.80>.

ABUSOGI, M. A.; MUDA, Z. C.; HAFEZ, M. A.; BAKRI, M. Effect of polypropylene fibre on cementitious mortar early shrinkage cracking using the eccentric-ring test. **Frontiers in Materials**, v. 9, p. 1–13, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmats.2022.1052870>.

ASTM INTERNATIONAL. ASTM C1116/C1116M-23: *Standard Specification for Fiber-Reinforced Concrete*. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2023. DOI: [https://doi.org/10.1520/C1116\\_C1116M-23](https://doi.org/10.1520/C1116_C1116M-23).

ASTM INTERNATIONAL. ASTM C128-22: *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate*. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1520/C0128-25>.

ASTM INTERNATIONAL. ASTM C136/C136M-19: *Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates*. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2019.

ASTM INTERNATIONAL. ASTM C143/C143M-20: *Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete*. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2020.

ASTM INTERNATIONAL. ASTM C150/C150M-22: *Standard Specification for Portland Cement*. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2024. DOI: [https://doi.org/10.1520/C0150\\_C0150M-22](https://doi.org/10.1520/C0150_C0150M-22).

ASTM INTERNATIONAL. ASTM C1579-21: *Standard Test Method for Evaluating Plastic Shrinkage Cracking of Restrained Fiber Reinforced Concrete*. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2021.

ASTM INTERNATIONAL. ASTM C1602/C1602M-22: *Standard Specification for Mixing Water Used in the Production of Hydraulic Cement Concrete*. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2022. DOI: [https://doi.org/10.1520/C1602\\_C1602M-22](https://doi.org/10.1520/C1602_C1602M-22).

ASTM INTERNATIONAL. ASTM C29/C29M-23: *Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate*. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2023.

ASTM INTERNATIONAL. ASTM C39/C39M-23: *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2023. DOI: [https://doi.org/10.1520/C0039\\_C0039M-23](https://doi.org/10.1520/C0039_C0039M-23).

ASTM INTERNATIONAL. ASTM C566-19: *Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying*. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1520/C0566-19>.

AHMAD, J. *et al.* A review on failure modes and cracking behaviors of polypropylene fibers reinforced concrete. **Buildings**, v. 12, n. 11, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings12111951>.

BAGHERZADEH, R.; SADEGHI, A.; LATIFI, M. Utilizing polypropylene fibers to improve physical and mechanical properties of concrete. **Textile Research Journal**, v. 82, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1177/0040517511420767>.

BALAGOPAL, V. *et al.* Influence of fibers on the mechanical properties of cementitious composites: a review. **Materials Today: Proceedings**, v. 65, p. 1846–1850, 2022.

BANTHIA, N.; GUPTA, R. Influence of polypropylene fiber geometry on plastic shrinkage cracking in concrete. **Cement and Concrete Research**, v. 36, p. 1263–1267, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2006.01.010>.

CLIMATEDATA. Clima de Tarapoto: tiempo en Tarapoto y temperatura por mes. 2026. Disponível em: <https://es.climate-data.org/americas-del-sur/peru/san-martin/tarapoto-3404/>. Acesso em: [data de acesso].

COLLINS, F.; ALY, T.; SANJAYAN, J. G. Effect of polypropylene fibers on shrinkage and cracking of concretes. **Materials and Structures**, v. 41, p. 1741–1753, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1617/s11527-008-9361-2>.

DEL SAVIO, A. *et al.* Determination of polypropylene fiber-reinforced concrete compressive strength and elasticity modulus via ultrasonic pulse tests. **Applied Sciences**, v. 12, n. 20, art. 10375, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/app122010375>.

FODE, T.; CHANDE JANDE, Y.; KIVEVELE, T. Effects of different supplementary cementitious materials on durability and mechanical properties of cement composite: comprehensive review. **Heliyon**, v. 9, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17924>.

FOLORUNSHO, A. B. *et al.* Preventing plastic-shrinkage cracks in GFRP-bar reinforced concrete using fibers. **International Journal of Concrete Structures and Materials**, v. 20, n. 25, 2026. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40069-026-00905-5>.

GAO, X. *et al.* Effects of multidimensional carbon-based nanomaterials on the low-carbon and high-performance cementitious composites: a critical review. **Materials**, v. 17, n. 10, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma17102196>.

