

MAX LEONEL RAMOS EUGENIO

ARTICULO CIENTIFICO_MAX RAMOS REV. FINAL.docx

 My Files My Files Universidad Peruana Union

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::29566:528525006

Fecha de entrega

16 nov 2025, 11:48 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

16 nov 2025, 11:54 a.m. GMT-5

Nombre del archivo

ARTICULO CIENTIFICO_MAX RAMOS REV. FINAL.docx

Tamaño del archivo

1.9 MB

30 páginas

14.554 palabras

73.605 caracteres

16% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Fuentes principales

- 13%  Fuentes de Internet
- 6%  Publicaciones
- 13%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Fuentes principales

- 13% Fuentes de Internet
- 6% Publicaciones
- 13% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Internet	www.fracturae.com	3%
2	Internet	hdl.handle.net	2%
3	Trabajos entregados	unsaac on 2025-03-19	<1%
4	Internet	repositorio.ucv.edu.pe	<1%
5	Trabajos entregados	Sekolah Global Jaya on 2016-12-05	<1%
6	Publicación	Annadurai Vinothkanna, Soundarapandian Sekar. "Probiotic properties of intrinsi...	<1%
7	Internet	www.balt.net	<1%
8	Publicación	Christopher Delafuente-Navarro, Irune Indacochea-Vega, Helena Miera-Doming...	<1%
9	Internet	link.springer.com	<1%
10	Internet	livrepository.liverpool.ac.uk	<1%
11	Publicación	Asad Zia, Pu Zhang, Ivan Holly. "Long-term performance of concrete reinforced w...	<1%

12	Internet	www.ijmerr.com	<1%
13	Internet	revistaalconpat.org	<1%
14	Internet	www.scielo.org.co	<1%
15	Internet	iris.uniroma1.it	<1%
16	Trabajos entregados	Universidad Andina del Cusco on 2018-02-23	<1%
17	Internet	www.researchgate.net	<1%
18	Internet	es.scribd.com	<1%
19	Internet	openconstructionbuildingtechnologyjournal.com	<1%
20	Internet	repositorio.undc.edu.pe	<1%
21	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2023-06-19	<1%
22	Internet	ijrrjournal.com	<1%
23	Trabajos entregados	unach on 2025-01-31	<1%
24	Trabajos entregados	Universidad Tecnologica del Peru on 2024-11-22	<1%
25	Internet	alicia.concytec.gob.pe	<1%

26	Trabajos entregados	Universidad Tecnologica del Peru on 2024-11-29	<1%
27	Publicación	Goutom Barua, G.M. Sadiql Islam. "Low tortuous permeable concrete pavement ...	<1%
28	Trabajos entregados	Universidad Tecnologica del Peru on 2022-07-30	<1%
29	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2017-02-23	<1%
30	Trabajos entregados	Universidad Politécnica de Madrid on 2019-01-18	<1%
31	Trabajos entregados	Universidad Tecnologica del Peru on 2025-10-30	<1%
32	Internet	m.scirp.org	<1%
33	Publicación	Carrasco Santos, Mildred. "La alternancia de códigos español-inglés en Puerto Ric...	<1%
34	Trabajos entregados	University of Anbar on 2023-09-18	<1%
35	Internet	clubensayos.com	<1%
36	Internet	repositorio.undac.edu.pe	<1%
37	Trabajos entregados	Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez on 2022-11-21	<1%
38	Internet	www.ahsaa.com	<1%
39	Trabajos entregados	Ho Chi Minh City Open University on 2021-09-13	<1%

40	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2018-02-20	<1%
41	Internet	www.coursehero.com	<1%
42	Internet	moam.info	<1%
43	Trabajos entregados	Universidad Andina del Cusco on 2018-03-22	<1%
44	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2022-10-21	<1%
45	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2025-01-11	<1%
46	Internet	ri-ng.uaq.mx	<1%
47	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2016-05-19	<1%
48	Internet	repositorio.uss.edu.pe	<1%
49	Internet	www.macrofibras.org	<1%
50	Trabajos entregados	Universidad Tecnologica de los Andes on 2025-02-20	<1%
51	Internet	kipdf.com	<1%
52	Trabajos entregados	Universidad Internacional de la Rioja on 2025-01-27	<1%
53	Internet	upc.aws.openrepository.com	<1%

54	Trabajos entregados	Atlantic International University on 2012-10-12	<1%
55	Publicación	Rahma Mebarkia, Mansour Bouzeroura, Messaouda Boumaaza, Nasser Chelouah ...	<1%
56	Publicación	Vizconde Fernández, Edith Marilé. "Nivel de estrés en el profesional enfermera(o) ...	<1%
57	Internet	laccei.org	<1%
58	Internet	aeldesigns.com	<1%
59	Internet	bulletinbstu.editorum.ru	<1%
60	Internet	helvia.uco.es	<1%
61	Internet	www.capanema.pr.gov.br	<1%
62	Trabajos entregados	Colegio Vista Hermosa on 2007-03-28	<1%
63	Publicación	Zohre Ebrahimi-Khusfi, Reza Dahmardeh Behrooz, Amirhosein Anari-Moemenaba...	<1%
64	Internet	cia.uagraria.edu.ec	<1%
65	Internet	simetriteknik.com	<1%
66	Internet	www.travelkhana.com	<1%
67	Internet	gadconstantinofernandez.gob.ec	<1%

68	Internet	patents.google.com	<1%
69	Internet	pesquisa.teste.bvsalud.org	<1%
70	Internet	sat.semarnat.gob.mx	<1%
71	Internet	www.repositorio.ufal.br	<1%
72	Publicación	Baldeon, Juan Alvarez Fauss Ochicua, Nelly Margot Knox Mere, Jacqueline Mar...	<1%
73	Publicación	Quenta Flores, Darwin. "Efecto del reciclado de las fibras de las botellas PET en la...	<1%
74	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2022-07-31	<1%
75	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2022-07-31	<1%
76	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2023-11-27	<1%
77	Trabajos entregados	Universidad Privada del Norte on 2024-11-17	<1%
78	Internet	alt-perubolivia.org	<1%
79	Internet	dokumen.pub	<1%
80	Internet	smeor-journal.org	<1%
81	Trabajos entregados	uncedu on 2025-02-04	<1%

82	Publicación	FIDEL SALAS VICENTE. "Investigación y modelización de la adherencia, el desgast...	<1%
83	Trabajos entregados	Universidad Alas Peruanas on 2019-11-26	<1%
84	Trabajos entregados	Universidad Continental on 2018-07-16	<1%
85	Trabajos entregados	Universidad Internacional de la Rioja on 2025-01-30	<1%
86	Trabajos entregados	Universidad Nacional Agraria La Molina on 2024-08-12	<1%
87	Trabajos entregados	Universidad Nacional del Chimborazo on 2024-03-06	<1%
88	Trabajos entregados	Universidad Tecnologica del Peru on 2024-12-12	<1%
89	Trabajos entregados	Universidad Tecnologica del Peru on 2025-11-02	<1%
90	Internet	computerhoy.com	<1%
91	Internet	crea.ujae.es	<1%
92	Internet	repositorio.umsa.bo	<1%
93	Internet	repositorio.unini.edu.mx	<1%
94	Internet	repository.unimilitar.edu.co	<1%
95	Internet	revistas.usfx.bo	<1%

96	Internet	www.colpamex.org	<1%
97	Internet	www.jove.com	<1%
98	Internet	www.scribd.com	<1%
99	Trabajos entregados	upeu on 2024-06-12	<1%
100	Trabajos entregados	Pontificia Universidad Catolica de Puerto Rico on 2013-05-10	<1%
101	Publicación	Ramírez Castillo, Dante Dorian. "Prevalencia de huevos de Toxocara canis y Ancylospora canis y Ancylospora canis"	<1%
102	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2016-05-06	<1%
103	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2023-06-26	<1%
104	Internet	repositorio.utea.edu.pe	<1%

Reducción de las fisuras en losas de concreto incorporando fibra sintética de polipropileno

Max Ramos, Edwin Parillo

Universidad Peruana Unión, Perú

max.ramos@upen.edu.pe, <https://orcid.org/0009-0009-4993-983X>

edwin.parillo@upen.edu.pe, <https://orcid.org/0000-0003-1175-0512>

ABSTRACT.

En el Perú, la investigación sobre la fisuración en losas de concreto ha sido limitada, debido a la percepción generalizada de que las fisuras no representan un problema a corto plazo. Sin embargo, su impacto a largo plazo puede ser significativo, por lo que resulta necesario estudiarlas con mayor profundidad. El objetivo de esta investigación es busca la proporción de incorporación optima de la fibra sintética de polipropileno que genere los mejores beneficios para el concreto con respecto a la presencia y formación de fisuras, mediante la incorporación de fibra sintética de polipropileno en tres diferentes dosificaciones: DM-01 (500 g/m³), DM-02 (1000 g/m³) y DM-03 (2000 g/m³), comparadas con un concreto patrón (MP), siendo evaluadas por contracción por secado en un tiempo de 35 días que dura el proceso de curado. El análisis de los resultados indicó que la dosificación DM-02 fue la más eficiente, logrando una reducción del espesor (18.41%), longitud (11.46%) y número de fisuras (32.43%). Por otro lado, las dosificaciones DM-01 y DM-03 presentaron resultados mixtos, con reducción del número de fisuras, pero sin mejoras significativas en las otras variables. En especial, DM-03 mostró un incremento en el espesor de las fisuras. Se concluye que una dosificación moderada de fibra (DM-02) es la opción más adecuada, ya que un exceso o deficiencia en su uso puede comprometer la efectividad del concreto.

KEYWORDS.

Fibra, Concreto, Espesor, Longitud, Fisura, Polipropileno



Citation: Max Ramos, Edwin Parillo, Reducción de las fisuras en losas de concreto incorporando fibra sintética de polipropileno, *Fracture and Structural Integrity*, xx (2024) ww-zz.

Received: xx.yy.zzzz

Accepted: xx.yy.zzzz

Published: xx.yy.zzzz

Issue: yy.zzzz

Copyright: © 2024 This is an open access article under the terms of the CC-BY 4.0, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

INTRODUCCIÓN

En el mundo de la construcción la fisuración del concreto es un problema muy recurrente, ya que provoca la reducción significativa de la vida útil y la integridad de las edificaciones[1]. Por lo cual en diversos países se ha producido un incremento en la investigación de dicho tema con el objetivo de obtener una solución rápida y sencilla a este problema.

En Colombia, la investigación realizada por Dias, Calmon y Vieira [2] se centró en investigar la contracción plástica del concreto, demostrando que el concreto convencional es muy tenue y tiene una capacidad nula para resistir los efectos de la fisuración. Ese problema afecta significativamente la visualización y resistencia estructural de las edificaciones que en el 90% de los casos requieren procesos adicionales, tales como sellado de fisuras, para ser solucionados, lo que genera gastos adicionales relativamente elevados.

En la presencia de fisuras en el concreto es común el uso de selladores de fisuras, impermeabilizantes y/o morteros de reparación con los que los problemas de fisuración son resueltos de manera rápida, pero dichos materiales son significativamente caros por lo que no todos los propietarios tienen acceso a su uso, por lo cual el uso de un material no convencional y común para la población es un alternativa más fácil y accesible que pueda prevenir o reducir la presencia de fisuras en las losas de concreto[3].

En Perú, la investigación de la fisuración en losas de concreto has sido muy escasa en el margen de la construcción o en su defecto no fueron de interés común para ser continuadas y detalladas. El motivo de la escasa evidencia científica surge del pensamiento colectivo de que la fisuración en el concreto no representa un problema a corto plazo por lo cual es ignorado comúnmente, pero al ser analizado a un largo plazo presenta problemas significativos que deben ser estudiados a profundidad y detalle.

Las fisuras en losas de concreto producen problemas de filtración que facilitan el deterioro y reduce el tiempo de vida útil de las edificaciones[4].

En un ámbito internacional la investigación de fisuración se centró en el análisis de resistencia a la compresión, resistencia a la tracción, resistencia a la flexión y/o asentamiento, por lo cual en el ámbito nacional las investigaciones se redujeron considerablemente al no ser promovido, lo que llevo a un estancamiento científico en esta rama de la ingeniería quedando solo las investigaciones en temas teóricos y sin interés[5].

Muchas investigación locales, nacionales e internacionales has promovido el uso de fibras naturales y artificiales no convencionales para la reducción de fisuras en el concreto como:

Chaisa y Maccarcco[5] determinaron que una incorporación de 0.5kg se logró disminuir 69.95% de asentamiento considerando que a mayor incremento de fibra el asentamiento se disminuiría.

Por otro lado, Prakash et alii[6] llegaron a la conclusión que una adición de 0.5% de fibras de polipropileno a la mezcla de concreto aumenta la resistencia a la tracción hasta un valor de 24% indicando que es posible el uso de fibras de polipropileno para la optimización de las propiedades mecánicas del concreto.

De manera similar, Ghali et alii[7] llegaron a la conclusión de que la resistencia a compresión se incrementa en un 38.6% con la adición de fibra de polipropileno.

Además, Qasim y Jassam[8] lograron determinar que al agregar un 40% de fibra de polipropileno aumenta la resistencia a la compresión del concreto en un 46.40% a los 14 días de ser evaluado.

Asimismo, Shan et alii[9] demuestra que una incorporación de 1 kg/m³ de fibra de polipropileno mejora en un 42.2% la resistencia a la compresión del concreto a los 28 días, revelando la importancia del uso de fibra de polipropileno en las mezclas de concreto.

De manera similar, Najaf y Abbasi[10] determinaron que la adición de fibras de polipropileno macroestructural demostró incrementar en un 32% la resistencia a la compresión y un 85% en la resistencia a la flexión, lo que representa una mejora significativa.

Igualmente, Maafi et alii[4] llevo a la conclusión que el uso de fibra sintética de polipropileno mejora la resistencia a la compresión en un 23% y la resistencia a la tracción en un 21%, lo que idealiza que la cantidad ideal de fibra es de suma importancia para una mejora significativa.

Igualmente, Zhao et alii[1] concluyeron que con una adición de fibra de polipropileno y fibra de acero produjo un incremento en la resistencia a la compresión de 29.1% y en la resistencia a la tracción en un 53.4% lo que demuestra los beneficios del uso de fibras plásticas y metálicas.

También, Callamamani et alii[11] demostró que la utilización de fibras sintéticas de menor longitud presenta una dispersión más eficaz en comparación de fibras de mayor longitud, los cuales se pueden distribuir en una sola zona del concreto sin afectar en las otras.

Además. Christopher et alii[12] demostraron que el uso de fibras híbridas de poliéster y acero mejoran la resistencia a la compresión en un 26%, lo que idealiza y aconseja el uso de varias fibras en el concreto.

Por otro lado, Kistan et alii[13] concluyen un resultado diferente a las anteriores investigaciones, indicando que la incorporación de fibras plásticas como un sustituyo del agregado fino conlleva a una reducción de 16.9% de resistencia a la compresión y un 17.6% de la resistencia a la flexión.

Igualmente, Mohammed y Kasim[14] concluyeron que el incremento de fibras de desecho de polietileno reduce la resistencia a la compresión en un 15.74% lo que perjudica en su trabajabilidad y funcionamiento.

En el Perú, el uso del concreto está muy normalizado en todo tipo de construcción, siendo un material de construcción eficiente en su funcionalidad, por lo que dejar de lado el tema de la fisuración representa una negligencia de los investigadores que tiene que ser resuelta lo antes posible[15].

