

INCIDENCIA DE LAS FIBRAS DE **POLIPROPILENO**

EN LA RETRACCIÓN PLÁSTICA DEL CONCRETO

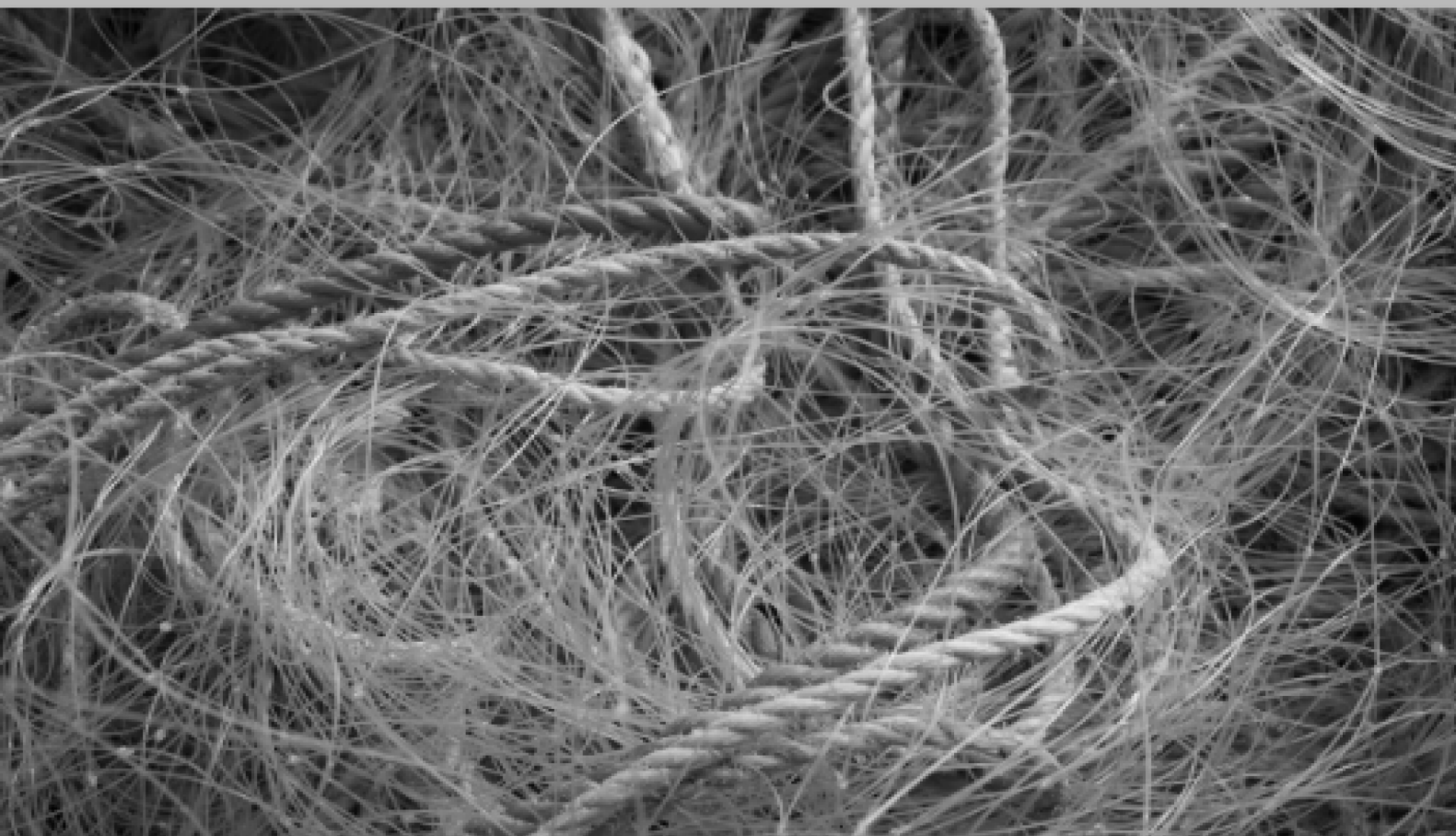


EFRAIN PARILLO SOSA
LEONEL SUASACA PELINCO
FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES
ARNALDO YANA TORRES
JEAN BRANDOM YANQUI BALLENA

ARCO
EDITORES ● ● ●

INCIDENCIA DE LAS FIBRAS DE POLIPROPILENO

EN LA RETRACCIÓN PLÁSTICA DEL CONCRETO



**EFRAIN PARILLO SOSA
LEONEL SUASACA PELINCO
FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES
ARNALDO YANA TORRES
JEAN BRANDOM YANQUI BALLENA**

ARCO
EDITORES ● ● ●

Editor Chefe

Ivanio Folmer

Bibliotecária

Tábata Alves da Silva

Revisora Técnica

Gabriella Eldereti Machado

Diagramação e Projeto Gráfico

Gabriel Eldereti Machado

Imagem capa

www.canva.com

Revisão

Organizadores e Autores(as)

Conselho Editorial

Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva - Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí

Profa. Dra. Alicia Eugenia Olmos - Universidad Católica de Córdoba

Prof. Dr. Astor João Schönell Júnior - Instituto Federal Farroupilha

Prof. Dr. Alan Ricardo Costa - Universidade Federal de Roraima

Prof. Dr. Camilo Darsie de Souza - Universidade de Santa Cruz do Sul

Prof. Dr. Carlos Adriano Martins - Universidade Cidade de São Paulo

Prof. Dr. Christian Dennys Monteiro de Oliveira - Universidade Federal do Ceará

Profa. Dra. Dayse Marinho Martins - Universidade Federal do Maranhão

Prof. Dr. Deivid Alex dos Santos - Universidade Estadual de Londrina

Prof. Dr. Dioni Paulo Pastorio - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Douglas Manoel Antonio de Abreu Pestana dos Santos - Faculdade Sesi-Sp de Educação

Profa. Dra. Elane da Silva Barbosa - Universidade do Estado do Rio Grande do Norte

Profa. Dra. Francielle Benini Agne Tybusch - Universidade Franciscana

Prof. Dr. Francisco Odécio Sales - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará

Prof. Dr. Gilvan Charles Cerqueira de Araújo - Universidade Católica de Brasília

Prof. Dr. Leonardo Bigolin Jantsch - Universidade Federal de Santa Maria

Profa. Dra. Liziany Müller Medeiros - Universidade Federal de Santa Maria

Profa. Dra. Marcela Mary José da Silva - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB

Prof. Dr. Mateus Henrique Köhler - Universidade Federal de Santa Maria

Prof. Dr. Michel Canuto de Sena - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Profa. Dra. Mônica Aparecida Bortolotti - Universidade Estadual do Centro-Oeste

Prof. Dr. Rafael Nogueira Furtado - Universidade Federal do ABC

Prof. Dr. Roberto Araújo Silva - Centro Universitário Lusíada

Prof. Dr. Sidnei Renato Silveira - Universidade Federal de Santa Maria

Prof. Dr. Thiago Ribeiro Rafagnin - Universidade Federal do Oeste da Bahia

Prof. Dr. Tomás Raúl Gómez Hernández - Universidade Central “Marta Abreu” de Las Villas

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Incidencia de las fibras de polipropileno en
la retracción plástica del concreto [livro
eletrônico] / Efrain Parillo Sosa...[et al.]. --
Santa Maria, RS : Arco Editores,
2023.
PDF

Outros autores: Leonel Suasaca Pelinco, Franz
Joseph Barahona Perales, Arnaldo Yana Torres, Jean
Bransom Yanqui Ballena.
Bibliografia.
ISBN 978-65-5417-212-7

1. Concreto 2. Plásticos 3. Tecnologia química
I. Sosa, Efrain Parillo. II. Pelinco, Leonel Suasaca.
III. Perales, Franz Joseph Barahona. IV. Torres,
Arnaldo Yana. V. Ballena, Jean Bransom Yanqui.

23-187318

CDD-370.113

Índices para catálogo sistemático:

1. Plásticos : Tecnologia química : Educação profissional 370.113

Tábata Alves da Silva - Bibliotecária - CRB-8/9253



10.48209/978-65-5417-212-7

Este livro é o resultado de uma pesquisa científica em atividades de ciência e tecnologia, intitulada *Evaluación de la retracción plástica del concreto con la adición de fibras de polipropileno en pavimentos rígidos de la ciudad de Juliaca*, realizado na Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez.

Este trabalho foi submetido a uma revisão por pares externos duplamente cega (double-blind) antes da publicação.



CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	7
ÍNDICE DE FIGURAS.....	9
RESUMEN.....	10
ABSTRACT.....	11
INTRODUCCIÓN.....	12
CAPÍTULO I.....	14
CONCRETO.....	14
1.1. ¿Qué es el concreto?.....	15
1.2. Componentes del concreto.....	16
1.2.1. Cemento.....	17
1.2.2. Agregados.....	18
1.2.3. Agua.....	19
1.2.4. Aditivos.....	20
1.3. Propiedades del concreto fresco.....	21
1.4. Propiedades del concreto endurecido.....	22
1.5. Fraguado del concreto.....	23
CAPÍTULO II.....	25
FIBRAS DE POLIPROPILENO.....	25
2.1. Fibras: definición, tipos y usos.....	26
2.2. Concreto reforzado con fibras: parámetros.....	28
2.3. Dosificación de la fibra.....	29
2.4. Fibras de polipropileno.....	31
2.5. Tipos de fibras de polipropileno.....	33
2.6. Ventajas y desventajas del uso de fibras de polipropileno.....	34
CAPÍTULO III.....	36
RETRACCIÓN PLÁSTICA DEL CONCRETO.....	36

3.1. Retracción plástica: concepto.....	37
3.2. Fisuración del concreto.....	38
3.3. Tipos de fisuras.....	39
3.3.1. En estado plástico.....	40
3.3.2. En estado endurecido.....	41
3.4. Fisuración por retracción plástica.....	43
CAPÍTULO IV.....	47
EVALUACIÓN DE LA RETRACCIÓN PLÁSTICA DEL CONCRETO CON LA ADICIÓN DE FIBRAS DE POLIPROPILENO EN PAVIMENTOS RÍGIDOS DE LA CIUDAD DE JULIACA.....	47
CAPÍTULO V.....	121
FIBRAS DE POLIPROPILENO Y SU RELACIÓN CON LA RETRACCIÓN PLÁSTICA DEL CONCRETO.....	121
5.1. Efectos de la adición de fibras de polipropileno en las propiedades del concreto.....	122
5.2. Fisuración del concreto: medidas de prevención y tratamiento.....	124
5.3. Uso de la fibra de polipropileno para reducir la fisuración por retracción plástica.....	127
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	129
SOBRES LOS AUTORES.....	136

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables.....	50
Tabla 2 Diseño de mezclas.....	60
Tabla 3 Proporcionamiento en peso y volumen de DSF.....	60
Tabla 4 Proporcionamiento en peso y volumen de DCF 0.6 (19).....	61
Tabla 5 Proporcionamiento en peso y volumen de DCF 0.6 (50).....	61
Tabla 6 Proporcionamiento en peso y volumen de DCF 0.9 (50).....	62
Tabla 7 Resumen del registro de fisuras en el grupo A.....	67
Tabla 8 Resumen del registro de fisuras en el grupo B.....	69
Tabla 9 Resumen del registro de fisuras en el grupo B.....	71
Tabla 10 Nomograma de Menzel – grupo A.....	73
Tabla 11 Nomograma de Menzel – Grupo B.....	75
Tabla 12 Nomograma de Menzel – Grupo C.....	77
Tabla 13 Árido grueso – resistencia al desgaste.....	79
Tabla 14 Análisis mecánico y propiedades físicas de la arena.....	79
Tabla 15 Análisis mecánico y propiedades físicas de la grava.....	80
Tabla 16 Análisis granulométrico árido grueso.....	81
Tabla 17 Análisis granulométrico árido fino.....	82
Tabla 18 Dosificación $f'c=210\text{kg/cm}^2$	83
Tabla 19 Asentamiento – Slump.....	84
Tabla 20 Resumen de la prueba de exudación.....	86
Tabla 21 Resumen del tiempo de fraguado.....	88
Tabla 22 Resumen del Esfuerzo a la Rotura a los 28 días.....	90
Tabla 23 Resumen de la evaluación del área de fisuración.....	92
Tabla 24 Resumen de la evaluación del área de fisuración.....	94
Tabla 25 Análisis de Varianzas (ANOVA).....	96
Tabla 26 Subconjuntos de Tukey.....	97

Tabla 27	Subconjuntos de Tukey.....	98
Tabla 28	Análisis de Varianzas (ANOVA).....	98
Tabla 29	Subconjuntos de Tukey.....	99
Tabla 30	Subconjuntos de Tukey.....	100
Tabla 31	Análisis de Varianzas (ANOVA).....	100
Tabla 32	Comparaciones múltiples.....	101
Tabla 33	Subconjuntos de Tukey.....	102
Tabla 34	Análisis de Varianzas (ANOVA).....	102
Tabla 35	Subconjuntos de Tukey.....	103
Tabla 36	Subconjuntos de Tukey.....	104
Tabla 37	Prueba T.....	106
Tabla 38	Prueba T.....	107
Tabla 39	Análisis de varianza (ANOVA).....	109
Tabla 40	Subconjuntos de Tukey.....	110
Tabla 41	Subconjuntos de Tukey.....	111
Tabla 42	Análisis de varianza (ANOVA).....	112
Tabla 43	Subconjuntos de Tukey.....	113
Tabla 44	Subconjuntos de Tukey.....	114
Tabla 45	Prueba T.....	115

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Representaciones esquemáticas de la orientación de concretos reforzados con fibras.....	29
Figura 2	Nomograma NRMCA para estimar tasa de evaporación.....	44
Figura 3	Riesgo de fisuración en función de la evaporación del agua.....	46
Figura 4	Curva granulometría árido fino.....	81
Figura 5	Curva granulometría árido fino.....	83
Figura 6	Resumen de los valores de exudación.....	85
Figura 7	Resumen de los valores de reducción de exudación.....	85
Figura 8	Resumen de los valores de exudación.....	87
Figura 9	Resumen de los valores de reducción de exudación con respecto a la DSF.....	87
Figura 10	Resumen de los valores del tiempo de fraguado.....	89
Figura 11	Resumen de los valores de la reducción del tiempo de fraguado con respecto a la DSF.....	89
Figura 12	Resumen de los valores del esfuerzo a la rotura.....	91
Figura 13	Resumen de los valores del incremento del esfuerzo a la rotura con respecto a la DSF.....	92
Figura 14	Resumen de los valores del esfuerzo a la rotura.....	93
Figura 15	Resumen de los valores del esfuerzo a la rotura.....	94
Figura 16	Resumen de los valores del esfuerzo a la rotura.....	95
Figura 17	Comparación entre tratamiento 1 y 2.....	105
Figura 18	Curva T-Student.....	108
Figura 19	Curva T-Student.....	116

RESUMEN

El fenómeno de retracción plástica del concreto es uno de los mayores problemas en el área de construcción porque es la causa principal de la generación de fisuras. Ante esta problemática, se crearon materiales para hacer frente a la aparición de fisuras, como son las fibras de polipropileno, las cuales brindan al concreto tenacidad y resistencia a altas temperaturas y al impacto, ya que mejoran sus propiedades físicas y mecánicas. El presente libro se estructura en cinco capítulos: cuatro teóricos y uno de investigación. Respecto a la investigación propiamente dicha, incluida en el capítulo 4, se establece como objetivo evaluar la retracción plástica del concreto con la adición de fibras de polipropileno en pavimentos rígidos de Juliaca. A partir de esto, se concluyó que la adición de fibras de polipropileno incrementa la resistencia a la compresión; asimismo, la dosificación óptima es 0.9kg/m³ (50 mm).