GHOURLCHIAN, S.; WYRZYKOWSKI, M.; LURA, P. A practical approach for reducing the risk of plastic shrinkage cracking of concrete. **RILEM Technical Letters**, p. 40–44, 2017. DOI: <https://doi.org/10.21809/rilemtechlett.2017.45>.

GHOURLCHIAN, S. *et al.* On the mechanism of plastic shrinkage cracking in fresh cementitious materials. **Cement and Concrete Research**, v. 115, p. 251–263, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.10.015>.

GORJI, M. *et al.* Mechanical properties of polyolefin and polypropylene fibers-reinforced concrete: an experimental study. **Composites Part C: Open Access**, v. 12, art. 100410, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcomc.2023.100410>.

HAMADA, H. M. *et al.* Application of natural fibres in cement concrete: a critical review. **Materials Today Communications**, v. 35, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2023.105833>.

ISLAM, G. M. S.; DAS, S. Evaluating plastic shrinkage and permeability of polypropylene fiber reinforced concrete. **International Journal of Sustainable Built Environment**, v. 5, n. 2, p. 345–354, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijsbe.2016.05.007>.

JATOI, M. A. L. I.; SOLANGI, G. S.; SHAIKH, F. A. L. I. Effect of Lakhra fly ash as partial replacement of cement in traditional concrete. **Mehran University Research Journal of Engineering & Technology**, v. 38, n. 4, p. 1045–1056, 2019. DOI: <https://doi.org/10.22581/muet1982.1904.16>.

KAYONDO, M.; COMBRINCK, R.; BOSHOFF, W. State-of-the-art review on plastic cracking of concrete. **Construction and Building Materials**, v. 225, p. 886–899, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.07.197>.

KWAK, H.; HA, S. Plastic shrinkage cracking in concrete slabs. Part II: numerical experiment and prediction of occurrence. **Magazine of Concrete Research**, v. 58, n. 8, p. 517–532, 2006.

LATIFI, M. R.; BIRICIK, Ö.; AGHABAGLOU, A. M. Effect of the addition of polypropylene fiber on concrete properties. **Journal of Adhesion Science and Technology**, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1080/01694243.2021.1922221>.

MEENA, A.; RAMANA, P. V. Mechanical characteristics appraisal for polypropylene fiber concrete via mathematical models. **Materials Today: Proceedings**, v. 66, p. 1720–1725, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.05.268>.

MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO. **Norma técnica E.030: diseño sismorresistente**. Lima, 2026.

OTIENO, M. B.; ALEXANDER, M. G.; BEUSHAUSEN, H. Corrosion in cracked and uncracked concrete: influence of crack width, concrete quality and crack reopening. **Magazine of Concrete Research**, v. 62, n. 6, p. 393–404, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1680/mac.2010.62.6.393>.

POURSAEE, A.; ROSS, B. The role of cracks in chloride-induced corrosion of carbon steel in concrete: review. **Corrosion and Materials Degradation**, v. 3, n. 2, p. 258–269, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/cmd3020015>.

RAMOS, M.; PARILLO, E. Reduction of cracks in concrete slabs by incorporating synthetic polypropylene fiber. **Fracture and Structural Integrity**, v. 20, n. 75, p. 399–434, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3221/IGF-ESIS.75.29>.

REZA, H.; OZBAKKALOGLU, T. Synthetic fibers for cementitious composites: a critical and in-depth review of recent advances. **Construction and Building Materials**, v. 207, p. 491–518, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.02.078>.

SAEED, N. M. *et al.* Effect of crushed and uncrushed aggregate ratios on the mechanical properties of polypropylene fiber-reinforced concrete. **Discover Civil Engineering**, v. 3, n. 35, 2026. DOI: <https://doi.org/10.1007/s44290-026-00435-9>.

SLOWIK, V. *et al.* Capillary pressure monitoring in plastic concrete for controlling early-age shrinkage cracking. **Transportation Research Record**, n. 2441, p. 1–5, 2014. DOI: <https://doi.org/10.3141/2441-01>.

SOKOLOV, A.; RIMKUS, A.; SKRIPKIŪNAS, G. Plastic shrinkage cracking test of fibre reinforced concrete.

TOIRAC CORRAL, J. Patología de la construcción: grietas y fisuras en obras de hormigón; origen y prevención. **Ciencia y Sociedad**, v. 29, n. 1, p. 72–114, 2004.