Por lo cual, esta investigación busca analizar el efecto de la incorporación de fibra sintética de polipropileno en la reducción de la cantidad, espesor y longitud de las fisuras que se presentan en modelos físicos de losas de concreto de $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$. Para ello se realizaron pruebas con diferentes dosificaciones de fibra sintética de polipropileno en la mezcla de concreto: MP (0 gr/m³), DM-01 (500 gr/m³), DM-02 (1000 gr/m³) y DM-03 (2000 gr/m³). Las cuales fueron evaluadas a los 7 días, 14 días, 21 días, 28 días y 35 días para determinar el impacto de la fibra en la formación de fisuras.

En un margen nacional, no existe un ensayo normalizado que evalúe directamente la presencia de fisuras en modelos de losas de concreto, por lo que el uso de la norma americana ASTM C 1579 expresa de una forma sencilla la evaluación de fisuras en una representación de modelos físicos, las cuales simulan las losas de concreto, que pueden ser fabricados de diferentes materiales que eviten la absorción de agua, con lo que se evalúan los resultados de forma cuasi-real. Pero al tratarse de una norma americana se toma en consideración el hecho de que no es obligatoriamente necesario seguir el procedimiento paso a paso, sino como el investigador lo decida para el éxito de su investigación.

El objetivo de esta investigación es busca la proporción de adición optima de la fibra sintética de polipropileno que genere los mejores beneficios para el concreto con respecto a la presencia y formación de fisuras. Al descubrir la capacidad de reducir las fisuras no solo puede aumentar a vida útil de las estructuras, sino también reducir los costos de mantenimientos y reparación a lo largo del tiempo, lo cual serian temas de investigación en futuros artículos científicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Metodología

Teniendo de base lo que expresa Hernandez, Fernandez y Baptista[16], se determinó que la presente investigación es de tipo Aplicativa, ya que busca mejorar la propiedad plástica de la contracción del concreto convencional incorporando fibra sintética de polipropileno en dosificaciones de 500, 1000 y 2000 gr/m³ entre longitudes de 2 y 2.5 cm, para determinar la dosificación más optima. El enfoque es Cuantitativo ya que hace uso de parámetros de diseño del concreto ya establecidos por el "ACI-318" incorporándose un aditivo no convencional, como es la fibra sintética de polipropileno, y obteniendo datos a través de los resultados que nos brindará la fórmula de la norma ASTM C 1579.

La presente investigación busca analizar el comportamiento y progreso de la cantidad, espesor y longitud de fisuras que se presentan en los modelos físicos de losas, determinados y propuestos por la norma ASTM C 1579, la cual busca simular la creación de fisuras en el concreto. Para lo cual, se desarrollaron 4 diseños muestrales: MP (0 gr/m³), DM-01 (500 gr/m³), DM-02 (1000 gr/m³) y DM-03 (2000 gr/m³), de los cuales 3 de ellos fueron incorporados con Fibra Sintética de Polipropileno para ser comparados con el concreto patrón y determinar la dosificación más optima con los mejores beneficios constructivos.

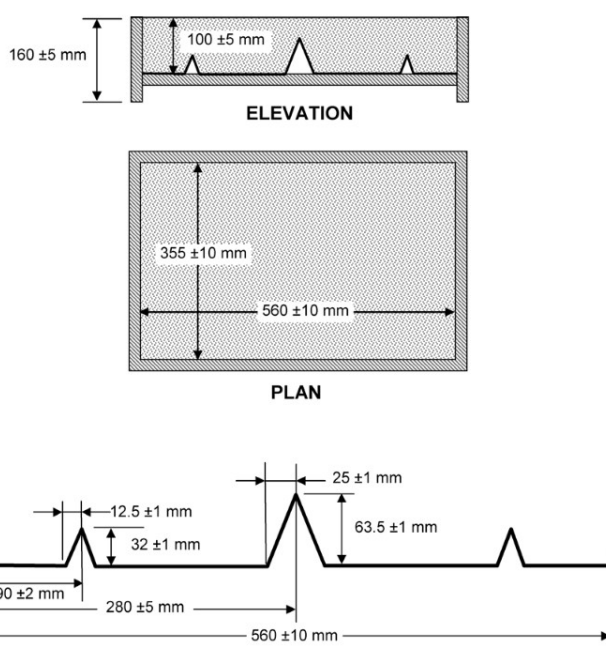


Figura 1. Dimensionamiento de encofrado para las muestras.

Dichos modelos físicos serán fabricados de un material que evite la absorción de agua.

Para obtener la dosificación más óptima se usará una fórmula propuesta en la norma ASTM C 1579 denominado “Relación de Reducción de Fisuras” que es directamente proporcional al concreto incorporado con fibra e inversamente proporcional al concreto patrón. Se desarrollaron gráficos comparativos de “Relación de Reducción de Fisuras Vs Dosificación de Fibra” de cada aspecto de las fisuras: cantidad, longitud y espesor, donde de evidenció en que dosificación se presentó el mayor beneficio posible para el concreto.

$$CRR = 1 - \frac{\text{Longitud de fisura de mezcla de concreto incorporando fibra}}{\text{Longitud de fisura del concreto sin la incorporación de fibra}} * 100 \dots \dots \dots (1)$$

Cantidad de Muestras y Materiales

Según lo que expresa Borja [17] la muestra es un subgrupo de la población, en consecuencia, de que pocas veces es poco posible medir a toda la población de forma correcta, por lo que dicho sub conjunto busca reflejar fielmente la población completa en estudio. Para este trabajo de investigación se desarrollaron un total de 20 muestras que representaron a la población de losas de concreto. Considerante los antecedentes de la investigación de determino que el Nivel de Confianza es de 90%, se tiene una Probabilidad de Éxito de 95% y un margen de error del 8%, llegando a la conclusión el número de muestras expresadas anteriormente.

$$n = \frac{Z^2 * p * (1-p)}{e^2} \dots \dots \dots (2)$$

Objeto Estudiado	Variable Independiente (% de Fibra)	# de modelos físicos de losas	Variable Dependiente (% de Fisuramiento)
Losas de concreto expuestas a fisuración	0 gr/m3	5	M1
	500 gr/m3	5	M2
	1000 gr/m3	5	M3
	2000 gr/m3	5	M4
Total =		20	

Tabla 1 . Tamaño de Muestra de la Investigación.

Se caracterizaron las propiedades de la fibra sintética de polipropileno con el fin de comprender mejor su comportamiento cuando se emplea en el concreto. Esta caracterización permite identificar sus propiedades físicas y mecánicas, tales como resistencia a la tracción, densidad, punto de fusión, absorción de agua y coeficiente de fricción, las cuales influyen en la capacidad del material para controla la aparición y propagación de fisuras.

PROPIEDADES	VALOR
Densidad	0.902 g/cm3
Resistencia a la Tracción	161.64 kg/cm2
Punto de Fusión	160 °C
Absorción de Agua (24hr)	<0.01%
Coeficiente de Fricción	0.26

Tabla 2. Caracterización de las Propiedades de la Fibra Sintética de Polipropileno.

Los materiales empleados en esta investigación fueron elegidos en función de las necesidades del investigador, con el objetivo de optimizar la ejecución del estudio. Se tomó en cuenta que el propósito de esta investigación es replicar y utilizar materiales comúnmente disponibles en el mercado local para la construcción de edificaciones en el sector.

Los moldes físicos se fabricaron con planchas de madera fenólica, siguiendo las especificaciones detalladas en la figura 1. Este material fue seleccionado debido a su capacidad para evitar la absorción de agua, lo cual es esencial para garantizar la calidad del encofrado en los moldes de las losas.



Figura 2. Fabricación de Modelo Físico de Losa.

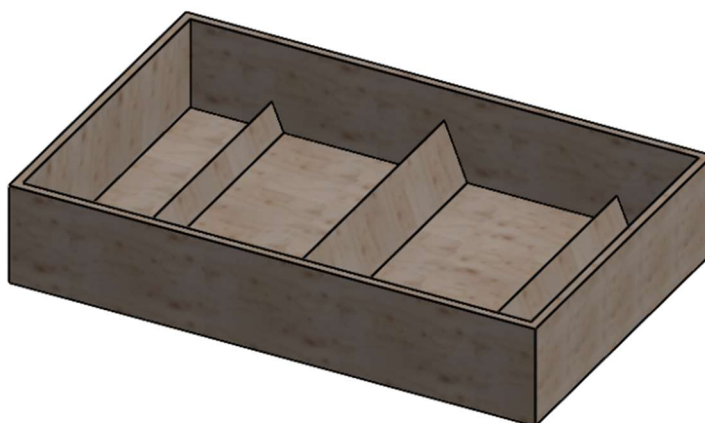


Figura 3. Modelo Físico de Losa Digitalizado.

Para la elaboración del concreto, se emplearon agregados grueso y fino provenientes de la cantera Yocará, los cuales fueron procesados y seleccionados. Este tipo de material es uno de los más comunes en la construcción de viviendas residenciales en la ciudad de Juliaca, lugar donde se llevó a cabo la investigación.

El material clave en este estudio es la fibra sintética de polipropileno, un componente necesario en el estudio debido a su fácil acceso para las personas y su viabilidad en el proceso constructivo de edificaciones. Esta fibra se adquirió en las tiendas de plásticos locales de Juliaca, donde se obtuvo la materia prima para su aplicación no convencional en el concreto utilizado en esta investigación.



Figura 4. Fibra Sintética de Polipropileno utilizado en la investigación.

Diseño de Mezcla utilizado

El diseño de mezcla utilizado en este estudio fue de 210 kg/cm² siendo desarrollado por los mismos investigadores, encargados del artículo, asegurando la integridad y veracidad de los resultados obtenidos al momento de su ejecución. Siendo estos respaldados por el Laboratorio de la Universidad Peruana Unión, el cual aseguro los resultados de todos los ensayos necesarios para la correcta ejecución de esta investigación.

Los materiales necesarios para el diseño fueron la piedra chancada y arena gruesa, de las cuales se desarrollaron ensayos de laboratorio para obtener las propiedades físicas necesarios para un diseño de concreto. Los ensayos realizados, según las normas ASTM para el diseño de mezcla, al agregado grueso y fino fueron: Análisis Granulométrico (ASTM C-136), Contenido de Humedad (ASTM D-2216), Peso Específico y Absorción (ASTM C-128) y Peso Unitario (ASTM C-29). Los resultados de dichos ensayos se expresan en la siguiente tabla de datos:

	Agregado Fino	Agregado Grueso
Peso Específico (gr/cm ³)	1.091	2.228
Peso Unitario Suelto (gr/cm ³)	1.313	1.257
Peso Unitario Compacto (gr/cm ³)	1.659	1.436
Absorción (%)	2.47%	2.89%
Contenido de Humedad (%)	3.20%	2.50%
Módulo de Fineza	2.98	6.52
Tamaño Máximo Nominal	---	1/2"

Tabla 3. Propiedades Físicas de los Agregados.

El cemento utilizado en el diseño de mezcla fue el RUMI TIPO IP, que es uno de los cementos comúnmente utilizado en el sector de la construcción de losas en viviendas por su bajo costo y buena eficiencia en zonas frías. Teniendo un peso específico de 2.8 gr/cm³ según la ficha técnica brindada por el distribuidor del material.

El diseño de mezcla 210 kg/cm² se elaboró según las indicaciones de la norma americana ACI 211.1 donde indica explícitamente los pasos a seguir para un correcto diseño del concreto. Obteniendo la siguiente dosificación requerida para la investigación:

DISEÑO DE MEZCLA	CEMENTO	DOSIFICACIÓN		
		AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	AGUA (lt/bols)
210 kg/cm ²	1.00	0.81	2.03	23.89

Tabla 4. Dosificación de Diseño de Mezcla 210 kg/cm².

Al momento de la preparación del concreto se desarrolló el ensayo de Asentamiento del Concreto (SLUMP) de acuerdo a la Norma ACTM C143 para comprobar la trabajabilidad del concreto diseñado.

MUESTRAS	PROPUESTO EN DISEÑO DE MEZCLA	OBTENDIDO
MP	3"-4"	4.00
MP	3"-4"	3.92
DM-01	3"-4"	3.47
DM-01	3"-4"	3.53
DM-02	3"-4"	3.41
DM-02	3"-4"	3.48
DM-03	3"-4"	3.65
DM-03	3"-4"	3.81

Tabla 5. Resultados de los ensayos de Asentamiento del Concreto (SLUMP).

Con el diseño de mezcla desarrollado, se realizó un total de 8 testigos para evaluar la resistencia a la compresión del concreto endurecido, las cuales fueron curadas a los 7 y 28 días, sumergidas en pozos de agua, siendo un ensayo necesario

para el control de calidad de los materiales constructivos utilizados. A continuación se muestra la tabla de resultados que se obtuvo de los ensayos realizados en el Laboratorio de Concreto de la Universidad Peruana Unión:

TESTIGO	DIMENSIONES (cm)		FECHA DE VACIADO	FECHA DE ENSAYO	EDAD (días)	AREA BRUTA (cm ²)	CARGA APLICADA (kgf)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)
	DIAMETRO	ALTO						
T-01	15.10	30.17	10-Feb	17-Feb	7	179.08	34360.00	191.87
T-02	14.90	29.71	10-Feb	17-Feb	7	174.37	35502.30	203.61
T-03	14.90	29.78	20-Ene	17-Feb	28	174.37	45921.40	263.36
T-04	15.15	30.44	20-Ene	17-Feb	28	180.27	45536.50	252.61
T-05	15.10	29.85	20-Ene	17-Feb	28	179.08	42369.10	236.59
T-06	15.10	30.25	20-Ene	17-Feb	28	179.08	41735.30	233.06
T-07	15.15	29.78	20-Ene	17-Feb	28	180.27	42434.50	235.40
T-08	15.15	30.00	20-Ene	17-Feb	28	180.27	43588.40	241.80

Tabla 6. Resultados de los ensayos de Resistencia a la Compresión.

Tomando como base el diseño de concreto, se estableció este como Concreto Patrón (MP) siendo la base de la investigación donde se incorporará Fibra Sintética de Polipropileno para obtener las siguientes dosificaciones:

- Muestra Patrón (MP)(0 g/m³)
- Diseño Muestral 01 (DM-01)(500 gr/m³)
- Diseño Muestral 02 (DM-02)(1000 gr/m³)
- Diseño Muestral 03 (DM-03)(2000 gr/m³)

FIBRA DE POLIPROPILENO NECESARIA PARA CADA MUESTRA			
DOSIFICACION (gr/m ³)	MUESTRA	VOLUMEN (m ³)	RAFIA NECESARIA (gr)
0 gr/m ³	M-01	0.0274 m ³	0.00 gr
	M-02	0.0274 m ³	0.00 gr
	M-03	0.0274 m ³	0.00 gr
	M-04	0.0274 m ³	0.00 gr
	M-05	0.0274 m ³	0.00 gr
	M-06	0.0274 m ³	13.68 gr
500 gr/m ³	M-07	0.0274 m ³	13.68 gr
	M-08	0.0274 m ³	13.68 gr
	M-09	0.0274 m ³	13.68 gr
	M-10	0.0274 m ³	13.68 gr
	M-11	0.0274 m ³	27.36 gr
	M-12	0.0274 m ³	27.36 gr
1000 gr/m ³	M-13	0.0274 m ³	27.36 gr
	M-14	0.0274 m ³	27.36 gr
	M-15	0.0274 m ³	27.36 gr
	M-16	0.0274 m ³	54.71 gr
	M-17	0.0274 m ³	54.71 gr
	M-18	0.0274 m ³	54.71 gr
2000 gr/m ³	M-19	0.0274 m ³	54.71 gr

M-20	0.0274 m3	54.71 gr
------	-----------	----------

Tabla 7. Peso incorporado de Fibra Sintética de Polipropileno al Concreto Patrón.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

En el Perú no existe una norma o guía específica que detalle o explique la medición de fisuras por contracción por secado en el concreto. Las NTP 399.022, NTP 399.013, NTP 399.011 y NTP 399.015 abordan de manera general las directrices para la evaluación de fisuras en el concreto, sin especificar en un método directo y sencillo.