Palabras clave: concreto, fibras de polipropileno, fisura, retracción plástica, pavimento

ABSTRACT

The phenomenon of plastic shrinkage of concrete is one of the biggest problems in the construction industry because it is the main cause of cracking. In response to this problem, materials were created to address the appearance of cracks, such as polypropylene fibers, which provide concrete with tenacity and resistance to high temperatures and impact by improving its physical and mechanical properties. This book is structured in five chapters: four theoretical and one research chapter. Regarding the research itself, included in Chapter 4, the objective is to evaluate the plastic shrinkage of concrete with the addition of polypropylene fibers in rigid pavements in Juliaca. From this, it was concluded that the addition of polypropylene fibers increases the compressive strength and the optimum dosage is 0.9kg/m³ (50 mm).

Keywords: *concrete, polypropylene fibers, cracking, plastic shrinkage, pavement*

INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia, las construcciones han variado en cuanto a estructura, tamaño y soporte debido a las necesidades que surgen a diario. Hoy en día, muchas de las obras de construcción están destinadas a servir como hogar o como medio de transporte de carga pesada, lo cual requiere que las condiciones físicas de la estructura sean óptimas a fin de que se brinde un buen servicio a la población. Para lograr que las edificaciones cumplan con su funcionalidad sin interrupciones, durante el proceso de construcción se utilizan diversos materiales y aditivos con el propósito de mejorar las propiedades mecánicas y físicas del concreto, para que incremente su resistencia y provea un servicio adecuado.

Uno de los materiales que ha tenido un gran impacto en la construcción es la fibra, la cual ha sido utilizada como material desde hace muchos siglos porque posee propiedades capaces de reforzar y mejorar los materiales de construcción. En un inicio, las fibras fueron de origen vegetal y han ido modificándose hasta obtener fibras de vidrio, asbesto, acero y polimérica (de polipropileno), puesto que, con el transcurso del tiempo, han aparecido muchos problemas en el concreto que requieren ser remediados para evitar daños en la estructura que ocasionen la destrucción de la obra.

Las fisuras son uno de los principales problemas que se visualiza en el concreto en su estado fresco o endurecido, y surgen como consecuencia del fenómeno de retracción, debido a la evaporación del agua. Es un fenómeno que se presenta comúnmente en los pavimentos o en estructuras con grandes superficies horizontales, y es el principal responsable de que aparezca la mitad de las fisuraciones en las construcciones. Debido a esto, se han elaborado ma-

teriales que contrarrestan este problema, ya que al causarse fisuras se generan gastos adicionales en materiales, mano de obra y tiempo, a fin de que se logre un buen proceso constructivo, se eviten las retracciones plásticas y se garantice la resistencia y la durabilidad para que la obra cumpla con su propósito inicial y pueda ser utilizada sin poner en riesgo a las personas.

CAPÍTULO I

CONCRETO

Hoy en día, el concreto u hormigón es el material más usado para la construcción de edificios, puentes, represas, carreteras o casas, por lo que su producción se ha incrementado con el paso de los años. Para su fabricación, se utilizan diversas materias primas, como el agua y la arena, y compuestos químicos, como los agregados, los aditivos y el cemento, los cuales deben cumplir con las especificaciones técnicas para garantizar una mezcla de concreto de calidad. Pese a que es un material de suma importancia, hay ocasiones en que los procedimientos de elaboración, colocación o curado no se efectúan adecuadamente; por este motivo, las propiedades y la calidad del concreto son afectadas negativamente. Sin embargo, no son los únicos factores que inciden en su calidad, ya que también se encuentra la maquinaria, la mano de obra y los factores ambientales, como la temperatura y la humedad.

En este aspecto, es necesario que los encargados de la obra supervisión dichos factores. En cuanto a los materiales, estos deben ser de calidad y de acuerdo con las necesidades de la obra para evitar la generación de fisuras. Respecto al factor mano de obra, se precisa que los trabajadores posean un conocimiento sólido de las labores que van a realizar y se les brinde el tiempo suficiente para efectuar el trabajo manual considerando los fenómenos climáticos, ya que inciden en la obra y ponen en riesgo la salud del obrero. En cuanto a la maquinaria, se debe brindar herramientas y equipos especializados con el objetivo de minimizar la variación de la calidad del producto. Por último, el factor ambiental juega un papel esencial, pues las altas temperaturas elevan

la relación agua/cemento y disminuyen la resistencia del concreto, además de acelerar la pérdida de asentamiento.

Por tanto, la fabricación del concreto es una labor que requiere de materiales de calidad y la experiencia de profesionales, con la finalidad de que se supervise su elaboración y uso para que las construcciones cumplan con las normas nacionales y, principalmente, con el propósito para el cual fueron edificadas.

1.1. ¿Qué es el concreto?

Actualmente, los proyectos de construcción requieren el desarrollo de materiales cuyas propiedades químicas, mecánicas y físicas respondan a las necesidades del proyecto. Debido a esto, disciplinas como la ingeniería han estado desarrollando nuevos materiales para que las obras puedan ser realizadas sin dificultad en torno a los materiales que se usan. Uno de estos nuevos materiales creados es el concreto, el cual destaca por su versatilidad y sus propiedades, por lo que tiene una alta demanda. El concreto es un material de construcción que resulta de la mezcla de cemento, aditivos, grava, agua y arena. Es uno de los materiales más populares en todo el mundo por su durabilidad, resistencia y versatilidad, por lo que es una alternativa viable para aquellos que deseen construir, siempre que se consideren las normas de construcción y la mezcla sea realizada cumpliendo las especificaciones establecidas en la Norma Técnica Peruana (Montero *et al.*, 2023).

El concreto se divide en varios tipos: normal, reforzado, permeable, de alta resistencia, entre otros, los cuales se explican a continuación (Concrelab, 2023):

- Concreto normal o convencional: es el tipo de concreto más utilizado en el área de construcción por su gran cohesión y manejabilidad. Está constituido por arena, Portland, agua y grava, y suele ser empleado para construir columnas, cimientos, losas, vigas y paredes.

- Concreto reforzado: para su elaboración se incorporan mallas o barras de acero en la masa del concreto, con el fin de brindarle una mayor resistencia. Suele ser utilizado para la construcción de edificios de gran altura, puentes y presas.
- Concreto de alta resistencia: posee una resistencia muy alta a la compresión. Suele ser utilizado para la construcción de estructuras que son empleadas para soportar cargas pesadas, por ejemplo, puentes o edificios.
- Concreto permeable: se caracteriza por no impedir el paso del agua pluvial hacia el subsuelo, por lo que se garantiza la recuperación de los mantos freáticos. Se utiliza para construir banquetas, andadores o carpetas de rodamiento.
- Concreto liviano: se caracteriza por tener una menor densidad. Se emplea para construir paredes, pisos y techos.
- Concreto autocompactante: se compacta por sí solo, sin que se requiera compactación o vibración mecánicas. Es utilizado, principalmente, para construir estructuras con formas complicadas.

En general, el concreto es un recurso que brinda grandes beneficios; por ello, es uno de los materiales más usados para realizar obras. Para obtener un concreto de calidad se requiere utilizar una gran cantidad de cemento, a fin de que se mejoren sus propiedades mecánicas y físicas tanto en el concreto fresco como endurecido, y se logre edificar obras aptas para cumplir su función por un largo periodo (Muñoz-Pérez *et al.*, 2021).

1.2. Componentes del concreto

La elaboración del concreto necesita de una serie de elementos para garantizar que sus propiedades sean aptas para el fin por el que está siendo utilizado. Los componentes del concreto se explican en los siguientes acápites.

1.2.1. Cemento

Es uno de los productos más utilizados en la construcción por su resistencia, durabilidad y costo económico. El cemento más usado es el Portland, el cual es un conglomerante que proviene de la mezcla de agua, áridos y fibras de aceros discontinuas, que son elementos que forman un concreto resistente y duradero. Para fabricar el cemento Portland se deben seguir tres pasos (Villao-Vera *et al.*, 2023):

- Extracción de materia prima: se excava la arcilla y la caliza en canteras a cielo abierto con ayuda de excavadoras y explosivos, en caso de que el material sea de difícil extracción.
- Almacenamiento y preparación de la materia prima: si hay pequeñas cantidades de materia prima, se coloca en tolvas o silos; si el volumen es mayor, se coloca en campos cubiertos. La preparación depende del tipo de mineral, el cual debe pasar por una serie de tratamientos con el fin de que cumpla con el tamaño de grano requerido y se garantice la homogeneidad de la mezcla.
- Cocción del crudo: los materiales homogeneizados son colocados en el horno para formar el *clinker*. Durante este paso se producen diversos cambios: secado total del material, descomposición del carbonato cálcico en dióxido de carbono y óxido cálcico, y clinkerización, en la que se forman aluminatos, silicatos y ferroaluminatos de calcio.

Los tipos de cemento son los siguientes (Instituto Nacional de Calidad, 2020):

- Tipo I: es de uso general, siempre que no se requiera propiedades especiales de cualquier otro tipo.
- Tipo II: es de uso general y se utiliza cuando se necesita que la mezcla adquiera resistencia moderada a los sulfatos o al calor de hidratación.

- Tipo III: se utiliza cuando se necesita altas resistencias iniciales.
- Tipo IV: se emplea cuando se requiere un bajo calor de hidratación.

En suma, el cemento es un material de construcción indispensable para la mayoría de las obras, ya que es utilizado por lo menos en una de sus estructuras: techos, paredes, muros, suelos y cimientos; por ello, es necesario que sea de calidad para que al ser mezclado con los demás componentes se garantice la durabilidad y resistencia del concreto.

1.2.2. Agregados

Los agregados son un componente esencial del concreto. Hoy en día, para utilizarlos, se deben cumplir las normas y estándares internacionales, con la finalidad de obtener un resultado adecuado (Cedeño-Cedeño *et al.*, 2022). En un sentido estricto, los agregados se definen como un conjunto de partículas (artificiales o naturales) de diferentes tamaños que se utilizan para la elaboración del concreto. Pueden ser de dos tipos:

- Agregado grueso: es uno de los principales componentes del concreto y puede ser obtenido por medio de la explotación de minas donde haya material pétreo. Debe estar exento de terrones de arcilla, polvo u otras sustancias que puedan afectar la calidad del concreto y su resistencia (Vásquez-Villegas *et al.*, 2022). Caber precisar que está retenido en el tamiz 4.75 mm (n.º 4)
- Agregado fino: proviene de la desintegración de la roca volcánica y, debido a su tamaño, pasa el tamiz de 9.5 mm y se mantiene entre los tamices 4.75 mm (n.º 4) y 75 μ m (n.º 200). Es un agregado que consiste en arenas naturales, las cuales suelen provenir de los ríos, ya que tienen una mejor calidad para elaborar el concreto. La mayoría de las veces, se encuentran cuarzos en estado puro (Matos & Rodríguez, 2018).

Es importante no subestimar la importancia del tipo, uso y calidad del agregado, pues ocupa más del 60 % del volumen del concreto e influye en las propiedades de este en su estados fresco o endurecido. Por ello, es necesario que se acopien durante su transporte para que se evite su segregación y contaminación, y se conserven las características granulométricas hasta que se añadan a la mezcla y se cumpla con las especificaciones establecidas en las normas NTP 400.037 y ASTM C33.

1.2.3. Agua

El agua es uno de los componentes esenciales para elaborar el concreto porque se relaciona con la trabajabilidad, la resistencia y las propiedades de este. Es un insumo que se encuentra en diversas fuentes. Sus efectos son relevantes en la calidad del concreto, por lo cual, se requiere que el agua cumpla con los parámetros fisicoquímicos que se detallan en las normas técnicas, pues si posee ácidos, sales, aceites, materiales orgánicos u otras sustancias, existe la posibilidad de dañar el concreto o el refuerzo. Durante la elaboración del concreto se han identificado dos tipos de agua:

- Agua de mezcla: Es la cantidad de agua que el concreto requiere para que las partículas de cemento se hidraten y para asegurar que se generen las condiciones de manejabilidad adecuadas que permitan colocar y realizar el acabado del concreto en estado fresco.
- Agua de curado: Es la cantidad de agua adicional que el concreto endurecido necesita para alcanzar los niveles de resistencia requeridos.

El concreto requiere de una determinada cantidad de agua, la cual depende de la cantidad de cemento, para que se genere una reacción química que permita endurecer el hormigón. En caso de que haya exceso de agua, se observa la segregación horizontal (escurrimiento de agua por los lados del encofrado o segregación vertical (agua sobrenadante), lo cual debe evitarse porque agrava los defectos de la superficie al aumentar el nivel de filtraciones en el encofrado.

1.2.4. Aditivos

Los aditivos son químicos que se añaden a la mezcla del concreto para modificar determinadas propiedades, ya sea en su estado fresco o endurecido. El uso de aditivos permite optimizar los diseños de mezcla y elevar la durabilidad, la fluidez, la resistencia y la impermeabilidad. Los aditivos pueden ser de diversos tipos, tal como se explica a continuación (Ramírez & Tapia, 2021):

- Tipo A reductor de agua: ayuda a que el concreto alcance un determinado nivel de resistencia.
- Tipo B retardante: ayuda a guardar la mezcla en buen estado, sin que se pierdan sus propiedades.
- Tipo C acelerante de fraguado inicial: acelera el tiempo de fraguado y es utilizado, principalmente, en clima fríos.
- Tipo D reductor de agua y retardante, acelerante de resistencia: disminuye el contenido de agua en la mezcla y plastifica la masa del concreto. Se emplea en clima cálidos.
- Tipo E reductor de agua y acelerante: endurece el concreto y mejora sus propiedades plásticas.
- Tipo F reductor de agua de alto rango: se emplea para concreto postensado o pretensado.
- Tipo G reductor de agua de alto rango y retardante: extiende del tiempo de trabajabilidad del concreto fluido cuando se encuentra a temperaturas altas (máximo 54 °C).
- Tipo AA inclusor de aire: protege al concreto de las sales deshielantes, agua corrosiva y ataque de sulfatos.

En este aspecto, se observa que los aditivos tienen muchos beneficios. Por ejemplo, reducen la segregación, regulan el tiempo de fraguado, incrementan la trabajabilidad, facilitan el bombeo, disminuyen las contracciones del concreto,

entre otros. Para obtener estos beneficios es importante usar los aditivos bajo la supervisión de un personal calificado, para que se añadan las cantidades exactas y se garanticen resultados óptimos; asimismo, las personas encargadas de añadirlos deben usar un equipo de protección personal, pues los aditivos son químicos que irritan los ojos y la piel.

1.3. Propiedades del concreto fresco

El concreto fresco es una mezcla semilíquida que resulta de la combinación de arena, cemento Portland, piedra o grava triturada, y agua. La calidad de este concreto depende de los materiales y la preparación; además, afecta la facilidad con la que puede ser vaciado y realizarse el acabado. Las propiedades del concreto fresco son las siguientes (Vargas, 2021):

Trabajabilidad

Es la propiedad por medio de la cual se determina la capacidad del concreto para que sea colocado y consolidado de manera apropiada, aplicando los medios de compactación.

Consistencia

Es el estado de fluidez del concreto; es decir, si la mezcla es fluida o seca cuando se encuentra en estado plástico. La consistencia depende del agua, la granulometría, el tamaño máximo del agregado y la manera como estos se añaden a la mezcla. La consistencia puede ser seca para un asentamiento de 1"-2" (2.5 cm-5.0 cm), plástica para un asentamiento 3"-4" (7.5 cm-10.0 cm) y fluida para un asentamiento 6"-7" (15.0 cm-17.5 cm).

Segregación

Es la descomposición mecánica del concreto fresco en las partes que los constituyen. Dicha descomposición se efectúa cuando existe una diferencia de densidad y tamaño en las partículas, que pueden ser controlados cuando se aplica una granulometría adecuada y se maneja el material cuidadosamente.

La segregación se divide en dos tipos: interna, cuando las partículas grandes se separan de las pequeñas, y externa, cuando las fuerzas exteriores superan las fuerzas internas de cohesión que, usualmente, son causadas por el transporte (Godoy & Gándara, 2016).

Exudación

Es un proceso por medio del cual el agua de amasado de la mezcla asciende durante el tiempo de duración del fraguado. El agua se eleva debido a que los áridos no tienen la capacidad de arrastrarla durante la compactación. La pérdida generada por este proceso puede ser positiva en ciertos casos porque reduce la relación agua/cemento e incrementa la resistencia del concreto; sin embargo, también puede reducir su impermeabilidad si el agua migra desde el interior (López & Lozano, 2022).

1.4. Propiedades del concreto endurecido

El concreto endurecido surge después de que el proceso de hidratación ha cambiado de un estado plástico a uno rígido, por lo que el concreto comienza a obtener una mayor resistencia y endurecimiento. Las propiedades del concreto endurecido son las siguientes:

Resistencia a la compresión

Es la principal característica mecánica del concreto y es entendida como la capacidad de soporte de carga que el hormigón posee. La resistencia se expresa en porcentajes y se obtiene por medio de términos probabilísticos. Es una propiedad que depende de diversos factores: el contenido de cemento, la relación agua-cemento (A/C), el tipo de cemento, el tipo de agregado, las condiciones de curado y los métodos de compactación (Zambrano *et al.*, 2022).

Durabilidad

Es la propiedad del concreto mediante el cual un elemento cimentado adquiere la capacidad de soportar acciones químicas, físicas, ambientales y bio-

lógicas, las cuales surgen durante la construcción, para conservar sus rasgos y su estado de serviciabilidad (Uribe, 2020). Dichas acciones deben ser previstas durante el diseño estructural para evitar que altere su forma original.

Elasticidad

Es una propiedad mecánica del concreto que permite que los cuerpos puedan deformarse y volver a su estado inicial, lo cual se genera cuando se aplica una fuerza externa al concreto. Debido a que posee esta propiedad, el concreto presenta curvas y ningún tramo recto (Saavedra & Ramírez, 2017).

Impermeabilidad

Es la capacidad del concreto para evitar el paso de fluidos dentro de las instalaciones; debido a esto, el concreto suele ser muy utilizado en zonas con alto nivel de humedad para evitar el despegue de las losas.

Dilatación térmica

Götte *et al.* (2023) indican que es uno de los fenómenos físicos más estudiados porque es necesario conocer el comportamiento de los materiales que son sometidos a variaciones térmicas. En el concreto, la dilatación térmica debe ser mínima, con el propósito de evitar cambios en su volumen. Es preciso destacar que el coeficiente de dilatación fluctúa por cada metro y grado centígrado entre 0.008 mm y 0.012 mm.

1.5. Fraguado del concreto

El fraguado del concreto es el proceso mediante el cual el agua y el cemento comienzan a reaccionar y formar una estructura resistente y sólida. Durante este proceso es importante que se controle la cantidad de agua que se agregue a la mezcla y la temperatura del ambiente porque son factores que inciden en la velocidad del secado. Si la cantidad de agua es alta, el fraguado será lento o la mezcla será menos resistente; si la temperatura es muy baja, se ralentiza el fraguado, en cambio, si es alta, se acelera, lo que afecta en la calidad del

hormigón (Procomo, 2023). Existen una serie de elementos que influyen en el proceso de fraguado, los cuales se describen a continuación (Procomo, 2023):

- **Cantidad de agua:** El agua es necesaria para generar la reacción química que permita el curado del hormigón. Dicho elemento líquido no debe agregarse en exceso porque disminuye la resistencia de la mezcla y hace que el proceso de fraguado demore.
- **Temperatura de fraguado del hormigón:** La temperatura ambiente también influye en el proceso de fraguado. Lo ideal es garantizar que la temperatura sea media para obtener un hormigón fraguado rápido.
- **Aditivos:** Se añade a la mezcla para mejorar las propiedades del concreto. Hay aditivos que aceleran el proceso de fraguado y otros que lo retrasan; además, hay otros, como los aditivos plastificantes, que mejoran la trabajabilidad del concreto, y los aditivos reductores de agua, utilizados para reducir la cantidad de agua para la mezcla a fin de mejorar la durabilidad y la resistencia del hormigón.

Es importante destacar que, durante el fraguado, se debe establecer tiempos para identificar si se requiere añadir aditivos que controlen la velocidad de secado, porque los factores ambientales afectan la velocidad y retrasan el tiempo de fraguado; como consecuencia, se retrasa el desarrollo de la resistencia del concreto.

En suma, el concreto es el material más utilizado en la construcción a nivel mundial, ya que para su producción involucra a diversos profesionales porque son quienes poseen el conocimiento para determinar la cantidad de agua, cemento, aditivos y agregados que se deben añadir, con el fin de obtener un concreto de alta calidad. Es un recurso que se usa para la construcción de puentes, edificios, casas, pavimentos, entre otros; debido a esto, los materiales que se agreguen a la mezcla del concreto deben cumplir con las especificaciones nacionales o internacionales para evitar la generación de fisuras en la obra en un periodo corto de tiempo.

CAPÍTULO II

FIBRAS DE POLIPROPILENO

La reducción de agrietamientos durante y después del proceso de construcción es una de las mayores preocupaciones de los especialistas, pues de ello depende que la obra se culmine y posea un largo periodo de vida útil. Hay muchos factores que influyen en la aparición de grietas en el concreto, por ejemplo, una mezcla inadecuada, temperaturas altas o muy bajas, la curación del concreto, el acabado, la cantidad de agua utilizada y demás. Para esto, se dispone de un cierto número de especialistas quienes poseen el conocimiento teórico y práctico para evitar el agrietamiento; sin embargo, no es el único recurso que se emplea, ya que en las últimas décadas hay un material que se ha estado añadiendo a la mezcla de concreto para mejorar sus propiedades químicas y físicas: las fibras de polipropileno.

Las fibras de polipropileno son un material utilizado para evitar el agrietamiento del concreto, lo cual se debe a que refuerzan las propiedades del concreto y, a partir de ello, incrementan la tenacidad y la resistencia al impacto en su estado endurecido, y controlan la contracción plástica en su estado fresco. Debido a esto, se ha convertido en uno de los materiales más utilizados para estabilizar el concreto, de manera que los pavimentos, el revestimiento de los túneles, las estructuras prefabricadas, las bóvedas y las carreteras tengan la resistencia suficiente para soportar grandes cargas.

Para garantizar dicha resistencia es preciso que se agreguen las cantidades necesarias de fibras, considerando el tamaño de las obras y las cantidades de los otros materiales que son agregados a la mezcla; así también, se debe

tener en cuenta las normas nacionales de construcción para que las obras sean seguras y no supongan un riesgo para las personas cuando estén disponible para el público. De este modo, las fibras de polipropileno otorgan una mayor resistencia a las construcciones, lo cual es importante porque, actualmente, las carreteras y los edificios deben soportar grandes cargas.

2.1. Fibras: definición, tipos y usos

Las fibras son materiales utilizados en la construcción con el objetivo de reforzar y mejorar la resistencia del concreto (Rojales *et al.*, 2021). Asimismo, son elementos que se agregan al concreto para mejorar sus propiedades. Se utilizan en aplicaciones estructurales con el fin de buscar beneficios adicionales, por ejemplo, aumentar la durabilidad del concreto, sobre todo en las construcciones actuales, que requieren una buena base para soportar grandes cargas. Es importante destacar que, para utilizarse, se requiere considerar una serie de aspectos:

- Contar con la supervisión de una especialista para que revise y apruebe el método y el equipo para añadir las fibras a la mezcla.
- Revisar que las fibras no se sedimenten o aglomeren.
- Realizar una prueba antes de aplicarla
- No sobremezclar para evitar que se formen bolsas de fibras.
- Añadir en volúmenes bajo según la cantidad que se requiera.
- Cumplir con las normas nacionales vigentes para garantizar un desempeño adecuado de la estructura.

De acuerdo por el material, los tipos de fibras son los siguientes (Structuralia, 2022):

Fibras de acero

Son filamentos metálicos que brindan mayor resistencia al concreto y mejoran sus propiedades mecánicas. Son pequeños alambres de acero que se mezclan con la arena, el cemento y las piedras, con el propósito de brindar una

mayor resistencia estructural y aumentar el aguante a la flexión, para que el hormigón no se deforme. Es un tipo de fibra que dota de ductilidad al concreto y permite que soporte grandes cargas, por lo que evita la aparición de fisuras durante la construcción. Es uno de los materiales más utilizados para reforzar el concreto; sin embargo, puede ser afectado por factores ambientales, ya que una infraestructura sometida a ambientes agresivos se encuentra propensa a ser corroída y, por tanto, a que disminuya su capacidad de carga y resistencia (Becerra *et al.*, 2023)

Fibra de nylon

Se agrega a la masa del concreto para incrementar su resistencia o control de la fisuración durante el proceso de fraguado. También se utiliza para mejorar la capacidad de bombeo, ya que reduce la pérdida de material en las tuberías.

Fibra de vidrio

Suele ser utilizada para fabricar paneles para las fachadas de los edificios. Este tipo de fibra es proyectada sobre una base mortero para obtener un producto que se caracteriza por tener una alta resistencia a la tracción y la elasticidad.

Fibras naturales

Son un tipo de fibras que han empezado a ser utilizadas en los últimos años. Proceden de materias primas como el plátano, el coco y la caña de azúcar, y se caracterizan por ser resistentes al fuego y por controlar la aparición de fisuras. Luna & Lizarazo-Marriaga (2022) afirman que el uso de las fibras naturales presenta diversas ventajas, entre las que destacan su alta resistencia, baja densidad, rigidez específica y bajo costo. Otras de las ventajas que brinda el empleo de este tipo de fibras son las siguientes: produce menores impactos ambientales, garantiza el buen rendimiento del concreto y genera un impacto positivo en la economía al tener un costo accesible para todas las personas.