Por esta razón, la presente investigación se apoya en la norma americana ASTM C1579. Esta norma se utilizó con el objetivo de proponer el uso de modelos físicos (ver figura 1), los cuales buscan representar de manera precisa las losas reales para fines de la investigación aplicada.

Simultaneo a la comprobación de un correcto diseño de mezcla, se realizó el vaciado de las 20 muestras de los modelos físicos de losas donde 5 losas fueron de la MP, 5 losas de la MP-01, 5 losas de la DM-02 y 5 losas de la DM-03.



Figura 5. Vaciado de las 20 muestras de los modelos físicos de de losas.

Después del vaciado, se continuó con un proceso de curado constante de las muestras, teniendo en cuenta que el objetivo era simular el curado real de las losas de concreto en las construcciones. Por lo tanto, la opción de sumergirlas en agua no era representativa de la realidad que se buscaba en la investigación. En consecuencia, se determinó que la mejor manera de curar las muestras de los modelos físicos de las losas era regar diariamente su superficie, complementado con una manta que ayudara a retener la humedad durante un período prolongado, asegurando que las muestras estuvieran en contacto constante con la humedad para un curado adecuado del concreto.



Figura 6. Curado de las muestras de los modelos físicos de losas.

Los datos sobre el número de fisuras, espesor y longitud se fueron recopilando a medida que avanzaba el tiempo de curado. Se estableció que los días 7, 14, 21, 28 y 35 después del vaciado eran los más adecuados para recolectar la información de las muestras, lo que permitía llevar un registro ordenado con evaluaciones cada 7 días tras el vaciado en 5 fechas establecidas.

Resultados de Muestras

Durante cada semana después del vaciado de las muestras se fueron recolectando datos que sustenten los resultados de esta investigación. Evaluando la aparición del número, espesor y/o longitud de fisuras que se presenten en las muestras a lo largo del tiempo de curado. Considerando el comportamiento y naturaleza de las fisuras se observó un comportamiento aleatorio en la aparición de fisuras, sin un patrón de aparición que pueda predecir la cantidad o el lugar donde se presenten.

Se utilizó un fisurómetro manual para poder medir el ancho y longitud de las fisuras de forma correcta, practica y eficiente.

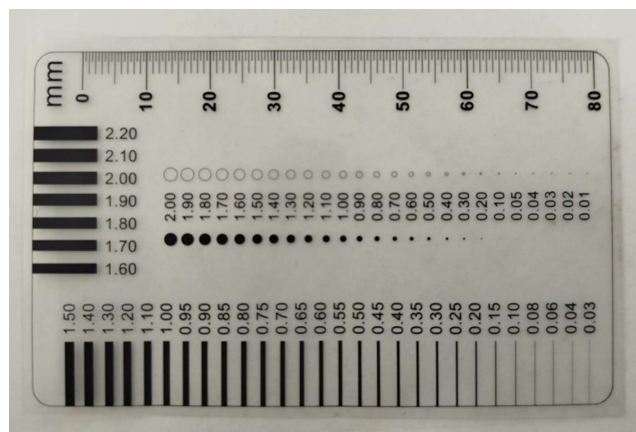


Figura 7. Fisurómetro manual utilizado para la medición del ancho y longitud de las fisuras.

Muchas de las fisuras analizadas empezaron siendo insignificantes, pero a lo largo del tiempo lograron desarrollarse enormemente logrando ser perjudicial para las losas de concreto. Muchas de las fisuras evaluadas en la última fecha fueron resultado de la unión de fisuras más pequeñas que lograron conectarse de forma lineal para desarrollar una fisura de tamaño significativo para las losas. Mientras que algunas fisuras lograron mantener su espesor y longitud a lo largo del tiempo de evaluación, una cierta cantidad logro desarrollarse aumentando sus dimensiones, siendo observables sin la necesidad del uso del fisurómetro.

A continuación, se muestra tablas de resultados de la evaluación visual donde se expresa numéricamente el proceso de aparición y crecimiento de las fisuras divididos en dosificaciones usadas en la investigación y expresadas anteriormente.

FISURAS	M-01		M-02		M-03		M-04		M-05		
	ESP. (mm)	LONG. (mm)	ESP. (mm)	LONG. (mm)	ESP. (mm)	LONG. (mm)	ESP. (mm)	LONG. (mm)	ESP. (mm)	LONG. (mm)	
7 DIAS	F-01	3.00	288.00	1.00	156.00	1.00	21.00	1.00	91.00	1.00	103.00
	F-02	---	---	1.00	24.00	2.00	95.00	2.00	59.00	2.00	62.00
	F-03	1.00	236.00	---	---	---	---	1.00	61.00	---	---
	F-04	2.00	256.00	---	---	---	---	---	---	---	---
	F-05	---	---	---	---	---	---	2.00	50.00	---	---
14 DIAS	F-01	3.00	303.00	1.00	169.00	3.00	55.00	2.00	106.00	3.00	128.00
	F-02	1.00	6.00	2.00	91.00	2.00	106.00	3.00	65.00	2.00	80.00
	F-03	1.00	302.00	1.00	21.00	1.00	4.00	2.00	87.00	1.00	24.00
	F-04	2.00	292.00	---	---	---	---	2.00	11.00	---	---
	F-05	1.00	11.00	1.00	19.00	---	---	3.00	66.00	1.00	18.00
	F-06	---	---	1.00	21.00	1.00	12.00	---	---	---	---

	F-07	---	---	1.00	20.00	---	---	---	---	---	---
	F-01	4.00	326.00	1.00	194.00	3.00	56.00	2.00	111.00	3.00	151.00
	F-02	3.00	11.00	2.00	98.00	2.00	135.00	4.00	89.00	3.00	91.00
	F-03	2.00	405.00	1.00	46.00	1.00	15.00	3.00	94.00	2.00	39.00
	F-04	2.00	320.00	1.00	22.00	1.00	15.00	2.00	22.00	1.00	8.00
21	F-05	2.00	33.00	1.00	34.00	1.00	11.00	3.00	78.00	1.00	31.00
DIAS	F-06	---	---	1.00	39.00	1.00	31.00	1.00	29.00	3.00	21.00
	F-07	---	---	2.00	41.00	1.00	15.00	1.00	6.00	---	---
	F-08	---	---	1.00	8.00	---	---	---	---	---	---
	F-09	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	F-10	---	---	1.00	40.00	---	---	---	---	---	---
	F-01	4.00	380.00	2.00	225.00	3.00	70.00	2.00	121.00	3.00	160.00
	F-02	3.00	19.00	2.00	118.00	3.00	151.00	4.00	110.00	3.00	109.00
	F-03	2.00	443.00	2.00	66.00	2.00	20.00	3.00	111.00	2.00	50.00
	F-04	2.00	341.00	2.00	36.00	2.00	29.00	2.00	38.00	2.00	14.00
28	F-05	3.00	45.00	1.00	51.00	1.00	22.00	3.00	91.00	2.00	44.00
DIAS	F-06	1.00	15.00	1.00	62.00	1.00	49.00	2.00	37.00	3.00	38.00
	F-07	---	---	2.00	53.00	1.00	22.00	1.00	19.00	2.00	11.00
	F-08	---	---	1.00	13.00	---	---	---	---	---	---
	F-09	---	---	1.00	9.00	---	---	---	---	---	---
	F-10	---	---	2.00	61.00	---	---	---	---	---	---
	F-01	4.00	385.00	2.00	230.00	3.00	75.00	2.00	125.00	3.00	162.00
	F-02	3.00	25.00	2.00	120.00	3.00	153.00	4.00	111.00	3.00	111.00
	F-03	2.00	450.00	2.00	70.00	2.00	23.00	3.00	115.00	2.00	50.00
	F-04	2.00	350.00	2.00	36.00	2.00	35.00	2.00	40.00	2.00	15.00
35	F-05	3.00	55.00	1.00	52.00	1.00	25.00	3.00	95.00	2.00	45.00
DIAS	F-06	1.00	18.00	1.00	68.00	1.00	50.00	2.00	40.00	3.00	40.00
	F-07	---	---	2.00	60.00	1.00	22.00	1.00	19.00	2.00	15.00
	F-08	---	---	1.00	15.00	---	---	---	---	---	---
	F-09	---	---	1.00	10.00	---	---	---	---	---	---
	F-10	---	---	2.00	65.00	---	---	---	---	---	---

Tabla 8. Recopilación de datos de las fisuras en las muestras de la Muestra Patrón (MP).

FISURAS		M-06		M-07		M-08		M-09		M-10	
		ESP. (mm)	LONG. (mm)	ESP. (mm)	LONG. (mm)	ESP. (mm)	LONG. (mm)	ESP. (mm)	LONG. (mm)	ESP. (mm)	LONG. (mm)
7 DIAS	F-01	3.00	325.00	---	---	1.00	72.00	1.00	151.00	---	---
	F-02	2.00	35.00	1.00	41.00	1.00	92.00	---	---	---	---
	F-03	---	---	1.00	199.00	1.00	119.00	1.00	159.00	2.00	130.00
	F-04	---	---	---	---	---	---	---	---	1.00	70.00
	F-05	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	F-06	1.00	60.00	---	---	---	---	---	---	---	---
F-01		3.00	339.00	1.00	65.00	2.00	80.00	2.00	161.00	1.00	46.00

14 DIAS	F-02	3.00	42.00	1.00	49.00	1.00	100.00	1.00	25.00	2.00	35.00
	F-03	1.00	11.00	1.00	209.00	1.00	127.00	1.00	165.00	2.00	138.00
	F-04	---	---	---	---	---	---	1.00	11.00	1.00	79.00
	F-05	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	F-06	1.00	68.00	---	---	---	---	---	---	---	---
	F-07	1.00	10.00	---	---	---	---	---	---	---	---
	F-08	1.00	28.00	---	---	---	---	---	---	---	---
21 DIAS	F-01	4.00	352.00	1.00	73.00	2.00	87.00	2.00	166.00	2.00	54.00
	F-02	3.00	49.00	1.00	60.00	2.00	108.00	2.00	33.00	2.00	41.00
	F-03	1.00	18.00	2.00	218.00	1.00	133.00	2.00	172.00	3.00	143.00
	F-04	1.00	10.00	1.00	62.00	---	---	1.00	19.00	1.00	87.00
	F-05	1.00	19.00	---	---	---	---	---	---	---	---
	F-06	1.00	77.00	---	---	---	---	---	---	---	---
	F-07	1.00	18.00	---	---	---	---	---	---	---	---
	F-08	1.00	35.00	---	---	---	---	---	---	---	---
28 DIAS	F-01	4.00	366.00	1.00	80.00	2.00	99.00	3.00	174.00	2.00	61.00
	F-02	3.00	62.00	1.00	86.00	2.00	115.00	2.00	41.00	2.00	50.00
	F-03	2.00	24.00	2.00	227.00	2.00	141.00	2.00	180.00	3.00	152.00
	F-04	1.00	15.00	1.00	71.00	---	---	2.00	24.00	1.00	94.00
	F-05	1.00	25.00	---	---	---	---	---	---	---	---
	F-06	2.00	86.00	---	---	---	---	---	---	---	---
	F-07	1.00	27.00	---	---	---	---	---	---	---	---
	F-08	1.00	43.00	---	---	---	---	---	---	---	---
35 DIAS	F-01	4.00	370.00	1.00	82.00	2.00	101.00	3.00	180.00	2.00	62.00
	F-02	3.00	60.00	1.00	89.00	2.00	117.00	2.00	42.00	2.00	52.00
	F-03	2.00	25.00	2.00	230.00	2.00	144.00	3.00	182.00	3.00	155.00
	F-04	1.00	20.00	1.00	74.00	---	---	2.00	25.00	1.00	95.00
	F-05	1.00	28.00	---	---	---	---	---	---	---	---
	F-06	2.00	90.00	---	---	---	---	---	---	---	---
	F-07	1.00	30.00	---	---	---	---	---	---	---	---
	F-08	1.00	45.00	---	---	---	---	---	---	---	---

Tabla 9. Recopilación de datos de las fisuras en las muestras del Diseño Muestral 01 (DM-01).

FISURAS	M-11		M-12		M-13		M-14		M-15		
	ESP. (mm)	LONG. (mm)	ESP. (mm)	LONG. (mm)	ESP. (mm)	LONG. (mm)	ESP. (mm)	LONG. (mm)	ESP. (mm)	LONG. (mm)	
7 DIAS	F-01	1.00	79.00	---	---	---	---	1.00	80.00	1.00	51.00
	F-02	---	---	---	---	---	---	1.00	165.00	1.00	57.00
	F-03	---	---	2.00	138.00	---	---	---	---	---	---
	F-04	1.00	118.00	1.00	119.00	0.00	---	---	---	1.00	58.00
	F-05	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	F-06	---	---	---	---	1.00	119.00	---	---	---	---
F-01	1.00	85.00	1.00	29.00	---	---	1.00	87.00	1.00	59.00	

14 DIAS	F-02	1.00	35.00	2.00	55.00	1.00	28.00	2.00	171.00	2.00	64.00
	F-03	1.00	44.00	2.00	143.00	2.00	75.00	---	---	1.00	48.00
	F-04	2.00	125.00	2.00	128.00	---	---	---	---	1.00	65.00
	F-05	1.00	27.00	---	---	1.00	49.00	---	---	---	---
	F-06	1.00	43.00	---	---	1.00	124.00	---	---	1.00	48.00
21 DIAS	F-01	2.00	94.00	1.00	36.00	1.00	12.00	2.00	95.00	2.00	67.00
	F-02	1.00	43.00	2.00	64.00	2.00	35.00	2.00	179.00	2.00	71.00
	F-03	1.00	50.00	3.00	152.00	3.00	81.00	1.00	17.00	1.00	53.00
	F-04	2.00	132.00	3.00	135.00	1.00	8.00	---	---	1.00	73.00
	F-05	1.00	33.00	---	---	2.00	58.00	---	---	1.00	19.00
	F-06	1.00	51.00	---	---	2.00	131.00	---	---	1.00	55.00
28 DIAS	F-01	2.00	103.00	1.00	44.00	1.00	22.00	2.00	101.00	2.00	74.00
	F-02	1.00	51.00	2.00	72.00	2.00	46.00	2.00	188.00	2.00	68.00
	F-03	1.00	59.00	3.00	161.00	3.00	90.00	1.00	25.00	2.00	61.00
	F-04	2.00	140.00	3.00	148.00	1.00	14.00	---	---	1.00	80.00
	F-05	1.00	41.00	---	---	2.00	67.00	---	---	2.00	27.00
	F-06	1.00	60.00	---	---	2.00	140.00	---	---	1.00	64.00
35 DIAS	F-01	2.00	105.00	1.00	45.00	1.00	24.00	2.00	103.00	2.00	75.00
	F-02	1.00	52.00	2.00	74.00	2.00	48.00	2.00	190.00	2.00	70.00
	F-03	1.00	61.00	3.00	164.00	3.00	93.00	1.00	26.00	2.00	63.00
	F-04	2.00	143.00	3.00	150.00	1.00	15.00	---	---	1.00	81.00
	F-05	1.00	42.00	---	---	2.00	69.00	---	---	2.00	30.00
	F-06	1.00	65.00	---	---	2.00	141.00	---	---	1.00	68.00

Tabla 10. Recopilación de datos de las fisuras en las muestras del Diseño Muestral 02 (DM-02).

FISURAS	M-16		M-17		M-18		M-19		M-20		
	ESP. (mm)	LONG. (mm)	ESP. (mm)	LONG. (mm)	ESP. (mm)	LONG. (mm)	ESP. (mm)	LONG. (mm)	ESP. (mm)	LONG. (mm)	
7 DIAS	F-01	---	---	---	---	---	2.00	138.00	2.00	145.00	
	F-02	---	---	---	---	---	3.00	158.00	---	---	
	F-03	---	---	1.00	76.00	---	---	---	---	---	
	F-04	3.00	58.00	1.00	199.00	---	---	---	1.00	84.00	
	F-05	3.00	169.00	---	---	---	---	---	---	---	
	F-06	---	---	---	---	1.00	82.00	---	---	---	---
14 DIAS	F-01	---	---	---	---	1.00	47.00	3.00	146.00	2.00	151.00
	F-02	2.00	75.00	1.00	30.00	---	---	3.00	165.00	1.00	40.00
	F-03	3.00	36.00	1.00	85.00	2.00	46.00	---	---	2.00	37.00
	F-04	3.00	64.00	2.00	208.00	2.00	41.00	---	---	1.00	91.00
	F-05	3.00	175.00	---	---	2.00	67.00	---	---	---	---
	F-06	---	---	---	---	2.00	90.00	---	---	---	---
21 DIAS	F-01	1.00	7.00	1.00	10.00	2.00	54.00	3.00	160.00	3.00	158.00
	F-02	3.00	82.00	1.00	36.00	1.00	17.00	4.00	180.00	2.00	47.00
	F-03	3.00	43.00	2.00	91.00	2.00	55.00	---	---	2.00	42.00

	F-04	4.00	71.00	2.00	211.00	3.00	49.00	---	---	2.00	97.00
	F-05	4.00	182.00	---	---	2.00	75.00	---	---	---	---
	F-06	---	---	---	---	3.00	98.00	---	---	---	---
28 DIAS	F-01	2.00	15.00	1.00	21.00	2.00	60.00	4.00	160.00	3.00	167.00
	F-02	3.00	91.00	1.00	42.00	1.00	25.00	4.00	180.00	3.00	53.00
	F-03	4.00	50.00	2.00	100.00	3.00	63.00	---	---	3.00	49.00
	F-04	4.00	80.00	2.00	220.00	3.00	57.00	---	---	2.00	104.00
	F-05	4.00	190.00	---	---	3.00	82.00	---	---	---	---
	F-06	---	---	---	---	3.00	109.00	---	---	---	---
35 DIAS	F-01	2.00	16.00	1.00	25.00	2.00	61.00	4.00	162.00	3.00	169.00
	F-02	3.00	95.00	1.00	45.00	1.00	28.00	4.00	181.00	3.00	55.00
	F-03	4.00	52.00	2.00	103.00	3.00	65.00	---	---	3.00	53.00
	F-04	4.00	81.00	2.00	222.00	3.00	60.00	---	---	2.00	109.00
	F-05	4.00	193.00	---	---	3.00	84.00	---	---	---	---
	F-06	---	---	---	---	3.00	110.00	---	---	---	---

Tabla 11. Recopilación de datos de las fisuras en las muestras del Diseño Muestral 03 (DM-03).

Mediante la recopilación de datos se identificó que el espesor que se presentaban en las fisuras tenía un patrón constante en su presencia en las losas de concreto. Por lo que mediante una evaluación de parte de los investigadores se determinó que es conveniente identificar un modo de clasificar la peligrosidad de las fisuras presentes en las losas. Teniendo como base los espesores encontrados de las fisuras se desarrolló la siguiente tabla de clasificación, con el objetivo de que se entienda el rango de peligro y la importancia de las fisuras en las losas de concreto de una forma teórica y de observación visual.

ESPESOR (mm)	CLASIFICACIÓN: RIESGO	INTERPRETACIÓN
1	Bajo	Espesor casi imperceptible visualmente, puede ser ignorado en esta etapa, pero debe ser resuelto en un futuro para evitar daños graves.
2	Medio-Bajo	Espesor apenas notable visualmente, se recomienda no ser ignorado, debe ser resuelto a mediano plazo para evitar daños graves.
3	Medio-Alto	Espesor notable visualmente, no puede ser ignorado, se debe resolver en un corto plazo para evitar que sea un peligro a la integridad estructural.
4	Alto	Espesor muy notable visualmente, nunca debe ser ignorado, debe ser resuelto inmediatamente ya que presenta un peligro a la integridad estructural en ese momento de la evaluación.

Tabla 12. Clasificación de peligrosidad de las fisuras en los modelos físicos de las losas de concreto (para esta investigación).

Los datos, de la investigación, fueron obtenidos en 5 fechas distintas después del vaciado, para observar el crecimiento de las fisuras, el espesor y la longitud, por lo que se analizará independientemente los datos de cada fecha e identificar cuando se presentó los mayores beneficios para las losas de concreto.

Análisis Estadístico

En esta investigación se utilizó un total de 4 pruebas estadísticas con el objetivo de analizar y expresar las relaciones y la significancia de los datos recolectados en las muestras. Las pruebas estadísticas ayudaran a comprender los niveles de significancia en cada muestra analizada para facilitar un análisis técnico consecuente.

En esta investigación se utilizó el Software SPSS Versión 30.0.0 (Statistical Package for the Social Sciencies) para realizar todas las pruebas estadísticas de los datos cuantitativos obtenidos durante la investigación.

Las pruebas estadísticas utilizadas fueron las siguientes:

Estadísticos Descriptivos

En análisis de datos estadísticos descriptivos permite determinar el número de datos, el máximo, el mínimo, la media y la desviación estándar necesarias para comprender la naturaleza de los datos cuantitativos recopilados en las diferentes fechas.

Este análisis es resulta fundamental para obtener una perspectiva general de los datos y sentar una base firme que facilite la exploración de las relaciones entre los diseños muestrales propuesto para esta investigación[18].

Fecha	Muestra		N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Estándar
7 días	MP	Espesor	13	1.00	3.00	1.5385	0.66023
		Longitud	13	21.00	288.00	123.2308	104.39281
	DM-01	Espesor	12	1.00	3.00	1.3333	0.65134
		Longitud	12	35.00	325.00	121.0833	81.73623
	DM-02	Espesor	10	1.00	2.00	1.1000	0.31623
		Longitud	10	51.00	165.00	98.4000	38.79347
	DM-03	Espesor	9	1.00	3.00	1.88	0.92796
		Longitud	9	58.00	199.00	123.2222	49.32235
14 días	MP	Espesor	24	1.00	3.00	1.6667	0.81650
		Longitud	24	4.00	303.00	84.0417	93.95164
	DM-01	Espesor	20	1.00	3.00	1.4000	0.68056
		Longitud	20	10.00	339.00	89.4000	82.02079
	DM-02	Espesor	21	1.00	2.00	1.3333	0.48305
		Longitud	21	27.00	171.00	72.9524	41.79172
	DM-03	Espesor	18	1.00	3.00	2.0000	0.76696
		Longitud	18	30.00	208.00	88.5556	55.86772
21 días	MP	Espesor	34	1.00	4.00	1.8529	0.95766
		Longitud	34	6.00	405.00	78.3824	97.63786
	DM-01	Espesor	23	1.00	4.00	1.6522	0.83168
		Longitud	23	10.00	352.00	88.4348	80.65517
	DM-02	Espesor	25	1.00	3.00	1.6400	0.70000
		Longitud	25	8.00	179.00	69.7600	45.77416
	DM-03	Espesor	21	1.00	4.00	2.3810	0.97346
		Longitud	21	7.00	211.00	84.0476	60.35187
28 días	MP	Espesor	37	1.00	4.00	2.1081	0.84274
		Longitud	37	9.00	443.00	87.9189	103.20863
	DM-01	Espesor	23	1.00	4.00	1.8696	0.81488
		Longitud	23	15.00	366.00	96.6522	81.92824
	DM-02	Espesor	25	1.00	3.00	1.7200	0.67823
		Longitud	25	14.00	188.00	78.2400	46.16120
	DM-03	Espesor	21	1.00	4.00	2.7143	1.00712
		Longitud	21	16.00	222.00	93.7619	59.36658
35 días	MP	Espesor	37	1.00	4.00	2.1081	0.84274
		Longitud	37	10.00	450.00	91.2162	104.29822
	DM-01	Espesor	23	1.00	4.00	1.9130	0.84816
		Longitud	23	20.00	370.00	99.9130	82.26670
	DM-02	Espesor	25	1.00	3.00	1.7200	0.67823
		Longitud	25	15.00	190.00	79.8800	46.37916
	DM-03	Espesor	21	1.00	4.00	2.7143	1.00712
		Longitud	21	16.00	222.00	93.7619	59.36658

Tabla 13. Principales características de espesor y longitud de los diseños muestrales en las diferentes edades del concreto.

El análisis estadístico descriptivo permitió identificar los valores máximos y mínimos de los espesores y longitudes de fisuras. Se encontró que el espesor mínimo registrado en las muestras fue de 1 mm, mientras que el máximo alcanzó 4 mm, valores que estuvieron presentes en todas las muestras analizadas. Por otro lado, la longitud mínima de fisuras fue de 4 mm, y la máxima llegó a 450 mm, considerando las cinco fechas de medición.

Este comportamiento indica que las fisuras han crecido a lo largo del tiempo de forma irregular y sin un patrón predecible.

Asimismo, poniendo como ejemplo la MP se observó que la media del espesor de fisuras evolucionó de la siguiente manera:

- Día 7: 1.5385 mm
- Día 14: 1.6667 mm
- Día 21: 1.8529 mm
- Día 28: 2.1081 mm
- Día 35: 2.1081 mm

Estos valores sugieren un aumento progresivo en el espesor de fisuras con el tiempo.

Por otro lado, la media de longitudes de fisuras en la MP presentó la siguiente variación:

- Día 7: 123.2308 mm
- Día 14: 84.0417 mm
- Día 21: 78.3824 mm
- Día 28: 87.9189 mm
- Día 35: 91.2162 mm

Inicialmente, se registraron fisuras relativamente grandes, reflejadas en valores altos de longitud media. Sin embargo, con el paso del tiempo, comenzaron a aparecer fisuras más pequeñas, lo que modificó la media de longitudes. Este comportamiento sugiere que, aunque las fisuras siguen apareciendo, su distribución cambia con el tiempo.

Este ejemplo sugiere y expresa, como en los otros diseños muestrales, que la media de espesores y longitudes no sigue un crecimiento progresivo, sino más bien se adaptan a la aparición de nuevas fisuras presentes en las muestras a lo largo del tiempo de medición.

Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk)

La prueba estadística Shapiro-Wilk permite evaluar un conjunto de datos mediante la interpretación de, “ $p_valor > 0.05$ ” aceptando la hipótesis nula e indica una distribución normal de los datos y “ $p_valor < 0.05$ ” rechazando la hipótesis nula y expresa que los datos no siguen una distribución normal[17].

A continuación, se muestran los resultados de la prueba estadística de Shapiro-Wilk de los diseños muestrales analizados en las diferentes fechas de medición, siendo analizado cada fecha independientemente de las demás.

Fecha	Muestra	Estadístico	gl	Shapiro - Wilk		
				Sig.	Condición	
7 días	Espesor	MP	0.750	13	0.002	No Sigue Distribución Normal
		DM-01	0.592	12	<0.001	No Sigue Distribución Normal
		DM-02	0.366	10	<0.001	No Sigue Distribución Normal
		DM-03	0.780	9	0.012	No Sigue Distribución Normal
	Longitud	MP	0.829	13	0.015	No Sigue Distribución Normal
		DM-01	0.875	12	0.076	Sigue Distribución Normal
		DM-02	0.919	10	0.348	Sigue Distribución Normal
		DM-03	0.923	9	0.417	Sigue Distribución Normal
14 días	Espesor	MP	0.736	24	<0.001	No Sigue Distribución Normal
		DM-01	0.631	20	<0.001	No Sigue Distribución Normal
		DM-02	0.599	21	<0.001	No Sigue Distribución Normal
		DM-03	0.818	18	0.003	No Sigue Distribución Normal
	Longitud	MP	0.764	24	<0.001	No Sigue Distribución Normal
		DM-01	0.840	20	0.004	No Sigue Distribución Normal
		DM-02	0.880	21	0.015	No Sigue Distribución Normal
		DM-03	0.864	18	0.014	No Sigue Distribución Normal
21 días	Espesor	MP	0.802	34	<0.001	No Sigue Distribución Normal
		DM-01	0.757	23	<0.001	No Sigue Distribución Normal
		DM-02	0.767	25	<0.001	No Sigue Distribución Normal
		DM-03	0.886	21	0.019	No Sigue Distribución Normal
	Longitud	MP	0.697	34	<0.001	No Sigue Distribución Normal
		DM-01	0.821	23	<0.001	No Sigue Distribución Normal
		DM-02	0.926	25	0.072	Sigue Distribución Normal
		DM-03	0.902	21	0.038	No Sigue Distribución Normal
28 días	Espesor	MP	0.860	37	<0.001	No Sigue Distribución Normal
		DM-01	0.823	23	<0.001	No Sigue Distribución Normal
		DM-02	0.785	25	<0.001	No Sigue Distribución Normal
		DM-03	0.877	21	0.013	No Sigue Distribución Normal
	Longitud	MP	0.697	37	<0.001	No Sigue Distribución Normal

35 días		DM-01	0.824	23	<0.001	No Sigue Distribución Normal
		DM-02	0.925	25	0.068	Sigue Distribución Normal
		DM-03	0.911	21	0.058	Sigue Distribución Normal
	Espesor	MP	0.860	37	<0.001	No Sigue Distribución Normal
		DM-01	0.840	23	0.002	No Sigue Distribución Normal
		DM-02	0.785	25	<0.001	No Sigue Distribución Normal
	Longitud	DM-03	0.877	21	0.013	No Sigue Distribución Normal
		MP	0.698	37	<0.001	No Sigue Distribución Normal
		DM-01	0.825	23	0.001	No Sigue Distribución Normal
		DM-02	0.922	25	0.057	Sigue Distribución Normal
		DM-03	0.911	21	0.058	Sigue Distribución Normal

Tabla 14. Prueba de Distribución Normal (Shapiro - Wilk) en las diferentes edades del concreto.

Al aplicar la prueba estadística de Shapiro-Wilk, se identificó que las variables de espesor y longitud de fisuras en los distintos diseños muestrales (MP, DM-01, DM-02 y DM-03) y en diferentes edades del concreto (7, 14, 21, 28 y 35 días) presentaron, en la mayoría de los casos, “p_valor < 0.05”, lo que implica que no siguen una distribución normal. Sin embargo, se observó que la longitud de fisuras sí sigue una distribución normal en DM-01 (p_valor = 0.076), DM-02 (p_valor = 0.348) y DM-03 (p_valor = 0.417) a los 7 días; en DM-02 (p_valor = 0.072) a los 21 días; en DM-02 (p_valor = 0.068) y DM-03 (p_valor = 0.058) a los 28 días; y en DM-02 (p_valor = 0.057) y DM-03 (p_valor = 0.058) a los 35 días. Dado que las pruebas paramétricas, como ANOVA, requieren el cumplimiento de este supuesto en su totalidad y la mayoría de los datos no lo cumplen, se optó por el uso de pruebas no paramétricas. Para comparar los cuatro diseños muestrales en cada edad del concreto, se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis y, en caso de encontrar diferencias significativas, se aplicó la prueba U de Mann-Whitney para comparaciones por pares. Este enfoque asegura un análisis estadístico adecuado y confiable para interpretar el efecto de la fibra sintética de polipropileno en la fisuración del concreto.