Según la geometría, la funcionalidad y la dosificación, los tipos fibras son microfibras y macrofibras (Sika, 2011):

- Microfibras: se utilizan para evitar la generación de fisuras en el concreto fresco. Las microfibras empleadas con mayor frecuencia son las fibras de polipropileno que se caracterizan por tener un peso que oscila entre 0.3 a 1.2 kg/m³. Se emplean, principalmente, para construir pavimentos, pisos, prefabricados, entre otros, ya que reducen la fisuración hasta que pase a un estado endurecido.
- Macrofibras: son fibras destinadas a prevenir la fisuración del concreto en estado endurecido para garantizar el correcto funcionamiento de la estructura. Los tipos de macrofibras más usados son las metálicas y las sintéticas. Es importante destacar que las macrofibras se añaden a la mezcla como si se tratase de un agregado más y no alteran la compresión, o lo hacen de manera leve.

En general, las fibras para el concreto son utilizadas en bajos volúmenes y han demostrado tener una alta eficiencia para controlar la generación de fisuras, además de incrementar la resistencia y reducir la abertura de fisuras. Usualmente, son de acero, vidrio, *nylon* o naturales, y se aplican dependiendo del tipo de construcción que se elaborará.

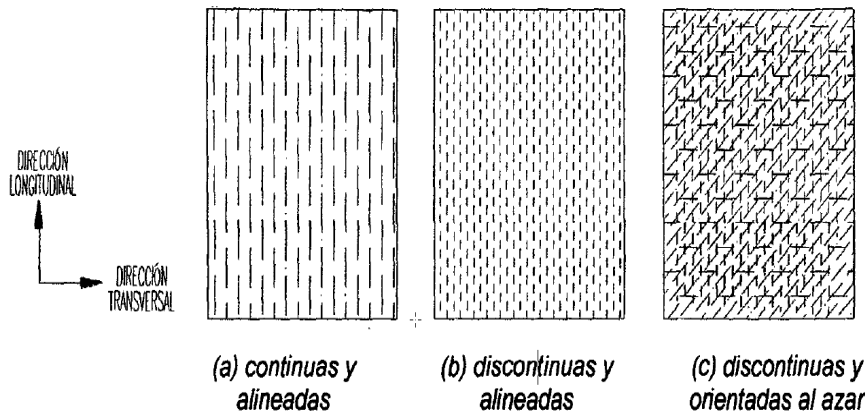
2.2. Concreto reforzado con fibras: parámetros

Johnston (2011) indica que la orientación de una fibra en la matriz con relación al plano de fisura o rotura incide fuertemente en la habilidad que posee para la transmisión de cargas. Una fibra posicionada paralelamente al plan de rotura no genera efecto alguno; en cambio, una fibra colocada perpendicularmente tiene efecto máximo. Respecto a la orientación de la fibra se han identificado dos situaciones extremas:

- Alineación al azar
- Alineación paralela de los ejes longitudinales de las fibras

Las fibras continuas están usualmente alineadas, a diferencia de las fibras discontinuas, que pueden alinearse o bien pueden ser orientadas al azar o alinearse de manera parcial, tal como se observa en la Figura 1.

Figura 1: Representaciones esquemáticas de la orientación de concretos reforzados con fibras



Nota. Tomado de Valero (2015)

Cabe precisar que la forma en que el concreto fresco se compacta condiciona la orientación de la fibra en una dirección previsible.

2.3. Dosificación de la fibra

La dosificación se define como la cantidad de los diferentes componentes del concreto (agua, grava, arena y cemento) que se aplica una cantidad determinada de mezcla. Existen diferentes métodos de dosificación entre los que destacan el método ACI, de densidad óptima, de agregado global, y los métodos Walker y Fuller (Espinal & Rimachi, 2020; Salinas *et al.*, 2023).

- Método ACI: se considera primero el agua de la mezcla, cuya cantidad depende del tamaño máximo del agregado y el revenimiento.
- Método de densidad óptima: permite conocer la cantidad exacta de agregados, cementos y agua que debe emplearse, lo cual depende del asentamiento y la resistencia que se desea obtener.

- Método del agregado global: es una técnica experimental que consiste en hallar las proporciones máximas de ambos agregados y los usos granulométricos más adecuados, lo cual se obtiene variando las proporciones del agregado grueso y fino, para garantizar la compacidad y trabajabilidad de la muestra.
- Método Walker: se basa en la relación agua/cemento para determinar las proporciones más adecuadas que deben utilizarse en la mezcla de concreto.
- Método Fuller: se basa en la relación agua/ cemento y el módulo de finura de la mezcla, los cuales son necesarios para determinar las proporciones más adecuadas que deben utilizarse en la mezcla de concreto.

Respecto a la dosificación de la fibra, una alta dosis de fibras brinda una mayor resistencia posfisuración y evita la generación de fisuras, ya que las fibras absorben las cargas producidas por fuerzas externas. Para este tipo de dosificación se consideran los siguientes aspectos (Barros, 2014):

Módulo de elasticidad de la fibra

Un alto valor de módulo de elasticidad ocasiona que su efecto sea semejante a la dosis de fibra. En la práctica, la probabilidad de que haya un arrancamiento de las fibras aumenta cuando el módulo es mayor.

Adherencia entre la fibra y la matriz

Las características de patrones de rotura, deformación y resistencia de los compuestos cimentados que han sido reforzados con fibras dependen, en la mayoría de los casos, de la adherencia fibra-matriz. Una adherencia alta entre la matriz y la fibra disminuye el tamaño de las fisuras.

Resistencia de la fibra

Cuando la resistencia se aumenta por medio del uso de las fibras, también se incrementa la ductilidad del compuesto. En la práctica, la resistencia de la

fibra depende de tres aspectos: las características posfisuración que se deseen, las propiedades de adherencia fibra-matriz y la dosis de fibra.

Deformidad de la fibra

La ductilidad puede ser incrementada por medio del uso de las fibras que tengan una alta deformación a la rotura, lo cual se debe a que este tipo de fibras consumen energía bajo la forma de estiramiento de la fibra.

Compatibilidad entre la fibra y la matriz

La compatibilidad física y química entre la matriz y las fibras es muy importante. A corto plazo, la absorción del agua por parte de las fibras ocasiona que se pierda la trabajabilidad del concreto. Además, las fibras que absorbieron agua son propensas a sufrir variación de volumen, lo que ocasiona que la adherencia fibra-matriz quede comprometida.

Longitud de la fibra

Si la longitud de la fibra es menor, existe una mayor posibilidad de que sea arrancada. Cuando la fibra es afectada por una tensión ocasionada por una cizalladura superficial, se recomienda utilizar una fibra cuya resistencia sea capaz de soportar la tensión de fuerzas externas con el fin de evitar la generación de fisuras.

Es importante destacar que el método que se utilice para la dosificación de la fibra debe ser aplicado de acuerdo con las necesidades del proyecto, y cumpliendo las regulaciones y normas nacionales.

2.4. Fibras de polipropileno

Las fibras de polipropileno son un material compuesto por fibras discontinuas o continuas ensambladas en una matriz plástica. Son económicas y se mezclan con facilidad con los demás componentes que se usan en la mezcla del concreto. Se caracterizan por tener una fuerte resistencia a los factores climáticos, además de permitir su reversibilidad e identificación en caso de que se

requiera. En este aspecto, se puede afirmar que las fibras de polipropileno son adecuadas para las construcciones que se encuentran en un clima con cambios constantes. Así también, son apropiadas para controlar el agrietamiento explosivo cuando se procede con el calentamiento del concreto para evitar el rompimiento de la estructura (Cuyán *et al.*, 2021).

La fibra de polipropileno posee una serie de características, entre las cuales destacan las siguientes:

- Es compatible y versátil con la mayor parte de las técnicas de procesamiento.
- Es resistente a los álcalis e inoxidable.
- Evita el traspaso de humedad al crear una barrera.
- No requiere de mano de obra especializada, ya que es de fácil aplicación.
- Reduce de la segregación.
- Sirve para reforzar el concreto.
- Tiene una excelente relación costo/beneficio.

Para utilizar la fibra de polipropileno se debe considerar dónde será añadida: a) concreto en obra, en el cual la fibra es añadida al momento de efectuar la mezcla; b) en un camión revolvedor o mezcladores mecánicas, donde el producto se añade junto con los demás materiales; c) en planas de concreto premezclado, en el que la fibra se añade directamente al concreto premezclado y luego se mezcla durante un tiempo de 3 a 5 minutos para obtener una mezcla homogénea.

El uso de fibras en el concreto es muy eficaz porque genera cierta resistencia a la retracción plástica, el agrietamiento y brinda mayor tenacidad, lo cual es importante durante la construcción, pues evita que el concreto sea deformado por fuerzas externas, como el peso o la temperatura, y refuerza la estructura para que tengan un periodo prolongado de duración (Dias *et al.*, 2019).

2.5. Tipos de fibras de polipropileno

De acuerdo con Hernández *et al.* (2018), los tipos de fibras de polipropileno son dos:

Fibras microsintéticas

Son las fibras cuyos diámetros son menores a 0.3 mm (0.012 pulgadas). Además, son utilizadas en un rango de 0.05 al 0.2 % por volumen. Las fibras microsintéticas son materiales poliméricos plásticos, por lo que pueden ser modificadas mediante el moldeo, hilado o extrusión hasta que se obtenga la forma deseada. Se caracterizan por tener una relación resistencia/densidad alta, aislamiento eléctrico y térmico, y ser resistentes a los álcalis, los ácidos y los disolventes. Las moléculas que componen a estas fibras pueden ser entrecruzadas, ramificadas o lineales, según el tipo de plástico. Cabe precisar que las dos últimas son termoplásticas, por ello, se ablandan con el calor; en cambio, las entrecruzadas se caracterizan por ser termoendurecibles, es decir, se endurecen con el calor.

Fibras macrosintéticas

Son las fibras cuyos diámetros son mayores a 0.3 mm (0.012 pulgadas). Son utilizadas en un rango de 0.2 al 1.0 % por volumen. Las fibras macrosintéticas son adecuadas para elaborar bloques de perforación vertical porque impiden el colapso y desmoronamiento del bloque cuando se aplica la carga a compresión, lo cual es beneficioso porque permite el incremento de la resistencia en 15 %.

De acuerdo con la norma ACI 544.1 R-96, las fibras de polipropileno se clasifican de la siguiente manera (American Concrete Institute, 2002):

Monofilamentos

Son producidos durante la extrusión, que es un proceso en el que el material es trazado en calor por medio de un disco de sección circular con la finalidad de generar diversos filamentos continuos.

Fibriladas

Son producidas durante la extrusión, en la que se utiliza un disco es rectangular con el propósito de generar hojas de película de polipropileno tejidas de forma longitudinal. Este tipo de fibras se manufacturan en pequeños paquetes fibrilados; en otros términos, en muchas fibras pequeñas. Dichos paquetes son cortados durante el proceso de mezclado del compuesto para obtener fibras individuales o paquetes más pequeños.

2.6. Ventajas y desventajas del uso de fibras de polipropileno

Las fibras de polipropileno poseen muchas ventajas, pero también tienen ciertas desventajas, las cuales se detallan a continuación:

Ventajas

- Las fibras de polipropileno se añaden manualmente, lo cual incrementa la compatibilidad con los demás componentes del concreto.
- Son de fácil manejo, transporte y adición.
- Evitan la corrosión y la formación de grietas.
- Mejoran las propiedades del concreto porque al distribuirse de manera uniforme, actúan en todas las direcciones.
- Son económicas.
- Reducen la contracción, la permeabilidad y la resistencia al impacto.
- No inciden en el proceso de hidratación del cemento.
- Poseen resistencia ante los álcalis.
- Reducen la segregación y el agua de exudación.

Desventajas

- No pueden ser utilizadas para sustituir el refuerzo principal.
- Poseen un módulo bajo de elasticidad.
- Reducen la consistencia del concreto.

- Suponen un inconveniente respecto a la adherencia de las fibras a la matriz cementosa porque las fibras no absorben agua durante la mezcla ni luego del fraguado.

En suma, las fibras de polipropileno son un material constituido por fibras discontinuas o continuas, las cuales se encuentran ensambladas en una matriz plástica. Suelen ser utilizadas como material de refuerzo no solo por su costo económico, sino también por los diversos beneficios que poseen, por ejemplo, mejoran la resistencia y la rigidez del concreto, poseen una buena estabilidad cuando son sometidas a altas temperaturas, son compatibles con la mayoría de las técnicas de procesamiento, entre otras. Debido a esto, suelen ser utilizadas para la construcción de túneles, carreteras, pavimentos industriales y morteros especiales, ya que se trata de un material que optimiza las propiedades del concreto y garantiza una mayor duración de la obra.

CAPÍTULO III

RETRACCIÓN PLÁSTICA DEL CONCRETO

El concreto es el material de construcción más utilizado en el mundo porque brinda diversos beneficios que permiten construir estructuras durables y más seguras. Para esto, se deben utilizar materiales de calidad, tener un equipo capacitado y seguir las normas de construcción para garantizar que la obra cumpla con el propósito por el cual fue realizado. Si bien estos elementos son indispensables para que las construcciones sean seguras, también deben considerarse otros aspectos, como la temperatura, el viento, la humedad y el peso, ya que tienen una alta demanda de carga en el concreto, pues pueden afectar su estructura y, en el peor de los casos, generar agrietamientos profundos.

El fenómeno por medio del cual se producen las fisuras se denomina retracción o contracción plástica del concreto. Este ha sido identificado como un problema que se presenta con mucha frecuencia en el proceso de construcción, específicamente, cuando aún no se ha iniciado con el fraguado, es decir, cuando el concreto aún se encuentra en estado plástico. La contracción plástica se debe a la pérdida de humedad del concreto que ocurre por la combinación de diferentes factores, como la velocidad del viento, la humedad relativa y la temperatura del concreto y el aire. La unión de estos factores ocasiona que se generen niveles de evaporación alto en la superficie. Para simplificar, la contracción plástica es el resultado de la rápida pérdida de agua de la superficie del concreto antes del proceso de fraguado.