Prueba Estadística de Kruskal-Wallis

Dado que la prueba de normalidad indicó que no todos los datos presentan una distribución normal, el uso de la prueba ANOVA no es adecuado para esta investigación. En su lugar, se optó por la prueba estadística de Kruskal-Wallis, ya que es más flexible y apropiada cuando el supuesto de normalidad no se cumple en al menos uno de los grupos analizados.

Fecha		Muestra		Kruskal-Wallis		
				H de Kruskal-Wallis	gl	Sig.
7 días	MP, DM-01, DM-02 Y DM-03	Espesor		6.121	3	0.102
		Longitud		1.384	3	0.709
14 días	MP, DM-01, DM-02 Y DM-03	Espesor		9.537	3	0.023
		Longitud		1.945	3	0.584
21 días	MP, DM-01, DM-02 Y DM-03	Espesor		8.872	3	0.031
		Longitud		3.313	3	0.346
28 días	MP, DM-01, DM-02 Y DM-03	Espesor		14.172	3	0.003
		Longitud		3.800	3	0.284
35 días	MP, DM-01, DM-02 Y DM-03	Espesor		13.590	3	0.004
		Longitud		3.066	3	0.382

Tabla 15. Prueba Estadística de Kruskal-Wallis en las diferentes edades del concreto.

Los resultados de la prueba de Kruskal-Wallis mostraron que a los 7 días no existen diferencias significativas en el espesor ni en la longitud de las fisuras entre los distintos diseños muestrales. Sin embargo, a medida que avanza el tiempo, comienzan a aparecer diferencias en el espesor de fisuras, siendo significativas a los 14 días (p_valor = 0.023), 21 días (p_valor = 0.031), 28 días (p_valor = 0.003) y 35 días (p_valor = 0.004). Esto sugiere que el efecto del diseño muestral sobre el espesor de las fisuras se vuelve más evidente con el tiempo y uno de los diseños muestrales es diferente a otro.

Por otro lado, aunque la longitud de fisuras no presentó diferencias significativas según la prueba estadística de Kruskal-Wallis, se aplica la prueba U de Mann-Whitney para verificar si al menos existe una pequeña diferencia entre cada diseño muestral (DM-01, DM-02 y DM-03) y el concreto patrón (MP). Para identificar esto, se analizará el valor de significancia (p_valor) de la prueba, donde un “p_valor<0.05” indicará una diferencia estadísticamente significativa entre los grupos

comparados, mientras que valores cercanos a 0.05 podrían sugerir tendencias o pequeñas diferencias que podrían ser relevantes para la investigación.

Prueba Estadística U de Mann-Whitney

Al determinar, mediante la prueba estadística de Kruskal-Wallis, que existe una diferencia significativa entre al menos dos de los diseños muestrales, se optó por aplicar la prueba U de Mann-Whitney, una prueba no paramétrica utilizada para comparar cada diseño muestral (DM-01, DM-02 y DM-03) con la muestra patrón (MP). El objetivo es identificar qué diseño muestral presenta diferencias significativas en relación con la muestra patrón.

Fecha	Muestra		U de Mann-Whitney		
			U de Mann-Whitney	Z	Sig.
7 días	MP vs DM-01	Espesor	63.000	-0.964	0.335
		Longitud	70.000	-0.435	0.689
	MP vs DM-02	Espesor	41.000	-1.851	0.148
		Longitud	63.000	-0.124	0.927
	MP vs DM-03	Espesor	46.500	-0.875	0.382
		Longitud	48.000	-0.701	0.483
14 días	MP vs DM-01	Espesor	198.000	-1.140	0.254
		Longitud	210.000	-0.707	0.479
	MP vs DM-02	Espesor	203.000	-1.280	0.201
		Longitud	214.000	-0.865	0.387
	MP vs DM-03	Espesor	164.000	-1.416	0.157
		Longitud	165.500	-1.284	0.199
21 días	MP vs DM-01	Espesor	350.000	-0.723	0.470
		Longitud	313.000	-1.269	0.204
	MP vs DM-02	Espesor	386.500	-0.639	0.523
		Longitud	347.500	-1.189	0.234
	MP vs DM-03	Espesor	248.000	-1.981	0.048
		Longitud	267.000	-1.559	0.119
28 días	MP vs DM-01	Espesor	356.000	-1.134	0.257
		Longitud	336.500	-1.353	0.176
	MP vs DM-02	Espesor	346.500	-1.793	0.073
		Longitud	379.000	-1.198	0.231
	MP vs DM-03	Espesor	252.000	-2.315	0.021
		Longitud	287.500	-1.634	0.102
35 días	MP vs DM-01	Espesor	369.000	-0.918	0.359
		Longitud	339.000	-1.308	0.191
	MP vs DM-02	Espesor	346.500	-1.793	0.073
		Longitud	387.500	-1.077	0.282
	MP vs DM-03	Espesor	252.000	-2.315	0.021
		Longitud	300.500	-1.424	0.154

Tabla 16. Prueba estadística U de Mann-Whitney en las diferentes edades del concreto.

Los resultados de la prueba de U de Mann-Whitney muestran que, en general, no hay diferencias estadísticamente significativas en el espesor y la longitud de fisuras entre el concreto patrón (MP) y los diseños muestrales (DM-01, DM-02 y DM-03) en la mayoría de los días analizados, ya que los valores de p son mayores a 0.05. Sin embargo, se observa que el espesor de DM-02 en los días 28 ($p_{\text{valor}} = 0.073$) y 35 ($p_{\text{valor}} = 0.073$) muestra una tendencia hacia la significancia, lo que sugiere una posible reducción en el espesor de fisuras con la adición de fibras. Además, en DM-03, el espesor presenta diferencias significativas en los días 21 ($p_{\text{valor}} = 0.048$), 28 ($p_{\text{valor}} = 0.021$) y 35 ($p_{\text{valor}} = 0.021$), lo que indica que la adición de fibra en este diseño podría tener un efecto relevante en la reducción del espesor de fisuras. En cuanto a la longitud, no se encontraron diferencias significativas en ninguno de los días evaluados, lo que sugiere que la fibra sintética de polipropileno puede influir más en la reducción del espesor de las fisuras que en su longitud. No obstante, aunque el ensayo estadístico no muestra una diferencia significativa, pero esto no implica que no haya una reducción en la longitud y el espesor de las fisuras. Por ello, se desarrollará un análisis técnico de los datos para corroborar los resultados estadísticos y determinar un porcentaje exacto de reducción, complementando los ensayos estadísticos para un mejor entendimiento de la reducción de fisuras en losas de concreto.

Análisis Técnico

Basándose en el análisis estadístico de los datos recopilados durante la etapa de ejecución, se busca determinar la dosificación óptima de fibra sintética de polipropileno en losas de concreto. Para ello, se realizará un análisis técnico de la información obtenida en cada etapa de curado, con el fin de comprender el proceso de formación de fisuras. Sin embargo, dado que en la prueba U de Mann-Whitney se evidenció una diferencia significativa entre la Muestra Patrón (MP) y los Diseños Muestrales (DM-01, DM-02 y DM-03) a los 28 y 35 días, se ha decidido que la identificación de la dosificación óptima se realice con los datos correspondientes a los 28 días. Esto se debe a que, en esta etapa, el concreto completa su proceso de curado y alcanza su resistencia máxima, lo que resulta más beneficioso para la investigación.

Desarrollo de las Fisuras

Las fisuras se desarrollan durante la etapa de curado del concreto, permitiendo su identificación a través de la observación visual de su crecimiento. Su aparición está relacionada con los procesos de dilatación y contracción del material, manifestándose principalmente en áreas donde el espesor del concreto es menor. El registro de datos en las cinco fechas de curado permitió analizar de manera progresiva la formación y evolución de las fisuras, como se detalla en los siguientes tres gráficos (Tiempo vs Espesor, Longitud y Fisuras).

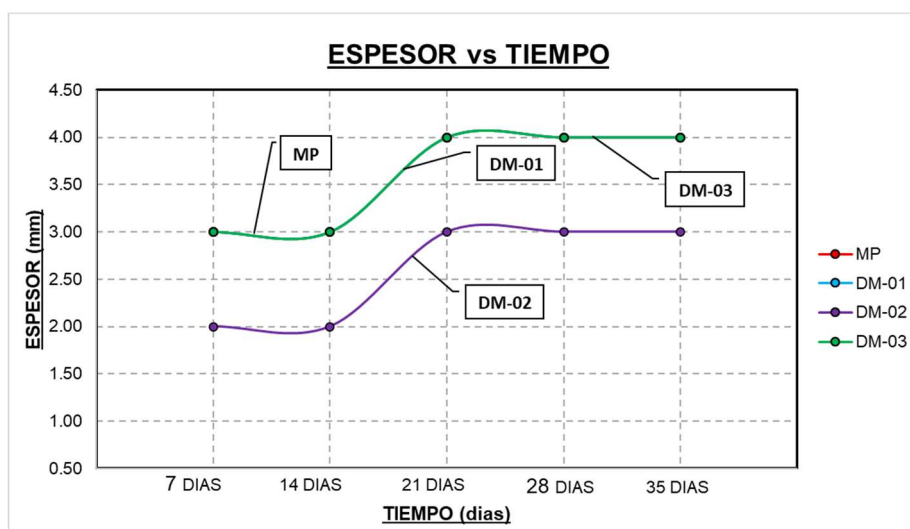


Figura 8. Gráfico Espesor vs Tiempo de Curado.

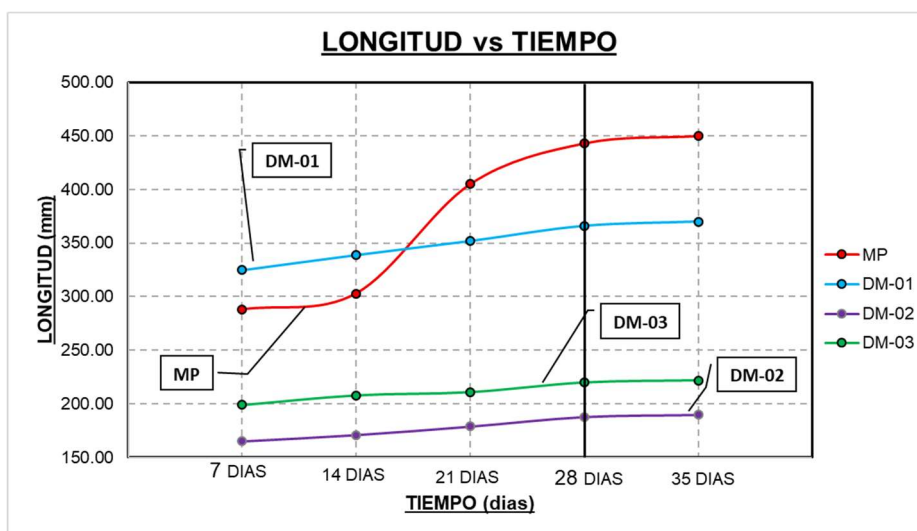


Figura 9. Gráfico Longitud vs Tiempo de Curado.

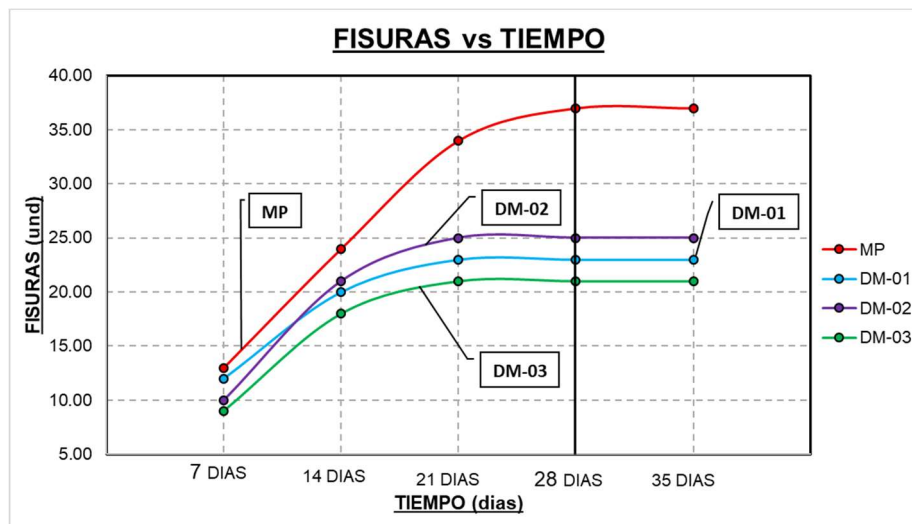


Figura 10. Gráfico Fisuras vs Tiempo de Curado.

Las tres gráficas ilustran el proceso de aparición y crecimiento de fisuras a lo largo del periodo de curado, permitiendo comprender el comportamiento de la formación de estas en las losas de concreto simuladas. Las figuras 8 y 9 presentan los máximos de los datos correspondientes a MP, DM-01, DM-02 y DM-03, por lo que los valores de espesor y longitud mostrados en los gráficos están determinados por el valor máximo de los datos de las fisuras y sus respectivas dimensiones en las fechas de toma de datos. Por otra parte, la figura 10 expone la relación entre el número de fisuras y el tiempo de curado, evidenciando de manera clara el patrón de aparición y evolución de las fisuras en los modelos físicos de las losas de concreto.

El desarrollo de estos gráficos se realiza con el objetivo de identificar la diferencia porcentual de crecimiento y/o aparición de espesor, longitud y fisuras en los modelos físicos de losas de concreto.

La figura 8 y 9 presenta los gráficos de relación entre el espesor y longitud promedio de las fisuras, y el tiempo de curado para los distintos diseños muestrales, considerando los días 7, 14, 21, 28 y 35. A partir de estos datos, se elaboró una tabla con las variaciones porcentuales del espesor y longitud entre cada una de las fechas.

DISEÑO MUESTRAL	FISURA	VARIACIÓN (%)			
		7 días - 14 días	14 días - 21 días	21 días - 28 días	28 días - 35 días
MP	Espesor	11.04%	8.46%	13.77%	0.00%
	Longitud	-27.26%	-6.73%	12.17%	3.75%
DM-01	Espesor	5.00%	18.01%	13.16%	2.33%
	Longitud	-26.17%	-1.08%	10.28%	2.45%
DM-02	Espesor	21.21%	23.00%	4.88%	0.00%
	Longitud	-25.86%	-4.38%	11.58%	2.62%
DM-03	Espesor	5.88%	19.05%	14.00%	0.00%
	Longitud	-28.13%	-5.09%	8.67%	2.66%

Tabla 17. Variación porcentual del espesor y longitud promedio de las fisuras.

La tabla indica que entre los días 21 y 28, los modelos físicos presentan su última formación significativa de fisuras en cuanto a la variable de espesor, con un rango de variación que va desde un mínimo del 4.88% en el DM-02 hasta un máximo del 13.77% en la MP. En cambio, entre los días 28 y 35, período correspondiente a la etapa post-curado, las variaciones en el espesor no superan el 3%, lo cual no representa un incremento relevante.

Al analizar la variable de longitud en los modelos físicos, se observa que entre los días 7–14 y 14–21 las variaciones porcentuales son negativas. Sin embargo, esto no implica que las longitudes de las fisuras estén disminuyendo. En realidad, refleja la aparición de nuevas fisuras con longitudes pequeñas, lo cual altera significativamente el promedio de cada Diseño Muestral. Este comportamiento pone en evidencia un patrón de formación de fisuras errático y aleatorio, que no sigue una tendencia definida ni responde a las medidas de control implementadas para su prevención.