Aunque las fisuras que se forman al inicio son poco profundas, si no se tratan a tiempo, pueden crecer y aumentar su tamaño, de pocos milímetros a metros, hasta que abarquen la totalidad del elemento. Para evitar esta situación, se incorporan fibras sintéticas en la mezcla de hormigón, pues se ha demostrado que poseen características que ayudan a la formación de una microarmadura con la cual el concreto obtiene una mayor resistencia. De este modo, se reduce la generación de agrietamientos durante el proceso de construcción y se obtiene un concreto resistente y durable, capaz de brindar seguridad.

3.1. Retracción plástica

La retracción plástica es un proceso mediante el cual el concreto pierde humedad de manera muy rápida por la humedad relativa, la temperatura del aire y la velocidad del viento en la superficie del concreto. Es uno de los procesos que se observa con mayor frecuencia en el concreto, por lo que continuamente se buscan materiales innovadores que controlen o mitiguen este proceso y se logre controlar las fisuras, por ejemplo, las fibras sintéticas, que han demostrado ser un material de construcción eficaz al controlar el fisuramiento y brindar una mayor resistencia al concreto ante la flexión.

La retracción plástica es el proceso mediante el cual el volumen del concreto varía, debido a que se genera la pérdida de agua por evaporación. Este efecto genera tensiones, las cuales se reflejan en la aparición de fisuras externas o internas que, en la mayoría de las veces, no presentan un problema estructural; sin embargo, si no es controlado a tiempo se crea la posibilidad de que en un futuro se generen daños en la estructura. Las grietas que se formen por retracción plástica se caracterizan por ser poco profundas al inicio, pero van aumentando su profundidad si no son tratadas a tiempo (American Concrete Institute, 2013).

3.2. Fisuración del concreto

La fisuración del concreto se refiere a roturas que se generan en la superficie del material por la existencia de tensiones que superan la capacidad de resistencia del concreto. Es conocimiento que la fisuración es inevitable en las obras realizadas con concreto; no obstante, pueden ser controladas si se aplica un adecuado diseño para que se evite que el concreto sea vulnerable a cloruros, reacción álcali-silica, sulfatos y carbonatación, y se garantice su buen comportamiento en durabilidad y servicios.

La temprana identificación de patrones de fisuración es un indicador de que existe una patología en el concreto, por lo que debe ser inspeccionado en el menor tiempo posible para identificar las causas y comenzar con el proceso de curado. Cabe precisar que el reconocimiento de los patrones requiere de un observador experto con el propósito de que inspeccione las zonas afectadas y se realice un reporte detallado (Sánchez & Bairán, 2017). Las fisuras se presentan en tres tamaños:

- Microfisuras: $e < 0.05$ mm. Suelen carecer de importancia.
- Fisuras: $0.1 < e < 0.2$ mm. Son poco peligrosas, salvo en ambientes agresivos en los que puede favorecer la corrosión.
- Macrofisuras: $e > 0.2$ mm. Son las fisuras que tienen repercusiones estructurales de importancia.

Las fisuras con ocasionadas por las siguientes causas:

1. Causas intrínsecas: contracción térmica inicial, asentamiento plástico, retracción plástica, ahogado, corrosión de armaduras y retracción hidráulica.

- Contracción térmica inicial: aparece en el día primero y en el quinto después de que el concreto ha sido vertido y se ha terminado su fraguado. Surge como consecuencia de las altas temperaturas generadas en el núcleo del concreto (debido a la hidratación del cemento), las cuales produ-

cen tensión en las zonas más frías, es decir, las que están en contacto con el ambiente. Este tipo de contracción suele presentarse en las losas, los muros de contención y aquellos elementos de gran espesor (Broto, como se cita en Sánchez, 2018).

- Asentamiento plástico: ocasionado por la migración del agua del concreto hacia la superficie del material.
- Retracción plástica: el concreto pierde humedad debido a la temperatura, la velocidad del viento y la humedad.
- Afogado: fenómeno en que el concreto se agrieta por estar expuesto a un excesivo soleamiento.
- Corrosión del concreto armado: es un problema que afecta la integridad de la estructura y compromete la resistencia de los elementos, lo cual se debe a que la permeabilidad es una característica que favorece la reducción del espesor de la armadura, la generación de la corrosión y las fallas por agrietamiento (Guerrero & Montoya, 2016).
- Retracción hidráulica: es la reducción del volumen del concreto provocada por la exposición continua a un ambiente no saturado de humedad y la pérdida química y física del agua durante la etapa final del proceso de endurecimiento (Díaz *et al.*, 2021).

2. Causas extrínsecas: deformaciones impuestas y solicitaciones excesivas. La primera se refiere a la alteración del estado físico del concreto causada por una fuerza mecánica externa, un cambio en la temperatura, entre otras. Las solicitaciones excesivas abarcan la tracción, la compresión, la flexión, el punzonamiento y la torsión.

3.3. Tipos de fisuras

Los tipos de fisuras que existen son dos: en estado plástico y en estado endurecido, las cuales se detallan a continuación:

3.3.1. En estado plástico

- **Retracción plástica**

Es uno de los procesos que aparece con mayor frecuencia en el concreto durante la construcción. Este fenómeno se genera en el concreto cuando se encuentra en el encofrado, previo al endurecimiento del hormigón, y suele presentarse en todas las mezclas. Se han realizado diversos estudios para mitigar la retracción plástica, ya que suele causar diversas fisuras en la construcción. Algunas de las soluciones que se han planteado son añadir fibras sintéticas a la mezcla del concreto para mejorar sus propiedades o agregar mallas electrosoldadas (Llanos & Mellado, 2020).

- **Asentamiento plástico**

Las fisuras por asentamiento plástico son ocasionadas cuando el concreto se asienta como consecuencia de la sedimentación de partículas pesadas. El asentamiento plástico reduce el nivel de la superficie alrededor del refuerzo, el cual restringe el asentamiento. Es un tipo de fisura que se presenta cuando el asentamiento tiene una elevación muy alta, el diámetro de las armaduras es demasiado grande, hay un insuficiente recubrimiento del refuerzo y por la acumulación de agua debajo del refuerzo que, cuando se evapora, deja un vacío (Pombo & Zerbino, 2021). Las fisuras ocasionadas por asentamiento plástico aparecen en un periodo de 10 minutos y 3 horas, y su tamaño suele ser entre 0.5 a 2 mm.

- **Movimiento de encofrado**

El encofrado es un sistema de moldes de carácter temporal utilizado para dar forma al concreto durante el fraguado. Es temporal debido a que una vez que culmina el proceso de fraguado, se retira, ya que el concreto ya ha adquirido la resistencia necesaria (Martínez *et al.*, 2019). Es importante que el encofrado sea construido y reforzado de tal manera que resista la presión del concreto, caso

contrario se generan fisuras por el movimiento, lo cual conllevaría a realizar de nuevo el proceso hasta que la estructura quede uniforme y con una resistencia apta para continuar construyendo.

3.3.2. En estado endurecido

Fisuras físicas

- **Retracción por secado**

El volumen del concreto disminuye cuando se encuentra expuesto a un ambiente seco. La magnitud de la retracción depende de diversos factores: el contenido del agua; el contenido y las propiedades de los materiales; el contenido y el tipo de los agregados y el cemento; la humedad y la temperatura del ambiente; las dimensiones y la edad de exposición de los elementos estructurales (Pombo & Zerbino, 2021).

- **Afogarado**

Es un fenómeno que ocurre en el concreto como consecuencia de un excesivo soleamiento durante el fraguado, lo cual genera diversos agrietamientos superficiales entrecruzados, muy pequeños y totalmente inocuos. La fisuración por afogarado se manifiesta en la superficie de la estructura en forma de escama, piel de cocodrilo o mapa, que, cuando se frota, disgrega la superficie soltando arenilla.

Fisuras químicas

- **Corrosión del acero**

Es ocasionada por la destrucción de la capa pasivadora que se forma de manera natural sobre el acero. Se debe a la alcalinidad del concreto que reacciona a la presencia de cloruros o sustancias ácidas; no obstante, el mayor factor que ocasiona la corrosión es la permeabilidad del recubrimiento, la cual es influenciada por los procesos de difusión, que reducen el pH del concreto, generan carbonatación y aceleran la corrosión del acero, principalmente, si este se encuentra en una zona húmeda. La corrosión de acero es uno de los mayores

problemas de las estructuras porque afecta su integridad estructural y genera un alto costo de reparación y mantenimiento (Balan-Ortiz *et al.*, 2017).

- Reacción álcali-sílice

La reacción álcali-sílice es una reacción deletérea que surge en el interior del concreto cuando reacciona a los iones alcalinos que se encuentran presentes en los poros del cemento (Almenar *et al.*, 2016). Esta reacción se manifiesta luego de varios años de haber culminado la obra y ocasiona expansión, fisuración y destrucción del concreto. Los factores que inducen a este tipo de reacción son los siguientes: agregados que contengan sílice reactiva, estructura del concreto con características alcalinas y alta concentración de humedad.

- Carbonatación de concreto

Es un fenómeno fisicoquímico que ocasiona alteraciones en el concreto, por ejemplo, reduce la alcalinidad y la permeabilidad, y la corrosión de la armadura. La carbonatación reduce el pH del concreto, lo que ocasiona la corrosión del acero, el cual es necesario para brindar soporte a la estructura. Durante la carbonatación, el pH desciende de 12.5 a 8 unidades, y bajo estas condiciones la barra de refuerzo pierde su estado pasivo y se desarrolla la corrosión del acero. Para identificar la profundidad de este fenómeno se utiliza un indicador ácido-base de color, que se rocía en la superficie del concreto; no obstante, es una técnica que solo permite conocer el valor aproximado del pH (Huertas, 2019).

Fisuras hidrotérmicas

- Contracción térmica

Surge cuando el concreto ya endurecido se contrae como resultado de algún enfriamiento brusco. Para ejemplificar, el concreto expuesto a la noche fría después de un día caluroso ocasiona el agrietamiento del concreto (Pombo & Zerbino, 2021).

- Ciclos de hielo-deshielo

Es un fenómeno cíclico de congelamiento y descongelamiento del agua que se encuentra en los poros del hormigón en estado endurecido y se presenta

en un periodo de tiempo específico. El deterioro por los ciclos de hielo-deshielo es suficiente para que se inicie con el proceso de corrosión de las armaduras, ya que el ingreso del agua, junto con la penetración del ion cloruro y el daño de la microestructura contribuyen con el proceso de deterioro.

Fisuras estructurales

- Cargas directas

De acuerdo con la norma E.020, la carga se define como la fuerza del peso que posee cada material de construcción, los cambios dimensionales restringidos, los movimientos diferenciales y los efectos del medioambiente. Existen dos tipos de cargas: muerta y viva (Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción, 2020):

- Carga muerta: es el peso de los materiales, los equipos, los dispositivos de servicio, los tabiques y otros elementos que la edificación soporta, incluyendo su peso propio, los cuales deben ser permanentes o tener una mínima variación de magnitud en el tiempo.

- Carga viva: es el peso de todos los materiales, ocupantes, muebles, equipos y otros elementos movibles que la edificación soporta.

- Deformaciones impuestas: es la alteración del estado físico del concreto por fuerzas mecánicas externas.

Las fisuras del concreto se generan por diversas causas; por ello, es importante estudiar el panorama y revisar los materiales con el propósito de evitar agrietamientos durante la construcción y garantizar la resistencia de la obra.

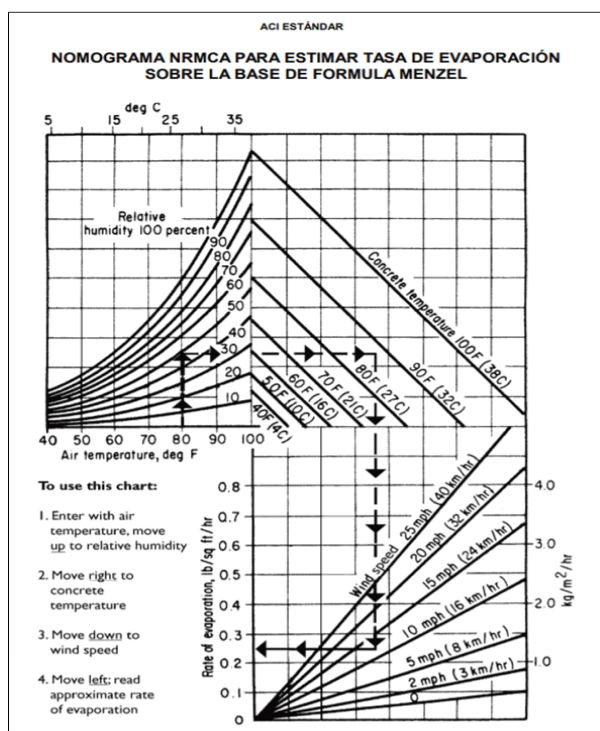
3.4. Fisuración por retracción plástica

La fisuración por retracción plástica es ocurre cuando el concreto pierde humedad rápidamente debido a la humedad relativa, la temperatura del aire y la velocidad del concreto, los cuales afectan su superficie. Al combinarse, estos factores provocan altos niveles de evaporación superficial, independientemente de si es un clima frío o caluroso. Si la humedad de la superficie del concreto se

evapora más rápido de lo que fue colocado, el concreto tenderá a contraerse. Debido a esto, se genera una restricción debajo de la capa superficial del concreto (concreto débil) y se desarrollan tensiones de tracción que generan fisuras poco profundas, pero de profundidad variable, ya que pueden aparecer paralelamente o en un patrón diagonal.

Si bien, no es posible predecir de manera certera cuándo se va a generar la retracción plástica; no obstante, de acuerdo con lo expuesto en el ACI 305R, se establece que cuando la velocidad de evaporación excede a $1 \text{ kg/m}^2/\text{hr}$, se deben proponer obligatoriamente medidas preventivas. En la literatura técnica se señala que los agrietamientos se presentan cuando la tasa de evaporación es mayor a $0.5 \text{ kg/m}^2/\text{hr}$.

Figura 2: *Nomograma NRMCA para estimar tasa de evaporación*



Nota. Tomado de American Concrete Institute (2007)

En la Figura 2 se observan los valores de la temperatura del aire, la humedad relativa, la temperatura del concreto y la rapidez del viento, con la finalidad de identificar la tasa aproximada de evaporación. Para esto, se siguen los pasos que se detallan a continuación (American Concrete Institute, 2007):

- Identificar la temperatura del aire y, luego, subir para determinar la humedad relativa
- Dirigirse a la sección derecha para determinar la temperatura del concreto
- Dirigirse a la sección de abajo para determinar la rapidez del viento
- Dirigirse a la sección izquierda para leer la tasa aproximada de evaporación

Al respecto, es necesario considerar que la velocidad del viento es el promedio de la velocidad del viento horizontal o el aire (km/h), el cual debe ser medido a 20 pulg. (0,5 m) por encima de la superficie de evaporación. La humedad relativa y la temperatura del aire se miden de 4 a 6 ft (1.2 a 1.8 m) por arriba de la superficie de evaporación en una zona que esté protegida de los rayos del sol y el viento.

Otra forma de calcular la tasa de evaporación es aplicando la siguiente ecuación (Consejo Integrador de la Construcción, 2020):

$$E = 5([T_c + 18]^{2.5} - r [T_a + 18]^{2.5} (V + 4) \times 10^{-6}$$

Donde

E = tasa de evaporación, kg/m²/hr

T_c = temperatura de concreto (superficie del agua), C.

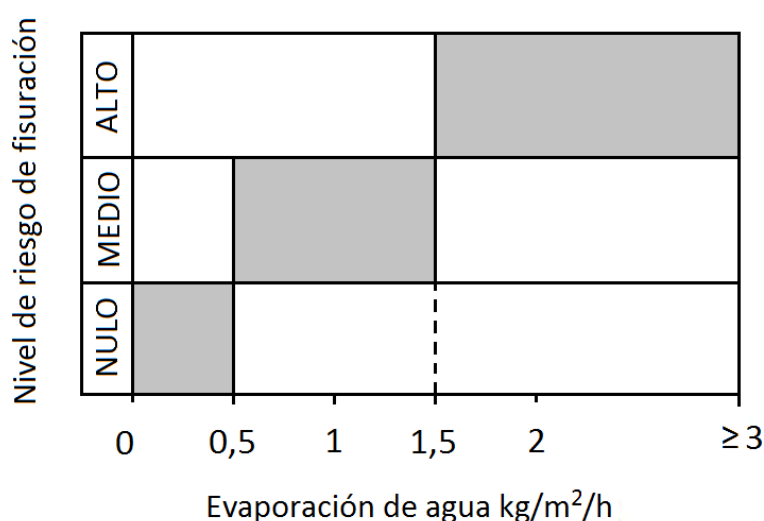
T_a = temperatura del aire, C.

r = (RH porcentaje) /100

V = velocidad del viento, kph

En la Figura 3 se presenta el nivel de riesgo de fisuración según la evaporación de agua.

Figura 3: *Riesgo de fisuración en función de la evaporación del agua*



Nota. Tomado de Yepes (2023)

Las fisuras que se forman por retracción plástica suelen ser bastante anchas en la superficie. Su longitud varía entre milímetros y más de un metro, y su separación mínima es en milímetros y puede alcanzar los tres metros. Es importante destacar que la retracción plástica ocasiona, en un inicio, fisuras poca profundas, pero puede incrementarse hasta que abarque la totalidad de la altura del elemento.

Debido a que la fisuración por retracción plástica es consecuencia de un cambio diferencial del volumen del concreto, para que las medidas de control sean exitosas es necesario que se reduzca el cambio de diferencia del volumen entre la superficie y las otras partes que constituyen el concreto. Asimismo, para impedir la pérdida de humedad ocasionada por los vientos secos y las altas temperaturas, se pueden adoptar las medidas que se describen en ACI 305R, ACI 302.1R y ACI 224R. En estas medidas se incluye el uso de láminas plásticas para cubrir las superficies y boquillas de niebla con el fin de saturar el aire en contacto con las superficies. También se emplean los rompevientos y los parasoles para reducir la velocidad del viento y la temperatura superficial (Barlow *et al.*, 1993).

CAPÍTULO IV

EVALUACIÓN DE LA RETRACCIÓN PLÁSTICA DEL CONCRETO CON LA ADICIÓN DE FIBRAS DE POLIPROPILENO EN PAVIMENTOS RÍGIDOS DE LA CIUDAD DE JULIACA

Las vías son un medio de comunicación necesario para que las personas puedan mejorar su estilo de vida. Para esto, es necesario que todas las construcciones realizadas en la vía pública se efectúen con productos adecuados (materiales y aditivos), y sean supervisadas constantemente para verificar un resultado óptimo, de manera que cumplan su funcionalidad sin interrupciones. Ahora bien, para lograr una durabilidad y una resistencia adecuadas de las construcciones se requiere que las propiedades físicas y mecánicas del concreto tengan óptimos valores, pues depende de estos el que el pavimento evite sufrir fisuras a corto plazo y se garantice una larga vida útil al diseño.

Considerando estos aspectos, existe la necesidad de brindar al pavimento mayor resistencia y durabilidad, lo cual es posible con el uso de fibras de polipropileno, puesto que son materiales cuyas características son adecuadas para obtener un concreto durable y resistente. Estas fibras son esenciales en lugares donde el clima ocasiona que se eleve la tasa de evaporación, como la ciudad de Juliaca, la cual posee un clima frío, lluvioso, seco y con velocidades de viento fuertes que ocasionan que la evaporación se eleve y perjudique el concreto, al generar cambios volumétricos, resistencias mecánicas bajas y fisuración en el concreto

Ante este panorama, se realizó un estudio con el fin de determinar si las fibras de polipropileno tienen la capacidad de controlar las fisuras asociadas que surgen en los pavimentos por retracción plástica, ya que dichas fibras actúan como un refuerzo secundario del concreto, además de ser un recurso práctico, conveniente y económico para superar estas deficiencias, de tal manera que las construcciones tengan una mayor duración, cumplan los fines para los cuales fueron elaboradas y, principalmente, brinden soporte a la población durante la realización de sus actividades.

Objetivos

Objetivo general

Evaluar la retracción plástica del concreto con la adición de fibras de polipropileno en pavimentos rígidos de la ciudad de Juliaca.

Objetivos específicos

- Comparar la diferencia de los efectos de la adición de fibras de polipropileno largas y cortas para reducir la fisuración por retracción plástica del concreto en pavimentos rígidos de la ciudad de Juliaca.
- Determinar el efecto de las fibras de polipropileno en la resistencia a la compresión del concreto de diseño $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ en pavimentos rígidos de la ciudad de Juliaca.
- Establecer la dosificación óptima de fibras de polipropileno a utilizar para reducir la fisuración por retracción plástica del concreto en pavimentos rígidos de la ciudad de Juliaca.
- Analizar la medida en que se reduce la fisuración por retracción plástica del concreto con la adición de fibras de polipropileno en pavimentos rígidos de la ciudad de Juliaca.

Hipótesis

Hipótesis general

Se controlará la retracción plástica del concreto con la adición de fibras de polipropileno en pavimentos rígidos de la ciudad de Juliaca, será en un 90 %.

Hipótesis específicas

- La diferencia de los efectos de la adición de fibras de polipropileno largas y cortas para reducir la fisuración por retracción plástica del concreto en pavimentos rígidos de la ciudad de Juliaca es similar entre ambas.

- El efecto de las fibras de polipropileno en la resistencia a la compresión del concreto de diseño $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ en pavimentos rígidos de la ciudad de Juliaca, será positivo, al aumentar la resistencia a la compresión del concreto en un 5 %.

- La dosificación óptima de fibras de polipropileno a utilizar para reducir la fisuración por retracción plástica del concreto en pavimentos rígidos de la ciudad de Juliaca, es de 900 gr/m^3 .

- La medida en que se reduce la fisuración por retracción plástica del concreto con la adición de fibras de polipropileno en pavimentos rígidos de la ciudad de Juliaca es en un 90 %.

Operacionalización de variables

En el presente estudio se utilizan dos variables:

1. Variable independiente: Adición de fibras de polipropileno.

Sus dimensiones son las siguientes:

- Dosificación
- Propiedades
- Tipos

2. Variable dependiente: Retracción plástica del concreto

Sus dimensiones son las siguientes:

- Dosificación
- Estado fresco
- Estado endurecido
- Factores ambientales

Tabla 1. *Operacionalización de variables*

Variable	Dimensiones	Indicadores	Instrumento de medición
Independiente Adición de fibras de polipropileno	Dosificación	Diseño de mezclas	Hormigón reforzado con fibra (ACI 544.1R-96) Fichas técnicas de las fibras de polipropileno
	Propiedades	Físicas	
		Mecánicas	
	Tipos	Microfibras largas	
		Microfibras cortas	
Dependiente Retracción plástica del concreto	Dosificación	Diseño de mezclas	Secuencia del diseño de mezclas según ACI-211
	Estado Fresco	Trabajabilidad	Ensayo de asentamiento del concreto con el Cono de Abrams (NTP 339.035)
		Exudación	Ensayo gravimétrico para la exudación del concreto (NTP 339.077)
		Tiempo de fraguado inicial y final	Ensayo de tiempo de fraguado de mezclas mediante la resistencia a la penetración (NTP 339.082)
		Temperatura del concreto	Ensayo para determinar la temperatura del concreto (NTP 339.184)
		Evaporación superficial del hormigón	Nomograma de Menzel (ACI 305.1-06)
		Fisuración	Observación directa e indirecta (ACI 224 1R-93)
	Estado endurecido	Resistencia a la compresión	Ensayo de corazones diamantinos (NTP 339.059)
	Factores ambientales	Temperatura ambiental	Guía de instrumentos y métodos de observación meteorológicas-OMM
		Humedad relativa	
		Velocidad de viento	

Nota. Tomado de Yanqui (2023)

Tipo de investigación

De acuerdo con Hernández y Mendoza (2018), una investigación mixta se refiere al conjunto de procesos que han sido organizados secuencialmente, con el propósito de estudiar la realidad de manera objetivas por medio de mediciones numéricas o de un análisis para determinar las predicciones y patrones de conductas del problema el fenómeno planteado. En esta investigación, el tipo es aplicativo-experimental porque se aplican conocimientos para mejorar el concreto y se realizan experimentaciones sobre cómo incorporación la fibra de polipropileno al concreto.

Nivel de investigación

Ramos-Galarza (2020) señala que en una investigación explicativa se busca determinar y explicar el fenómeno identificado para lo cual se utilizan estudios predictivos, pues son necesarios para establecer una relación causal entre las variables elegidas para la investigación. Cabe precisar que con la manipulación de la variable independiente se comprueba la hipótesis y se explica el fenómeno es investigación. En esta investigación, el nivel es explicativo, puesto que no se aborda solamente la descripción y el desarrollo de los fenómenos, sino también se realiza una explicación de por qué sucede.

Diseño de investigación

Según Hernández y Mendoza (2018), un diseño de investigación se define como el conjunto de procedimientos y métodos que se utilizan para aplican los instrumentos del estudio. En esta investigación, el diseño es cuasi experimental, pues el objetivo es probar si existe o no una relación causal entre las variables, considerando que al no aplicar la metodología experimental o la asignación aleatoria se genera una mayor aproximación a los impactos a causarse. En este estudio, el diseño es cuasi experimental porque se identifican y separan los efectos de los tratamientos de aquellos factores que afectan a la variable dependiente.

Población y muestra

Población

La población es el conjunto de factores que forman parte de un determinado entorno espacial, donde el trabajo es llevado a cabo (Pino, 2018). La población del estudio está constituida por las losas de pavimentos rígidos situados en la ciudad de Juliaca.

Muestra

La muestra es una fracción de la población que es considerada como representación de esta (Pino, 2018). Si la población es igual que la muestra, se denomina censo. En el presente estudio, la muestra es el diseño de mezclas para 5 losas de concreto de 1m² (Grupos de control de resistencia) y 10 testigos extraídos a la edad de 28 días, los cuales fueron conseguidos a través de la aplicación del método para la obtención y ensayo de corazones diamantinos (NTP 339.059).

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas

Hernández & Mendoza (2018) afirman que la recolección de datos consiste en elaboración plan en el que se detallan los procedimientos que permitan reunir todos los datos necesarios para cumplir el objetivo de la investigación. Las técnicas utilizadas son las siguientes:

- Bolsas de muestreo de materiales
- Ensayos de laboratorio
- Interpretación de resultados
- Revisión bibliográfica

Instrumentos

Córdova (2018) indica que los instrumentos son los medios virtuales o físicos utilizados por el investigador con el fin de recolectar datos para proceder con la medición de las variables. Los instrumentos empleados son los siguientes:

- Herramientas de recolección de muestras
- Equipos y herramientas de laboratorio
- *Software* de análisis de datos

Materiales

Los materiales utilizados en el presente estudio son los siguientes:

- Componentes del concreto
- Análisis granulométrico de agregados finos y gruesos
- Contenido de humedad
- Elaboración de especímenes de hormigón (concreto) en el laboratorio
- Fibras de polipropileno
- Pesos específicos y absorción de agregados finos y gruesos
- Pesos unitarios
- Propiedades de los agregados

Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Procedimiento general

Los procedimientos de este estudio fueron aplicados en el siguiente orden:

- Revisión bibliográfica
- Muestreo de pavimento rígido
- Caracterización de agregados
- Caracterización de las fibras de polipropileno
- Diseño de mezclas
- Pruebas de dosificación de concreto
- Ensayos de diamantina
- Ensayo de resistencia a la compresión del concreto
- Análisis de costos unitarios
- Análisis de resultados

- Interpretación de resultados
- Discusión de resultados

Procedimiento metodológico

El procedimiento metodológico utilizado para realizar esta investigación se detalla a continuación:

- Revisión bibliográfica acerca de pavimentos rígidos.
- Revisión bibliográfica acerca de fibras de polipropileno.
- Comparación de resultados.
- Elección de dosificaciones para la guía de diseño.