No obstante, entre los días 21 – 28, la aparición de nuevas fisuras comienza a cesar, concentrándose únicamente en el crecimiento espontáneo de las ya existentes. Para el periodo de 28 – 35 días, este crecimiento se reduce aún más, alcanzando un máximo de solo 3.75% en la MP, lo que representa un incremento relativamente bajo en comparación con las muestras evaluadas.

Este análisis nos ayuda a entender el proceso de formación y crecimiento de las fisuras, en los modelos físicos, de manera fácil. Así mismo, se identifica que en el día 28 las fisuras dejan de tener un crecimiento progresivo y empiezan a desarrollar una estabilidad, manteniendo las mismas dimensiones o en su defecto teniendo un crecimiento menor al 4% lo que implica una tendencia a la estabilización de la formación y crecimiento de las fisuras.

La figura 9 presenta un histograma que muestra la cantidad de fisuras registradas en cada uno de los días de toma de datos. Los valores reflejan el número de fisuras observadas en los moldes físicos correspondientes a cada diseño muestral, permitiendo visualizar cómo varía la presencia de fisuras a lo largo del tiempo evaluado, así como identificar el punto en el que estas comienzan a estabilizarse o dejan de aparecer por completo.

El objetivo de esta investigación es determinar la incorporación de fibra sintética de polipropileno más optima, por lo que los gráficos de las figuras 7, 8 y 9 nos muestran en primera instancia y de forma visual cuales diseños muestrales pueden cumplir esta exigencia de la investigación.

Teniendo en consideración que la MP es la base de la investigación, representada por la línea roja en cada una de las gráficas, se tiene las siguientes interpretaciones:

- Primero, en la figura 7 solo el DM-01 y DM-02 logran tener valores promedio de los datos, en cada fecha, inferiores a la MP, lo representa la presencia de fisuras con espesores menores en dichos Diseños Muestrales. Mientras que el DM-03 presenta valores superiores a la MP lo que se considera la presencia de espesores mayores en el diseño muestral.
- Segundo, en la figura 8 únicamente el DM-02 expresa longitudes menores a las encontradas en la MP lo que es una ventaja para el diseño muestral. Por otro lado, el DM-01 y DM-03 muestran valores con longitudes superiores a la MP por lo que se interpreta como una desventaja para los diseños muestrales.
- Tercero, en la figura 9 todos los datos de los diseños muestrales (DM-01, DM-02 y DM-03) son inferiores a la MP por lo que la cantidad de fisuras en los diseños muestrales (DM-01, DM-02 y DM-03) es mucho menor y dejan de aparecer a 21 días después del vaciado.

Relación de Reducción de Fisuras (CRR)

La norma americana ASTM C 1579 nos muestra la formula (1) el cual brinda una forma de identificar la reducción de fisuras en muestras parcial o totalmente controladas, teniendo como dato dependiente el promedio de espesor, longitud y/o número de fisuras de la MP y cada diseño muestral (DM-01, DM-02 y DM-03) para brindar la reducción de fisuras en forma porcentual.

Aplicando la formula (1) relacionando cada diseño muestral (DM-01, DM-02 y DM-03) y la MP, en cada fecha de toma de datos, se logró desarrollar los gráficos identificando los porcentajes correspondientes.

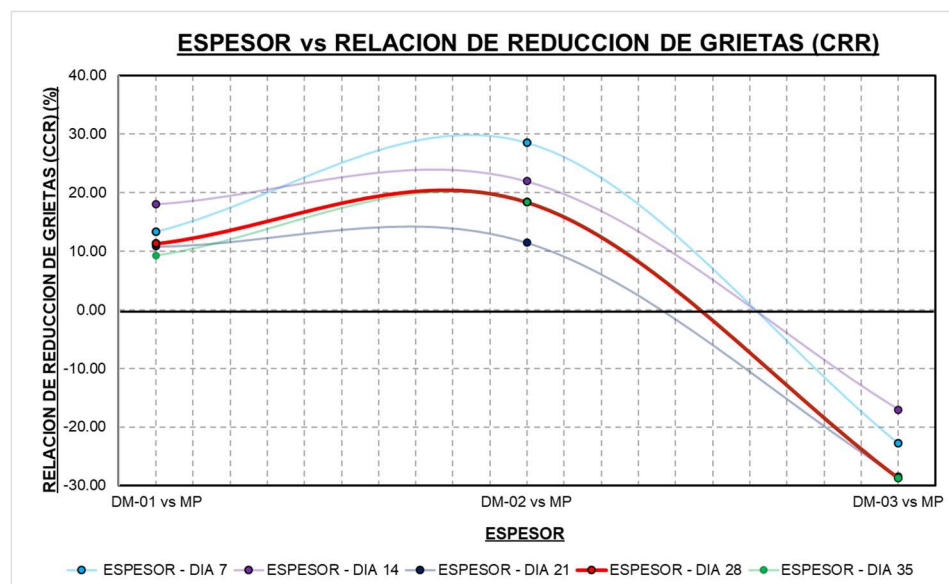


Figura 11. Relación de Reducción de Fisuras (Espesor).

La Figura 11 ilustra una gráfica que muestra la relación de reducción de fisuras (CRR) en el espesor frente a su respectivo porcentaje de disminución para cada diseño muestral comparado con la muestra patrón (DM-01 vs MP, DM-02 vs MP y DM-03 vs MP). Cada línea corresponde a una fecha específica de recolección de datos tras el vaciado, lo que explica que cada comparación presenta un comportamiento distinto. Sin embargo, todas siguen una tendencia similar de reducción, en su propia comparación, en cada fecha analizada.

Como se mencionó previamente, al analizar los datos correspondientes a los 28 días (línea roja), se observa que las comparaciones entre (DM-01 vs MP), así como entre (DM-02 vs MP), muestran reducciones en el espesor de las fisuras del 11.32% y 18.41%, respectivamente. Sin embargo, la comparación entre (DM-03 vs MP) no demuestra una disminución, sino un incremento del 28.75% en el espesor de las fisuras. Este aumento representa una clara desventaja que debe ser considerada al incorporar esta dosificación en el concreto.

Al analizar los resultados centrados únicamente en la variable de espesor, se entiende que el diseño DM-03 no contribuye a la reducción del espesor de las fisuras en el concreto, por lo que no aporta beneficios significativos al ser incorporado en el concreto. En cambio, los diseños DM-01 y DM-02 sí generan una disminución en el espesor de las fisuras, destacando DM-02 por lograr la mayor reducción, con un CRR del 18.41%.

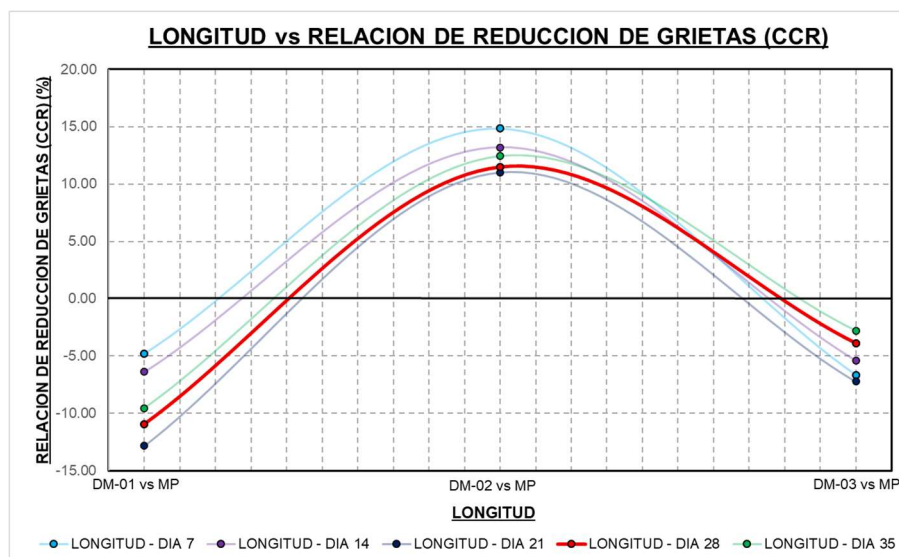


Figura 12. Relación de Reducción de Fisuras (Longitud).

La Figura 12 muestra la relación de reducción de fisuras (CRR) en la longitud y su respectivo porcentaje de disminución. Al evaluar los datos obtenidos a los 28 días, se evidencia que solo el diseño DM-02 alcanza una reducción en la longitud de las fisuras, con un 11.46%, siendo este el valor más alto entre los diseños analizados. Por el contrario, los diseños DM-01 y DM-03 no solo no reducen la longitud de las fisuras, sino que provocan un aumento del 10.92% y 3.88%, respectivamente, lo cual representa un aspecto importante a considerar al momento de su aplicación en losas de concreto.

Al interpretar los resultados enfocándose únicamente en la variable de longitud, se concluye que los diseños muestrales DM-01 y DM-03 no contribuyen a disminuir la longitud de las fisuras en los modelos físicos, sino que, por el contrario, provocan un aumento considerable. En cambio, el diseño DM-02 representa una alternativa favorable para la incorporación de fibra sintética de polipropileno, al lograr una reducción del 11.46% en la longitud de las fisuras.

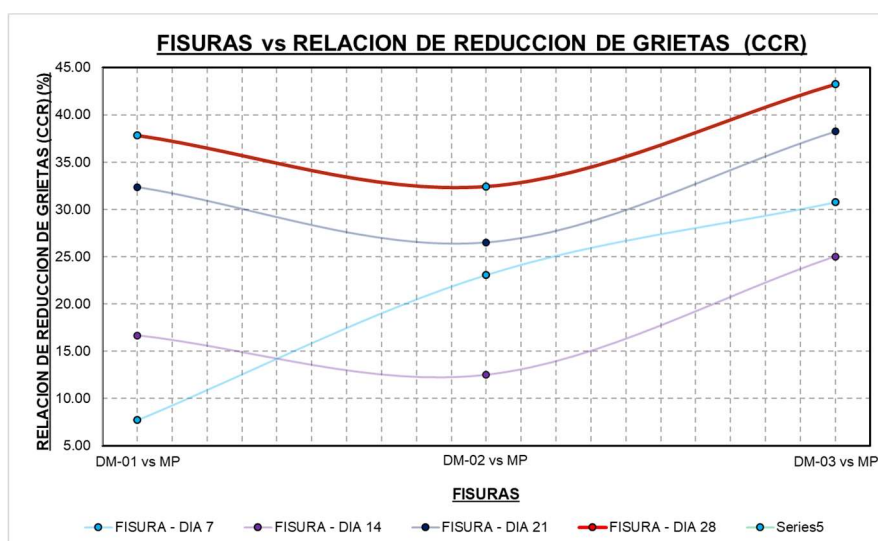


Figura 13. Relación de Reducción de Fisuras (Fisuras).

Finalmente, la figura 13 muestra la relación de reducción de fisuras (CRR) en el número de fisuras y su correspondiente porcentaje de reducción. Analizando los datos procesados a los 28 días, se logra determinar que todos los diseños muestrales DM-01, DM-02 y DM-03 presentan una reducción en el número de las fisuras que se presentan, siendo de 37.84%, 32.43% y 43.24% los valores de reducción porcentual respectivos.

Al interpretar los resultados enfocados exclusivamente en la variable del número de fisuras, se observa que todos los diseños muestrales (DM-01, DM-02 y DM-03) logran una disminución en la cantidad de fisuras en los modelos físicos, lo que indica que cualquier dosificación resulta viable para su uso en el concreto. Al establecer un orden de efectividad de mayor a menor en cuanto a la reducción de fisuras, se identifica que el DM-03 presenta la mayor disminución, seguido por el DM-01 y, finalmente, el DM-02.

Evaluación de Fisuras en las primeras horas de fraguado

Comprender el comportamiento de la fibra sintética de polipropileno usada en el concreto durante las primeras horas de fraguado es una forma viable de explicar los mecanismos de reducción de evaporación y, por ende, del riesgo de fisuración por contracción. Conociendo los resultados anteriores, se evaluará la presencia y formación de las fisuras en las primeras horas de fraguado del Muestra Patrón (MP) y Diseño Muestral 02 (DM-02), considerando que este último obtuvo mayores beneficios para el concreto al final del tiempo de curado de 28 días.

El ensayo de Tasa de Evaporación explica la capacidad del concreto para retener el agua en la etapa de fraguado, evaluando la velocidad con que la humedad se pierde desde la superficie hacia el ambiente. Este comportamiento es fundamental porque, durante las primeras horas, el concreto se encuentra en estado plástico y es altamente vulnerable a la contracción y a la formación de fisuras superficiales.

	TIEMPO	PESO DE LA MUESTRA (kg)	PESO DEL AGUA PERDIDA (kg)	PESO DEL AGUA PERDIDA ACUMULADO (kg)	TASA DE EVAPORACION DE AGUA (kg/m2.h)
7	30 min	22.235	0.05	0.05	0.32
	30 min	22.165	0.12	0.17	1.08
	30 min	22.158	0.13	0.30	1.89
	30 min	22.156	0.13	0.43	2.72
	30 min	22.153	0.13	0.56	3.56
	30 min	22.144	0.14	0.70	4.46
	30 min	22.138	0.15	0.85	5.40
	30 min	22.136	0.15	1.00	6.35
7	30 min	22.131	0.08	0.08	0.52
	30 min	22.117	0.09	0.18	1.12
	30 min	22.098	0.11	0.29	1.84
	30 min	22.093	0.12	0.41	2.60
	30 min	22.078	0.13	0.54	3.45
	30 min	22.068	0.14	0.69	4.37
	30 min	22.064	0.15	0.83	5.31
	30 min	22.060	0.15	0.99	6.28
7	30 min	22.316	0.07	0.07	0.42
	30 min	22.283	0.10	0.17	1.05
	30 min	22.282	0.10	0.27	1.69
	30 min	22.281	0.10	0.37	2.34
	30 min	22.278	0.11	0.47	3.00
	30 min	22.277	0.11	0.58	3.67
	30 min	22.269	0.11	0.69	4.39
	30 min	22.267	0.12	0.81	5.12
66	30 min	22.162	0.07	0.07	0.45
	30 min	22.143	0.09	0.16	1.01
	30 min	22.133	0.10	0.26	1.64
	30 min	22.132	0.10	0.36	2.28
	30 min	22.129	0.10	0.46	2.93

30 min	22.128	0.10	0.56	3.60
30 min	22.126	0.11	0.67	4.27
30 min	22.120	0.11	0.78	4.98

Tabla 18. Resultados de ensayo de Tasa de Evaporación de Agua.

El ensayo de Tasa de Evaporación de Agua presenta un límite mínimo para el control de la evaporación del agua en el concreto, el cual es de 1.0 kg/m²·h durante la primera hora de evaluación, según la norma ASTM C1579. Este valor de referencia permite establecer si la mezcla de concreto está perdiendo humedad a una velocidad que podría comprometer su desempeño en el fraguado inicial. Asimismo, la norma establece valores progresivos de control: a las 2 horas la tasa debe superar 2.0 kg/m²·h, a las 3 horas 3.0 kg/m²·h y a las 4 horas 4.0 kg/m²·h. El cumplimiento de estos límites asegura que el concreto mantenga la cantidad mínima de agua necesaria para el proceso de hidratación del cemento y para reducir el riesgo de fisuración por contracción. Considerando la Tabla 18 se promedia los resultados de los dos ensayos de Muestra Patrón (MP) y Diseño Muestral 02 (DM-02).