Selección de la muestra

Para seleccionar la muestra se siguieron los pasos que se detallan a continuación:

a) Para elaborar el muestreo del concreto fresco se considera la normativa NTP 339.036 / ASTM C172/C172M.

b) Para la elaboración y el curado de los especímenes de concreto y la realización de los ensayos en laboratorio se considera la normativa NTP 339.183.

c) Después de obtener las muestras se comienza a clasificarlas en patrón o en convencional, además de las muestras con adiciones de fibras de polipropileno.

d) Los ensayos fueron realizados en el laboratorio de mecánica de suelos concreto y asfalto de MASTER CON GS control de calidad

Pruebas y ensayos

El muestreo es realizado en las vías de pavimento rígido en el distrito de Juliaca, Puno, con el fin de conseguir las propiedades físicas y el análisis mecánico.

Ensayo de abrasión

La finalidad de esta investigación es calcular la degradación de los agregados minerales de gradaciones normalizadas que resultan de una serie de combinaciones, tales como el desgaste o abrasión, la trituración o el impacto.

1. Objetivo

Establecer el procedimiento para ensayar agregados gruesos de tamaños menores que 37.5 mm (1 ½”) con el fin de determinar la resistencia a la degradación usando la máquina de Los Ángeles.

2. Equipo necesario

Para cumplir el objetivo se utilizaron los siguientes instrumentos.

- Balanza
- Carga (esferas de 1 27/32 pulg.)
- Horno
- Máquina Los Ángeles
- Tamices

3. Procedimiento del ensayo

a) Se comenzó con el tamizado de los agregados de los tamices 1”, ¾”, ½” y 3/8” para adquirir un material de 1250 g en función a cada tamiz.

b) Luego de obtener el material clasificado por los tamices, fue colocado en la máquina Los Ángeles con las esferas, el cual giró a una velocidad que fluctuaba entre 30 y 33 rpm con una revolución de 500.

c) Después de terminar las rotaciones se retiró la muestra con el propósito de tamizarlo por un tamiz normalizado de 1.7 mm (n.º 12).

d) Una vez que el material fue tamizado se comenzó con el lavado del material y se colocó en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C para que secase y se lograra realizar los cálculos posteriores.

4. Referencias normativas

Se utiliza la NTP 400.019:2002 AGREGADOS: Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles.

Ensayo peso específico y absorción de los agregados

La muestra obtenida fue sumergida durante un día con el fin de llenar los poros. Los pesos adquiridos (seca y húmeda) son necesarios para obtener datos y utilizarlos en las fórmulas instituidas para determinar la absorción y el peso específico.

1. Objetivo

Determinar el peso específico aparente, el peso específico saturado con superficie seca, el peso específico seco y la absorción del agregado fino y grueso.

2. Equipo necesario

Para cumplir el objetivo se utilizaron los siguientes instrumentos.

- Balanza
- Cesta con malla de alambre
- Depósito de agua
- Tamices
- Horno

3. Procedimiento del ensayo

a) Después de que el proceso de sumergir la muestra por un periodo de un día, se procedió con el retiro de la muestra para comenzar con el proceso de secado que fue realizado sobre un paño absorbente, donde se registró la masa de la muestra en la condición de superficie saturada seca.

b) Luego, la muestra saturada superficialmente seca fue colocada en la canasta de alambre con la finalidad de determinar su peso en agua cuya temperatura fue de $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1.7\text{ }^{\circ}\text{C}$, además de tener una densidad de 997.2 kg/m^3 . Posteriormente se procedió con el secado de la muestra a una temperatura de $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una vez que estuvo seca, se dejó enfriar a temperatura ambiente por un periodo de tres horas para realizar el pesaje respectivo.

4. Referencias normativas

Se utiliza la NTP 400.021:2013 AGREGADOS. Métodos de ensayo normalizado para peso específico y absorción de agregados grueso.

Ensayo de contenido de humedad de los agregados

El método de ensayo normalizado es importante porque permite que se determine el contenido total de humedad evaporable de agregados fino o grueso por medio del secado.

1. Objetivo

Determinar el porcentaje total de humedad evaporable en una muestra de agregado grueso o fino por secado.

2. Equipos

Para cumplir el objetivo se utilizaron los siguientes instrumentos:

- Balanza
- Fuente de calor
- Horno
- Recipiente para la muestra

3. Procedimiento

a) Para determinar el contenido de humedad de la muestra se pesó cada una de estas para poder secarlas en el horno cuya temperatura fue entre $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

b) Luego de haberlas secado se procedió a pesar la muestra seca.

c) Posteriormente, se restó el peso de la muestra húmeda con la muestra seca para determinar el contenido de humedad.

4. Referencias normativas

Se utiliza la NTP 339.185: método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado.

Ensayo de peso unitario de los agregados

Agregado fino

El ensayo de peso unitario es aplicado para determinar el valor del peso unitario que se usa en determinados métodos para el diseño de mezclas de concreto.

1. Objetivo

Determinar el peso unitario compactado o suelto, y el porcentaje de los vacíos de los agregados gruesos, finos o la mezcla de los dos. Este método es empleado en agregados de tamaño máximo nominal de 150 mm (6”).

2. Equipos

Para cumplir el objetivo se utilizaron los siguientes instrumentos:

- Balanza
- Equipo de calibración
- Pala de mano
- Recipientes
- Varilla de compactación

3. Procedimiento

- Para determinar del peso unitario, se procedió a llenar y enrazar el recipiente con el agregado fino.

- Luego, se apisonó la muestra en el recipiente y se enrazó en la parte superior.

- Por último, el agregado fino fue pesado en el recipiente para determinar el peso unitario compactado de la muestra.

Agregado grueso

1. Procedimiento

- Para determinar el peso unitario compactado del agregado grueso, este fue llenado y apisonado en un recipiente.

- Por último, parte superior del recipiente fue enrazada para determinar el peso unitario compactado de la muestra.

2. Referencias normativas

Se utilizó la NTP 400.017 método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (peso unitario) de los agregados.

Análisis granulométrico del agregado grueso y fino

El presente ensayo nos permite determinar la gradación de materiales propuestos para uso como agregados o los que están siendo usados como tales. Los resultados serán usados para determinar el cumplimiento de la distribución del tamaño de partículas con los requisitos exigidos en la especificación técnica de la obra y proporcionar datos necesarios para el control de producción de agregados.

1. Objetivo

Determinar la distribución de partículas de agregados fino y gruesos en una muestra seca de peso conocido mediante un conjunto de tamices de abertura cuadrada.

2. Equipos

Para cumplir el objetivo se utilizaron los siguientes instrumentos:

- Horno
- Balanza
- Tamices

3. Procedimiento

Para iniciar el ensayo de análisis granulométrico se procedió a secar el material en un horno a una temperatura $110 \pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$; luego, se pasó el material por los tamices respectivos.

4. Referencias normativas

Se utilizó la NTP 400.012: 2001 AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino grueso y global.

Diseño de mezcla

Para el diseño de mezcla se consideró lo expuesto en el método ACI 211.1. En las Tablas 2, 3, 4, 5 y 6 se realiza una descripción de los cinco diseños de mezclas: el primero representa la muestra patrón, a dos muestras se le incorporaron fibras de polipropileno de 19 mm en las adiciones de 0.9 kg/cm³ y 0.6 kg/cm³, a otras dos muestras se le incorporaron fibras de polipropileno de 50 mm en las adiciones de 0.9 kg/cm³ y 0.6 kg/cm³.

Tabla 2: *Diseño de mezclas*

Terminología	Descripción	Dosis de fibra (kg/m ³)	Longitud de fibra (mm)
DSF	Dosificación sin fibras	-	-
DCF 0.6(19)	Dosificación con fibras	0.6	19
DCF 0.9(19)	Dosificación con fibras	0.9	19
DCF 0.6(50)	Dosificación con fibras	0.6	50
DCF 0.9(50)	Dosificación con fibras	0.9	50

Nota. Tomado de Yanqui (2023)

Tabla 3: *Proporcionamiento en peso y volumen de DSF*

Dosificación sin fibras de polipropileno - DSF				
	Dosificación en peso seco (kg/m ³)	Proporción en volumen	Dosificación en peso húmedo (kg/m ³)	Proporción en volumen
Cemento	394.12	1.00	393.84	1.00
Agua	201.00	0.51	181.00	0.46
A. grueso	985.58	2.50	1007.44	2.56
A. fino	677.90	1.72	699.93	1.78
Aire	2.00%		2.00%	
	2258.594		2282.210	

Nota. Tomado de Yanqui (2023)

Tabla 4: *Proporcionamiento en peso y volumen de DCF 0.6 (19)*

Dosificación con fibras de polipropileno DCF 0.6(19)				
	Dosificación en peso seco (kg/m3)	Proporción en volumen	Dosificación en peso húmedo (kg/m3)	Proporción en volumen
Cemento	394.12	1.00	393.84	1.00
Agua	201.00	0.51	181.00	0.46
A. grueso	985.58	2.50	1007.44	2.56
A. fino	677.90	1.72	699.93	1.78
FIBRAS PP	0.60	0.001523	0.60	0.001523
	2259.194		2282.810	

Nota. Tomado de Yanqui (2023)

Tabla 5: *Proporcionamiento en peso y volumen de DCF 0.6 (50)*

Dosificación con fibras de polipropileno DCF 0.6(50)				
	Dosificación en peso seco (kg/m3)	Proporción en volumen	Dosificación en peso húmedo (kg/m3)	Proporción en volumen
Cemento	394.12	1.00	393.84	1.00
Agua	201.00	0.51	181.00	0.46
A. grueso	985.58	2.50	1007.44	2.56
A. fino	677.90	1.72	699.93	1.78
FIBRAS PP	0.60	0.001523	0.60	0.001523
	2259.194		2282.810	

Nota. Tomado de Yanqui (2023)

Tabla 6: *Proporcionamiento en peso y volumen de DCF 0.9 (50)*

Dosificación con fibras de polipropileno DCF 0.9(50)				
	Dosificación en peso seco (kg/m ³)	Proporción en volumen	Dosificación en peso húmedo (kg/m ³)	Proporción en volumen
Cemento	394.12	1.00	393.84	1.00
Agua	201.00	0.51	181.00	0.46
A. grueso	985.58	2.50	1007.44	2.56
A. fino	677.90	1.72	699.93	1.78
FIBRAS PP	0.90	0.0022863	0.90	0.0022863
	2259.494		2283.110	

Nota. Tomado de Yanqui (2023)

Ensayos del concreto en estado fresco

Ensayo de asentamiento del concreto

Los concretos con asentamientos menores a 15 mm (1/2”) y mayores a 230 mm (9”) no son adecuados para que este ensayo tenga significado. Por ello, es importante analizar los concretos antes de usarlos.

1. Objetivo

El objetivo de este ensayo es determinar el asentamiento del concreto de las obras y en el laboratorio.

2. Equipos

Para cumplir el objetivo se utilizaron los siguientes instrumentos:

- Molde
- Varilla compactadora

3. Procedimiento

Para realizar esta investigación, se procedió a llenar el molde con el concreto en tres capas. A cada una de estas se le apisonó con una varilla al aplicarle 25 golpes; al final, se retiró y midió el molde para determinar el asentamiento.

4. Referencias normativas

Se utilizó la NTP 339.035 HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento Portland.

Ensayo para exudación del concreto

Se consideran dos métodos de ensayo, los cuales difieren primordialmente en el grado de vibración al cual se somete la muestra de concreto.

1. Objetivo

Determinar la cantidad relativa de agua que exuda una muestra fresca de concreto.

2. Equipos

Para cumplir el objetivo se utilizaron los siguientes instrumentos:

- Balanza
- Báscula
- Horno
- Pipeta
- Probeta graduada
- Procedimiento
- Recipiente cilíndrico
- Recipiente metálico
- Varilla compactadora

3. Procedimiento

- Se proporcionaron los componentes del concreto y se pesaron para realizar la mezcla correspondiente.

- Se mezclaron los materiales de forma manual a fin de homogenizar el material.

- Luego de culminar la mezcla de los materiales se comenzó con el llenado del concreto en el recipiente compactando; posteriormente, se enrazo al nivel de la parte superior del recipiente.

- Al final, se procedió con la extracción del agua durante un intervalo de 10 minutos, la cual había estado aislada y cubierta por 40 minutos. El agua fue extraída cada 30 minutos y se inclinó el recipiente durante 2 minutos para realizar cada extracción. Toda el agua que fue extraída fue colocada en una probeta con la finalidad de determinar su exudación del concreto.

4. Referencias normativas

Se utilizó la NTP 339.077 HORMIGÓN (CONCRETO), método de ensayo gravimétrico para la determinación la exudación de hormigón (concreto).

Ensayo del tiempo de fraguado del concreto

1. Objetivo

Determinar el tiempo de fraguado del cemento Portland, mediante la aguja de Vicat.

2. Equipos y herramientas

Para cumplir el objetivo se utilizaron los siguientes instrumentos:

- Agujas de penetración
- Aparato de carga
- Contenedores para especímenes de mortero
- Pipeta
- Termómetro
- Varilla compactadora

3. Procedimiento

- Se proporcionaron los materiales, cada uno con su respectivo pesaje, para proceder con la mezcla.
- Luego de terminar la dosificación se comenzó a realizar la mezcla de los materiales de forma mecánica con ayuda de una mezcladora.
- El material mezclado durando 30 segundos una velocidad de 140 rpm 5 rpm fue extraído y tamizado por la malla n.º 4.