MUESTRAS	TIEMPO	PROMEDIO DE TASA DE EVAPORACIÓN DE AGUA (kg/m ² ·h)
MUESTRA PATRON (MP)	1 hora	1.10
	2 horas	2.66
	3 horas	4.42
	4 horas	6.32
DISEÑO MUESTRAL 02 (DM-02)	1 hora	1.03
	2 horas	2.31
	3 horas	3.64
	4 horas	5.05

Tabla 19. Resultados de Tasa de Evaporación de Agua en Tiempos Evaluados.

El diseño muestral con fibra (DM-02) mostró una tasa de evaporación acumulada a las 4 horas promedio de 5.05 kg/m²·h, frente a 6.32 kg/m²·h del concreto patrón (MP). Esto indica una reducción del 20.09% en la pérdida de humedad para las mezclas con fibra de polipropileno. El resultado es coherente con el papel de la fibra de polipropileno como elemento que interrumpen los canales capilares y distribuyen más homogéneamente el agua libre, disminuyendo la migración rápida hacia la superficie y, por ende, el riesgo de fisuración por contracción en las primeras horas de fraguado.

El análisis de fisuración en las primeras horas de fraguado ayuda a comprender su beneficio temprano en la reducción de fisuras del concreto, ya que en este periodo el material aún se encuentra en estado plástico y es altamente susceptible a la pérdida de agua superficial. Evaluar el comportamiento del concreto en esta etapa crítica permite identificar la eficacia de medidas de control, como la incorporación de fibras sintéticas de polipropileno, que actúan distribuyendo los esfuerzos internos, reduciendo la velocidad de evaporación y limitando la propagación de micro fisuras.

FISURAS		M-01		M-02	
		ESP. (mm)	LONG. (mm)	ESP. (mm)	LONG. (mm)
0.5 horas	F-01	---	---	---	---
	F-02	---	---	---	---
	F-03	---	---	---	---
	F-04	---	---	---	---
	F-05	---	---	---	---
1.0 horas	F-01	---	---	---	---
	F-02	---	---	---	---
	F-03	---	---	---	---
	F-04	---	---	---	---
	F-05	---	---	---	---
1.5 horas	F-01	---	---	---	---
	F-02	---	---	---	---
	F-03	---	---	---	---
	F-04	---	---	---	---

2.0 horas	F-05	---	---	---	---
	F-01	---	---	---	---
	F-02	---	---	---	---
	F-03	---	---	---	---
	F-04	---	---	---	---
2.5 horas	F-05	---	---	---	---
	F-01	0.19	5.00	0.07	5.00
	F-02	0.10	7.00	0.13	9.00
	F-03	0.09	8.00	0.13	8.00
	F-04	---	---	---	---
3.0 horas	F-05	---	---	---	---
	F-01	0.23	10.00	0.14	12.00
	F-02	0.22	11.00	0.25	13.00
	F-03	0.14	12.00	0.20	9.00
	F-04	0.25	12.00	0.28	12.00
3.5 horas	F-05	---	---	0.22	13.00
	F-01	0.34	14.00	0.27	14.00
	F-02	0.35	15.00	0.34	15.00
	F-03	0.26	14.00	0.32	12.00
	F-04	0.39	16.00	0.30	17.00
4.0 horas	F-05	0.35	8.00	0.36	18.00
	F-01	0.46	18.00	0.39	16.00
	F-02	0.49	16.00	0.43	18.00
	F-03	0.37	15.00	0.45	15.00
	F-04	0.43	20.00	0.44	19.00
	F-05	0.40	14.00	0.49	20.00

Tabla 20. Recopilación de datos de las fisuras de la Muestra Patrón (MP) en la primeras 4 horas de fraguado.

FISURAS		M-03		M-04	
		ESP. (mm)	LONG. (mm)	ESP. (mm)	LONG. (mm)
0.5 horas	F-01	---	---	---	---
	F-02	---	---	---	---
	F-03	---	---	---	---
	F-04	---	---	---	---
	F-05	---	---	---	---
1.0 horas	F-01	---	---	---	---
	F-02	---	---	---	---
	F-03	---	---	---	---
	F-04	---	---	---	---
	F-05	---	---	---	---
1.5 horas	F-01	---	---	---	---
	F-02	---	---	---	---
	F-03	---	---	---	---
	F-04	---	---	---	---
	F-05	---	---	---	---
2.0 horas	F-01	---	---	---	---
	F-02	---	---	---	---
	F-03	---	---	---	---
	F-04	---	---	---	---
	F-05	---	---	---	---
2.5 horas	F-01	0.13	2.00	---	---
	F-02	---	---	---	---
	F-03	0.09	3.00	0.09	1.00
	F-04	---	---	---	---
	F-05	---	---	---	---
3.0 horas	F-01	0.18	6.00	0.16	7.00
	F-02	0.10	4.00	0.08	8.00

3.5 horas	F-03	0.15	5.00	0.11	3.00
	F-04	---	---	---	---
	F-05	---	---	---	---
	F-01	0.25	11.00	0.22	11.00
	F-02	0.25	9.00	0.19	13.00
4.0 horas	F-03	0.22	10.00	0.21	9.00
	F-04	0.31	8.00	0.25	8.00
	F-05	---	---	---	---
	F-01	0.37	15.00	0.35	16.00
	F-02	0.39	13.00	0.32	15.00
4.0 horas	F-03	0.32	15.00	0.35	14.00
	F-04	0.40	12.00	0.40	13.00
	F-05	0.20	6.00	---	---

Tabla 21. Recopilación de datos de las fisuras del Diseño Muestral 02 (DM-02) en la primeras 4 horas de fraguado.

Las tablas nos muestran los datos recopilados en las primeras 4 horas de fraguado, periodo en el que la contracción del concreto fresco presenta la mayor susceptibilidad a la formación de fisuras superficiales debido a la rápida pérdida de agua por evaporación. Esta etapa resulta crítica porque el concreto aún no alcanza suficiente resistencia interna, lo que favorece la aparición y propagación de fisuras por contracción. La información obtenida permitió elaborar gráficos comparativos que representan la evolución del comportamiento del concreto en este intervalo, facilitando la identificación de la tendencia en la formación y crecimiento de fisuras en función del tiempo. De esta manera, los resultados no solo muestran la magnitud del problema en condiciones normales, sino también el efecto beneficioso de la incorporación de fibras sintéticas de polipropileno como estrategia para controlar y reducir la fisuración temprana

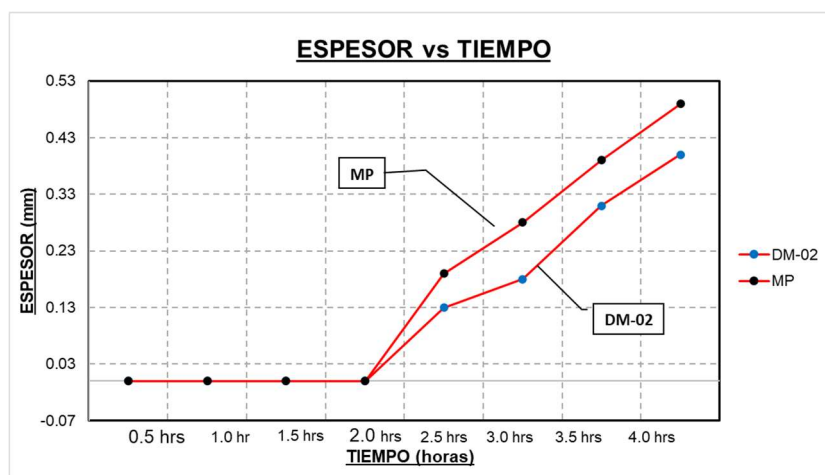


Figura 14. Gráfico Espesor vs Tiempo de Fraguado (Primeras 4 horas).

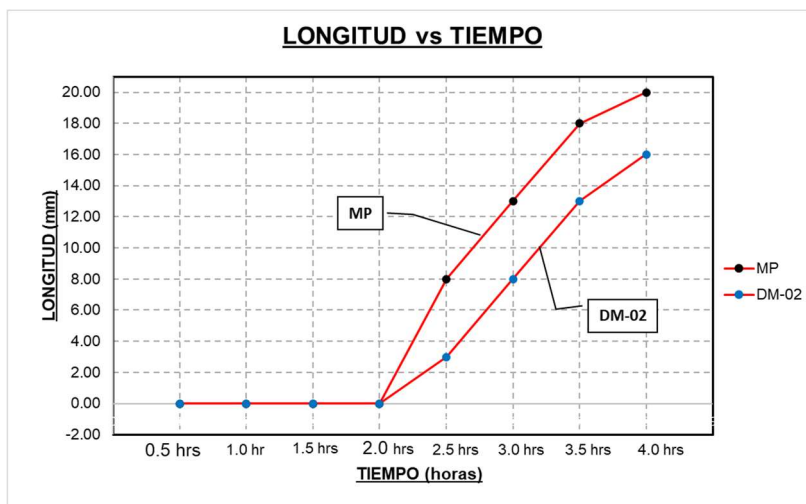


Figura 15. Gráfico Longitud vs Tiempo de Fraguado (Primeras 4 horas).

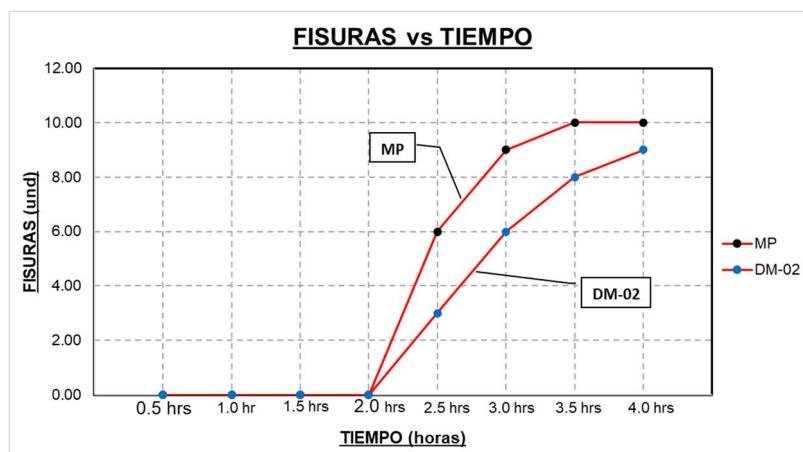


Figura 16. Gráfico Fisuras vs Tiempo de Fraguado (Primeras 4 horas).

En las primeras cuatro horas de fraguado, los resultados muestran que el concreto patrón (MP) presentó un comportamiento más crítico frente a la fisuración en comparación con el diseño con fibra sintética de polipropileno (DM-02). La MP alcanzó fisuras con un espesor máximo de 0.49 mm, una longitud máxima de 20 mm y un total de 10 fisuras, mientras que el DM-02 registró valores menores, con espesor máximo de 0.40 mm, longitud máxima de 16 mm y un número ligeramente inferior de 09 fisuras. Estos resultados evidencian que, aunque la fisuración no se elimina por completo, la adición de fibra de polipropileno logra reducir su severidad, limitar su propagación y disminuir su cantidad, lo que confirma su beneficio temprano como mecanismo de control frente a la contracción del concreto en estado fresco.

Se aplicó la fórmula de la Relación de Reducción de Fisuras con el objetivo de cuantificar el porcentaje de disminución en el espesor, la longitud y la cantidad de fisuras, comparando los resultados obtenidos en el concreto patrón (MP) frente al diseño muestral con fibra sintética de polipropileno (DM-02). Este procedimiento permitió expresar de manera objetiva el efecto de la incorporación de fibras en la mitigación de la fisuración temprana del concreto, facilitando la evaluación comparativa del beneficio alcanzado en cada uno de los parámetros analizados.

RELACION DE REDUCCIÓN DE FISURAS			
TIEMPO (horas)	ESPESOR (%)	LONGITUD (%)	CANTIDAD (%)
0.5	0.00	0.00	0.00
1.0	0.00	0.00	0.00
1.5	0.00	0.00	0.00
2.0	0.00	0.00	0.00
2.5	12.68	71.43	50.00
3.0	39.38	52.40	33.33
3.5	27.59	30.94	20.00
4.0	20.82	22.68	10.00

Tabla 22. Resultados de Relación de Reducción de Fisuras a las 4 primeras horas de fraguado.

Los resultados de la Relación de Reducción de Fisuras muestran que durante las dos primeras horas de fraguado no se evidenció diferencia entre el concreto patrón (MP) y el diseño con fibra (DM-02), ya que los porcentajes de reducción fueron nulos en espesor, longitud y cantidad de fisuras. Sin embargo, a partir de las 2.5 horas se observa un cambio significativo: el DM-02 alcanzó reducciones de 12.68% en espesor, 71.43% en longitud y 50% en cantidad de fisuras, lo que indica un efecto inmediato de la fibra en la mitigación de la fisuración plástica. Entre las 3.0 y 3.5 horas, los porcentajes continúan mostrando un beneficio marcado, especialmente en espesor y longitud, con reducciones de hasta 39.38% y 52.40% respectivamente, confirmando que la etapa crítica del fraguado es donde la fibra ejerce mayor influencia. Finalmente, a las 4.0 horas los valores de reducción tienden a estabilizarse, alcanzando 20.82% en espesor, 22.68% en longitud y 10% en cantidad de fisuras, lo que refleja que el concreto comienza a ganar resistencia interna y la diferencia entre ambas mezclas se reduce.

DISCUSIÓN

Los diseños DM-01 y DM-02 lograron reducir el espesor de las fisuras en un 11.32% y 18.41%, respectivamente, mientras que el diseño DM-03 mostró un incremento del 28.75%. Estos resultados coinciden en parte con los hallazgos de Prakash et alii [6], quienes observaron que la adición de 0.5% de fibra de polipropileno mejora la resistencia a la tracción hasta en un 24%, lo que puede reducir la apertura de fisuras al mejorar la cohesión interna del concreto. De manera similar, Ghali et alii [7] concluyeron que la resistencia a compresión se incrementa en un 38.6% con la adición de fibra de polipropileno, lo cual también podría estar relacionado con una mayor cohesión que previene la expansión del espesor de las fisuras.

Sin embargo, el diseño DM-03, a pesar de tener la mayor cantidad de fibra, presenta un aumento en el espesor de las fisuras. Este fenómeno es coherente con lo señalado por Kistan et alii [13], quienes indicaron sobre los posibles efectos adversos de la sobredosificación de fibras, lo que puede alterar la trabajabilidad del concreto y generar una distribución ineficaz de las fibras. La sobresaturación de fibras podría haber interferido con la formación de una distribución uniforme, promoviendo la formación de fisuras con mayor espesor.

En cuanto a la longitud de las fisuras, el diseño DM-02 es el único que logra una reducción significativa del 11.46%, mientras que los diseños DM-01 y DM-03 presentan incrementos del 10.92% y 3.88%, respectivamente. Este comportamiento está en línea con los resultados de Maafi et alii [4], quienes indicaron que la incorporación de fibras de polipropileno mejora las propiedades mecánicas del concreto, incluyendo la resistencia a la tracción, lo que podría ayudar a prevenir el alargamiento de las fisuras. Además, Shan et alii [9] encontraron que una incorporación de 1 kg/m³ de fibra de polipropileno mejora la resistencia a la compresión en un 42.2%, lo que podría estar relacionado con la reducción en la longitud de las fisuras observada en DM-02, que se encuentra en una dosis intermedia de fibra.

Por otro lado, los incrementos en la longitud de las fisuras en DM-01 y DM-03 podrían atribuirse a una distribución no uniforme de las fibras de polipropileno. Así como, Callamamani et alii [11] demostraron que las fibras de mayor longitud pueden concentrarse en ciertas zonas del concreto, lo que puede generar fisuras más largas. En este sentido, el diseño DM-02, con una dosificación intermedia, parece haber logrado un equilibrio óptimo en la distribución de las fibras, evitando estos problemas.

En cuanto a la cantidad de fisuras, todos los diseños muestrales (DM-01, DM-02 y DM-03) mostraron reducciones significativas en comparación con el concreto patrón (MP). Las reducciones fueron de 37.84% para DM-01, 32.43% para DM-02 y 43.24% para DM-03. Estos resultados son consistentes con los hallazgos de Najaf y Abbasi [10], quienes afirmaron que la adición de fibras macroestructurales de polipropileno incrementa la resistencia al agrietamiento y mejora la durabilidad del concreto, lo que puede reducir el número de fisuras en la mezcla. Asimismo, Zhao et alii [1] reportaron que el uso combinado de fibras de polipropileno y acero genera un incremento en la resistencia a la tracción y compresión, lo que también puede prevenir la formación de nuevas fisuras.

El diseño DM-03, que presentó la mayor reducción en el número de fisuras, puede ser el resultado de una mayor cantidad de fibras que actúan como refuerzo para evitar la propagación de fisuras. Sin embargo, el hecho de que este diseño haya mostrado un aumento en el espesor de las fisuras sugiere que, aunque reduce la cantidad de fisuras, su impacto en la estructura global del concreto puede no ser completamente beneficioso. Este problema también es señalado por Qasim y Jassam [8], quienes encontraron que, al aumentar el contenido de fibra, es posible mejorar la resistencia al agrietamiento, pero a costa de otras propiedades mecánicas, como la durabilidad y la cohesión estructural del concreto. En términos generales, los antecedentes revisados proporcionan un contexto valioso para interpretar los resultados obtenidos. Chaisa y Maccarcco [5] encontraron que una mayor cantidad de fibra reduce el asentamiento, lo que podría relacionarse con la reducción en el número de fisuras observada en los diseños con mayor dosificación de fibra, como DM-03. Sin embargo, la reducción del asentamiento también puede estar asociada con una menor trabajabilidad, lo que podría explicar los aumentos en el espesor de las fisuras cuando la cantidad de fibra es excesiva, como en DM-03.

Christopher et alii [12] destacaron que las fibras híbridas (poliéster y acero) mejoran la resistencia a la compresión, lo que resalta la importancia de elegir el tipo de fibra adecuado para obtener los mejores resultados en términos de reducción de fisuras. En este caso, aunque se utilizaron solo fibras de polipropileno, los efectos observados reflejan la importancia de optimizar tanto la dosificación como la distribución de las fibras.

Tal y como muestran los resultados, el DM-02 logro reducir el 18.40% en espesor, 11.46% en longitud, y 32.43% en número de fisuras, demostrando que este material puede desempeñar un papel importante en el control de fisuración en losas de concreto. Aunque estos resultados son menores frente a las alcanzadas en la investigación desarrollado por Calla y Gomez [19], donde la dosificación de 1.5% logro una disminución del 62.27% de la fisuración, es necesario destacar que los enfoques y los alcances de ambas investigaciones no son equivalentes. Mientras que el acero demostró un efecto más contundente en la reducción de fisuras, el polipropileno ofrece ventajas prácticas y económicas, como su fácil incorporación en la mezcla, la no alteración significativa de la trabajabilidad y un menor costo, lo que lo convierte en una alternativa eficiente y accesible para contextos donde no siempre es viable aplicar fibras metálicas.

Según los resultados de Delclaux et alii [20] los cuales realizaron un estudio climático del Altiplano, concluyeron que la evaporación anual en la cuenca del Lago Titicaca se encuentra en el rango de 1 350 a 1 900 mm/año, lo que equivale aproximadamente a 0.15–0.22 kg/m²·h al convertir estos valores a tasas horarias. En contraste, los resultados obtenidos

en laboratorio mediante el ensayo de Tasa de Evaporación de Agua fueron considerablemente mayores: el concreto patrón (MP) alcanzó una tasa de $6.32 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}$, mientras que el diseño muestral 02 (DM-02) presentó un valor de $5.05 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}$ a las 4 horas de evaluación. Esto demuestra que las tasas medidas en el laboratorio superan entre 20 y 35 veces las tasas ambientales promedio de evaporación en Juliaca y sus alrededores. No obstante, esta diferencia no constituye un error metodológico o técnico del estudio, sino que se debe a que el ensayo reproduce condiciones severas de exposición superficial del concreto fresco, donde la pérdida de agua ocurre con mayor rapidez debido a la presencia de evaporación de agua superficial y la menor masa de agua expuesta. Por lo tanto, los resultados de laboratorio representan un escenario extremo frente al cual es posible evaluar el riesgo real de fisuración por contracción. Bajo estas condiciones críticas, la incorporación de fibra sintética de polipropileno en el DM-02 permitió reducir la tasa de evaporación de agua en un 20.09% respecto al concreto patrón, confirmando su eficacia como estrategia de mitigación de la fisuración temprana y a lo largo del tiempo de cuadrado, en losas de concreto expuestas al clima de Juliaca.

CONCLUSIONES

En relación con la reducción del espesor de las fisuras, se concluye que los diseños DM-01 (500 g/m^3) y DM-02 (1000 g/m^3) son efectivos en la reducción del espesor de las fisuras, mostrando disminuciones del 11.32% y 18.41%, respectivamente. Sin embargo, el diseño DM-03 (2000 g/m^3) mostró un aumento significativo del espesor de las fisuras en un 28.75%. Este último resultado sugiere que la sobredosificación de fibra no mejora las propiedades del concreto en el factor de espesor de fisuras, lo que podría estar relacionado con una distribución ineficaz de las fibras y la interferencia en la cohesión del concreto. En resumen, aunque la incorporación de fibra sintética de polipropileno contribuye a reducir el espesor de las fisuras en algunos casos, una dosificación elevada, como la de DM-03, no necesariamente produce los mejores resultados y puede incluso ser contraproducente. El diseño DM-02 fue el más efectivo en la reducción del espesor.

En cuanto a la longitud de las fisuras, los resultados indicaron que el diseño DM-02 (1000 g/m^3) resultó ser el más efectivo en la reducción de la longitud de las fisuras, con un 11.46% de reducción. Este diseño representa una opción favorable para reducir la propagación de fisuras en losas de concreto. Los diseños DM-01 y DM-03 no solo no lograron reducir la longitud de las fisuras, sino que causaron incrementos en su longitud del 10.92% y 3.88%, respectivamente. En conclusión, la dosificación de fibra DM-02 fue la más eficiente para lograr la reducción de la longitud de las fisuras, lo que resalta la importancia de evitar tanto las dosificaciones bajas como excesivas para garantizar una distribución homogénea y efectiva de las fibras.

En relación con el número de fisuras, los resultados fueron positivos para todos los diseños muestrales: DM-01, DM-02 y DM-03 mostraron una reducción significativa en el número de fisuras, con porcentajes de disminución de 37.84%, 32.43% y 43.24%, respectivamente. De estos, el DM-03 (2000 g/m^3) mostró la mayor reducción en el número de fisuras, aunque también con un incremento en el espesor de las fisuras, lo que sugiere un efecto beneficioso en términos de control de la propagación de fisuras, pero con posibles consecuencias negativas en el control de espesor y longitud de las fisuras. En conclusión, todos los diseños muestrales evaluados DM-01, DM-02 y DM-03 lograron reducir el número de fisuras, lo que indica que la incorporación de fibra sintética de polipropileno, independientemente de la dosificación, es efectiva en la reducción de fisuras. El diseño DM-03, aunque efectivo en cuanto a la reducción de la cantidad de fisuras, presentó efectos contrarios sobre el espesor y longitud de las fisuras.

Realizando un análisis global de los tres parámetros (espesor, longitud y número de fisuras) se sugiere que la dosificación de 1000 g/m^3 (DM-02) logró un equilibrio favorable, ya que mostró resultados positivos tanto en la reducción del espesor (18.41%) como en la longitud de las fisuras (11.46%), mientras que también contribuyó a la reducción del número de fisuras (32.43%). Las dosificaciones bajas (DM-01) y altas (DM-03) presentaron resultados mixtos y variables, siendo efectivas en la reducción del número de fisuras, pero menos efectivas en la reducción de la longitud y espesor de las fisuras. El diseño DM-03, en particular, mostró un aumento en el espesor de las fisuras a pesar de ser el que más redujo el número de fisuras.

Por lo que, se concluye que los resultados indican que una dosificación moderada de fibra sintética de polipropileno (1000 g/m^3) es la más eficiente para lograr un equilibrio en la mejora de las propiedades del concreto, reduciendo tanto la cantidad como la longitud de las fisuras sin efectos adversos significativos en el espesor de las fisuras. Las dosificaciones excesivas o insuficientes pueden comprometer la efectividad del material propuesto como aditivo no convencional.

Finalmente, para complementar la investigación, los resultados obtenidos en las primeras 4 horas son un indicativo del comportamiento final del concreto, ya que la menor tasa de evaporación (20.09% menos en DM-02 frente al MP) y la reducción de fisuras en el periodo crítico de 4 horas de evaluación anticiparon el desempeño alcanzado a los 28 días, donde la misma dosificación DM-02 fue la más eficiente con reducciones de 18.41% en espesor, 11.46% en longitud y 32.43% en número de fisuras respecto al patrón. Es importante destacar que los valores de espesor y longitud de fisuras registrados a las 4 horas de evaluación resultaron mayores que los medidos a los 28 días, lo cual se explica porque en las primeras horas el concreto se encuentra en estado plástico, con alta pérdida de humedad y elevada vulnerabilidad a la contracción. Conforme avanza el proceso de fraguado y curado, el concreto gana resistencia y estabilidad volumétrica,



por lo que las fisuras tienden a estabilizarse o no evolucionar en la misma proporción, reflejándose en valores más controlados a los 28 días de evaluación. En conjunto, la evaluación temprana permitió prever con éxito la efectividad de la fibra de polipropileno como mecanismo de mitigación de fisuración inicial y de control duradero en el concreto endurecido.

REFERENCES

- [1] S. Zhao, R. Liu, J. Liu, and L. Yang, "Comparative study on the effect of steel and plastic synthetic fibers on the dynamic compression properties and microstructure of ultra-high-performance concrete (UHPC)," *Compos Struct*, vol. 324, 2023, doi: 10.1016/j.compstruct.2023.117570.
- [2] D. Dias, J. Calmon, and G. Vieira, "Polymeric fiber reinforced concrete exposed to fire," *Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción*, vol. 10, no. 1, pp. 35–52, Dec. 2020, doi: 10.21041/ra.v10i1.426.
- [3] A. Meza-de Luna, K. Gurbir, H. Preciado-Martínez, and I. Gutiérrez-Lopez, "Desempeño a Flexión del Concreto Reforzado con Fibras Plásticas Recicladadas," *Conciencia Tecnológica*, vol. 1, no. 61, Jun. 2021, Accessed: Sep. 12, 2023. [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/journal/944/94467989001/94467989001.pdf>
- [4] N. Maafi, A. Benuadah, A. Benammar, O. Kessal, A. A. Belkadi, and M. Beddar, "The Effects of Polypropylene Fibers on the Mechanical and Durability Performance of a Roller Compacted Concrete for Pavement," *International Journal of Pavement Research and Technology*, 2023, doi: 10.1007/s42947-023-00329-4.
- [5] E. Chaisa and Maccarcco Jhonatan, "Adición de la fibra de polipropileno en un concreto hidráulico $f'c=175$, 210, 280 kg/cm² para mejorar sus propiedades plásticas y mecánicas," Universidad César Vallejo, Lima, 2021. Accessed: Sep. 12, 2023. [Online]. Available: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/62139>
- [6] R. Prakash, R. Thenmozhi, S. N. Raman, and C. Subramanian, "Fibre reinforced concrete containing waste coconut shell aggregate, fly ash and polypropylene fibre," *Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, no. 94, pp. 33–42, Mar. 2020, doi: 10.17533/10.17533/udea.redin.20190403.
- [7] A. E. Ghali, N. E. El Ezz, B. Hamad, J. Assaad, and A. Yehya, "Comparative study on shear strength and life cycle assessment of reinforced concrete beams containing different types of fibers," *Case Studies in Construction Materials*, vol. 19, 2023, doi: 10.1016/j.cscm.2023.e02497.
- [8] O. A. Qasim and S. H. Jassam, "Experimental Investigation of Plastic Waste Effect on Concrete Mechanical and Durability Properties," *International Review of Civil Engineering*, vol. 13, no. 3, pp. 190–197, 2022, doi: 10.15866/irece.v13i3.20871.
- [9] J. Shan, C. Song, S. Zhou, T. Duan, S. Zheng, and B. Zhang, "Study on Performance of Pervious Concrete Modified by Nano-Silicon + Polypropylene Fiber Composite," *Lecture Notes in Civil Engineering*, vol. 235, pp. 189–198, Sep. 2022, doi: 10.1007/978-981-99-1748-8_15.
- [10] E. Najaf and H. Abbasi, "Impact resistance and mechanical properties of fiber-reinforced concrete using string and fibrillated polypropylene fibers in a hybrid form," *Structural Concrete*, vol. 24, no. 1, pp. 1282–1295, Feb. 2023, doi: 10.1002/suco.202200019.
- [11] L. A. P. Callomamani, N. Bala, and L. Hashemian, "Comparative Analysis of the Impact of Synthetic Fibers on Cracking Resistance of Asphalt Mixes," *International Journal of Pavement Research and Technology*, vol. 16, no. 4, pp. 992–1008, Jul. 2023, doi: 10.1007/s42947-022-00175-w.
- [12] C. G. Christopher, R. Gopal, S. Sadasivam, D. Keerthika, and K. Dinesh, "Experimental Toughness and Durability Evaluation of FRC Composite Reinforced with Steel–Polyester Fiber Combination," *Int J Concr Struct Mater*, vol. 17, no. 1, 2023, doi: 10.1186/s40069-023-00599-z.
- [13] A. Kistan, V. Kanchana, E. Parthiban, S. Vadivel, and B. Sridhar, "Study on flexural behaviour of polypropylene fiber reinforced fly ash concrete beam," *Mater Today Proc*, 2023, doi: 10.1016/j.matpr.2023.03.172.
- [14] A. A. Mohammed and S. H. Karim, "Impact strength and mechanical properties of high strength concrete containing PET waste fiber," *Journal of Building Engineering*, vol. 68, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.jobbe.2023.106195.
- [15] E. Vasquez, "Comportamiento en compresión y tensión del concreto hidráulico simple reforzado con fibras de polipropileno para obras de edificaciones," Universidad Peruana Unión, Lima, 2020. Accessed: Sep. 12, 2023. [Online]. Available: <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/3404>
- [16] R. Hernandez, C. Fernandez, and P. Baptista, *Metodología de la Investigación*. Mexico, 2018.
- [17] M. Borja, *Metodología de la investigación científica para ingenieros*. Chiclayo, 2012.
- [18] L. Quezada, *Estadística para Ingenieros*, Macro E.I.R.L. 2010.
- [19] R. Calla and J. Gomez, "Efecto de las fibras de acero en la prevención de fisuras por contracción plástica en el concreto, Juliaca 2023" *Universidad Peruana Unión*, Dec. 2024.
- [20] F. Delclaux, A. Coudrain, and T. Condom, "Evaporation estimation on Lake Titicaca: a synthesis review and modelling," *Hydrol Process*, vol. 21, no. 13, pp. 1664–1677, 2007.