- Luego de mezclar y tamizar el material se comenzó con el llenado del recipiente con el concreto compactando. A medida que se iba llenando, el concreto se enrazó de acuerdo con la superficie del recipiente

- Después de haber llenado el concreto en el recipiente, este fue aislado por 30 minutos. Seguidamente se colocó repetidamente la aguja en el equipo Vicat, cada penetración fue con efectuada con una separación de 6 mm y una distancia 9 mm respecto a los bordes del recipiente.

- Para finalizar, los datos de las penetraciones fueron registradas y se determinó el tiempo de fraguado.

4. Referencias normativas

Se utilizó la NTP 339.082:2011 Concreto. Determinación del tiempo de fraguado de mezclas por medio de la resistencia a la penetración.

Evaluación de fisuras por retracción plástica

Las fisuras por retracción plástica pueden ser observadas en la superficie del concreto después de haber realizado el vaciado. Cabe precisar que permanece en estado plástico por la rápida pérdida de humedad u otros factores vinculados con la temperatura del aire y el concreto.

1. Procedimiento

- Se efectuó el encofrado para el concreto y se realizó la mezcla de los materiales sacudiendo el agregado por la malla n.º 4 con el fin de separar el agregado grueso y el fino.

- Después de obtener los componentes del hormigón se inició la mezcla del hormigón por un periodo entre 30 segundos a 1 minuto.

- El concreto fue colocados en los moldes y se comenzó con el tarrajeo para obtener el acabado.

- Se identificaron las fisuras por retracción plástica de las losas. Dichas fisuras fueron enumeradas para el respectivo registro de datos

- Se procedió con la medición y el registro de las coordenadas de las fisuras en el eje de las abscisas y las ordenadas.

- Se tomó la temperatura del concreto y se registró la humedad relativa, la temperatura ambiente y la velocidad del viento.

- Para obtener los datos de la evaluación de fisuras se realizó la medición respectiva durante retracción plástica del concreto; en otros términos, desde la colocación del concreto hasta antes del fraguado final. Durante ese tiempo, los datos fueron determinados con el ensayo de tiempo de fraguado del concreto. La evaluación de las fisuras es detallada en los siguientes grupos:

a) Grupo A

En la Tabla 7 se detalla la evaluación de fisuras realizada en las losas de prueba con y sin la adición de fibras de polipropileno. Se observó que la losa sin adición tuvo una cantidad de fisuras mayor (8 en total) que el resto de las losas; sus fisuras fueron de una longitud de 198 mm a 178 mm cuyo espesor variaba entre 25 mm a 50 mm, las cuales mostraron un mayor espesor en comparación las demás losas. La losa de prueba con adición de fibras de 19 mm en la proporción de 0.6 kg/m³ tuvo fisuras con una longitud y espesor menores que aquellas fisuras sin fibras, por lo que se determina que la añadidura de fibras ocasionó que se redujera la generación de fisuras.

La losa de prueba con adición de fibras de 19 mm en la proporción de 0.9 kg/m³ evidenció fisuras (4 en total) con una longitud y espesor menores, por lo que se determina que la añadidura de fibras ocasionó que se redujera la generación de fisuras. La losa con adición de fibras de 50 mm en la proporción de 0.6 kg/m³ evidenció solo una fisura, por lo que se determina que la añadidura de fibras ocasionó que se redujera la generación de fisuras. Por último, la losa con adición de fibras de 50 mm en la proporción de 0.9 kg/m³ no evidenció fisura alguna, por lo que se determina la añadidura de fibras redujo completamente la aparición de fisuras.

Es importante señalar que la humedad relativa, la temperatura ambiente, la temperatura de concreto y velocidad de viento incidieron en la generación de fisuras.

Tabla 7: Resumen del registro de fisuras en el grupo A

ID fisura	Longitud (mm)	Espesor (mm)	X (cm)	Y(cm)	Hora	Temp. ambiente (°C)	Humedad relativa (%)	Velocidad de viento (m/s)	Temp. concreto (°C)
Dosificación sin fibras									
F1	198.0	0.25	66.1	14.5	11:27:00	24.0	20	2.4	24.5
F2	121.0	0.25	54.0	36.0	11:31:00	23.9	21	1.8	24.0
F3	106.5	0.50	43.0	41.9	12:02:00	23.6	21	2.2	24.0
F4	45.4	0.15	43.3	37.4	12:02:00	23.6	21	2.2	24.0
F5	178.0	0.50	42.6	53.1	12:04:00	23.4	21	1.8	23.5
F6	8.4	0.41	42.2	52.3	12:04:00	23.4	21	1.8	23.5
F7	77.5	0.30	28.0	41.0	15:03:00	19.7	23	1.7	22.5
F8	92.7	0.25	52.6	73.6	15:26:00	18.5	24	1.8	21.0
DCF 19 mm - 0.6 kg/m³									
F1	50.3	0.25	94.3	15.5	11:38:00	23.8	21	2.2	24.0
F2	74.4	0.30	89.7	31.3	14:55:00	19.9	23	1.9	22.5
F3	78.3	0.41	80.8	31.4	14:55:00	19.9	23	1.9	22.5
F4	146.3	0.35	66.6	33.0	15:35:00	18.3	24	2.3	20.5
F5	73.5	0.25	60.8	28.2	15:35:00	18.3	24	2.3	20.5
F6	33.1	0.25	63.4	21.4	15:16:00	17.2	24	1.3	19.5
F7	54.8	0.25	57.2	45.8	15:26:00	16.7	25	1.9	18.5
DCF 19 mm - 0.9 kg/m³									
F1	64.2	0.25	39.5	48.3	11:40:00	23.7	21	1.5	24.0
F2	70.3	0.30	58.2	44.8	13:51:00	21.2	22	1.9	23.0
F3	86.5	0.30	46.7	36.4	15:31:00	18.2	24	2.4	20.5
F4	92.5	0.30	60.5	25.5	15:59:00	15.2	26	1.8	17.0
DCF 50 mm - 0.6 kg/m³									
F1	115.3	0.35	50.3	42.1	15:35:00	18	24	2.3	20
DCF 50 mm - 0.9 kg/m³									
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Nota. Tomado de Yanqui (2023)

b) Grupo B

En la Tabla 8 se detalla la evaluación de fisuras realizada en las losas de prueba con y sin la adición de fibras de polipropileno. Se observó que la losa a la cual no se le añadió ninguna fibra tuvo una cantidad de fisuras mayor (9 en total) que el resto de las losas. La losa con adición de fibras de 19 mm en la proporción de 0.6 kg/m³ evidenció fisuras que tuvieron una gran longitud y espesor a diferencia de las fisuras identificadas en la losa de prueba sin fibras; conjuntamente, se logró observar que la cantidad de fisuras (7 en total) fue menor en lo que respecta a la losa de prueba sin fibras. La losa de prueba con adición de fibras de 19 mm en la proporción de 0.9 kg/ m³ evidenció una cantidad menor de fisuras (5 en total), por lo que se determina que la añadidura de fibras ocasionó que se redujera la generación de fisuras.

La losa de prueba con adición de fibras de 50 mm en la proporción de 0.6 kg/ m³ evidenció una cantidad menor de fisuras (3 en total), por lo que se determina que la añadidura de fibras ocasionó que se redujera notablemente la generación de fisuras. Por último, la losa con adición de fibras de 50 mm en la proporción de 0.9 kg/m³ no evidenció fisura alguna, por lo que se determina la añadidura de fibras redujo completamente la aparición de fisuras.

Es importante señalar que la humedad relativa, la temperatura ambiente, la temperatura de concreto y velocidad de viento incidieron en la generación de fisuras.

Tabla 8: Resumen del registro de fisuras en el grupo B

3	Longitud (mm)	Espesor (mm)	X (cm)	Y(cm)	Hora	Temp. ambiente (°C)	Humedad relativa (%)	Velocidad de viento (m/s)	Temp. concreto (°C)
Dosificación sin fibras									
F1	82.9	0.18	55.8	42.1	14:11:00	20.9	23	1.6	23.5
F2	91.6	0.18	65.5	47.2	14:15:00	20.2	23	0.9	23.5
F3	111.8	0.41	41.7	45.8	14:53:00	18.5	25	1.6	22.0
F4	42.2	0.41	68.5	61.4	14:56:00	17.6	26	1.9	21.5
F5	33.3	0.35	43.8	39.9	15:24:00	15.0	27	1.6	20.5
F6	46.2	0.30	41.6	57.6	15:35:00	14.6	27	2.0	21.0
F7	22.6	0.25	43.9	61.9	15:35:00	14.6	27	2.0	21.0
F8	46.0	0.25	23.3	65.1	15:38:00	14.5	27	1.7	20.5
F9	41.6	0.15	23.3	60.6	15:40:00	14.4	27	1.6	20.5
DCF 19 mm - 0.6 kg/m³									
F1	155.4	0.15	77.9	61.1	13:59:00	21.5	23	1.5	24.0
F2	74.7	0.15	78.1	50.3	13:59:00	21.5	23	1.5	24.0
F3	75.6	0.50	65.0	48.6	14:20:00	19.6	24	1.4	23.0
F4	66.2	0.35	63.8	40.2	14:23:00	19.4	24	1.9	22.5
F5	75.1	0.41	23.7	57.8	15:25:00	15.0	27	1.8	20.5
F6	20.0	0.41	28.4	64.0	15:25:00	15.0	27	1.8	20.5
F7	48.8	0.18	30.1	65.6	15:25:00	15.0	27	1.8	20.5
DCF 19 mm - 0.9 kg/m³									
F1	51	0.25	23.9	32.1	14:29:00	19	24	1.8	22.5
F2	95	0.30	30.1	33.4	14:29:00	19	24	1.8	22.5
F3	96	0.41	40.4	43.3	15:01:00	17.3	26	1.7	21.5
F4	113	0.30	38.8	56.3	15:40:00	14.5	27	1.8	20.5
F5	131	0.15	69.6	16.7	15:53:00	13.9	28	1.7	20.5
DCF 50 mm - 0.6 kg/m³									
F1	135	0.41	38.9	23.2	11:58:00	23.4	21	1.8	21
F2	51	0.25	46.1	37.6	15:39:00	14.6	27	2.1	21
F3	152	0.41	67.6	54.0	15:56:00	13.8	28	1.5	20.5
DCF 50 mm - 0.9 kg/m³									
F1	123	0.35	68.9	42.0	11:15:00	23.8	21	1.7	20.5

Nota. Tomado de Yanqui (2023)

c) Grupo C

En la Tabla 9 se detalla la evaluación de fisuras realizada en las losas de prueba con y sin la adición de fibras de polipropileno. Se observó que la losa a la cual no se le añadió ninguna fibra tuvo una cantidad de fisuras mayor (7 en total) que el resto de las losas. La losa con adición de fibras de 19 mm en la proporción de 0.6 kg/m³ evidenció una mayor cantidad de fisuras (8 en total) en lo que respecta a la losa de prueba sin fibras, por lo que se determina que la añadidura de fibras no tuvo efectos positivos. La losa de prueba con adición de fibras de 19 mm en la proporción de 0.9 kg/ m³ evidenció una cantidad menor de fisuras (5 en total), por lo que se determina que la añadidura de fibras ocasionó que se redujera la generación de fisuras.

La losa de prueba con adición de fibras de 50 mm en la proporción de 0.6 kg/ m³ evidenció una cantidad menor de fisuras (3 en total), por lo que se determina que la añadidura de fibras ocasionó que se redujera notablemente la generación de fisuras. Por último, la losa con adición de fibras de 50 mm en la proporción de 0.9 kg/m³ no evidenció fisura alguna, por lo que se determina la añadidura de fibras redujo completamente la aparición de fisuras.

Es importante señalar que la humedad relativa, la temperatura ambiente, la temperatura de concreto y velocidad de viento incidieron en la generación de fisuras.

Tabla 9: Resumen del registro de fisuras en el grupo B

ID fisura	Longitud (mm)	Espesor (mm)	X (cm)	Y(cm)	Hora	Temp. ambiente (°c)	Humedad relativa (%)	Velocidad de viento (m/s)	Temp. concreto (°c)
Dosificación sin fibras									
F1	153.3	0.35	41.3	61.6	13:49:00	20.7	20	2.2	24.00
F2	52.6	0.30	49.4	76.3	13:49:00	20.7	20	2.2	24.00
F3	124.7	0.30	83.0	39.4	15:07:00	17.9	23	1.8	23.00
F4	83.3	0.30	54.3	64.6	15:15:00	17.2	23	1.0	22.50
F5	63.7	0.25	44.7	39.6	15:35:00	16.0	24	2.5	22.00
F6	31.0	0.25	48.1	45.6	15:35:00	16.0	24	2.5	22.00
F7	26.1	0.18	50.1	49.0	15:39:00	15.8	24	1.5	22.00
DCF 19 mm - 0.6 kg/m³									
F1	100.0	0.30	32.1	64.7	12:05:00	22.7	20	1.8	24.0
F2	51.1	0.30	30.7	60.6	12:50:00	21.8	20	1.7	24.5
F3	49.3	0.25	47.9	55.5	12:50:00	21.8	20	1.7	24.5
F4	103.0	0.41	62.6	52.0	12:59:00	21.4	20	1.5	24.5
F5	96.5	0.41	66.8	44.7	15:28:00	16.4	24	2.5	22.5
F6	37.1	0.35	73.4	44.8	15:28:00	16.4	24	2.5	22.5
F7	33.8	0.25	76.9	26.5	15:39:00	15.8	24	1.5	22.0
F8	49.2	0.35	74.1	33.9	15:57:00	15.0	25	1.0	21.5
DCF 19 mm - 0.9 kg/m³									
F1	113.8	0.35	48.6	47.9	14:05:00	20.1	21	1.8	24.0
F2	114.5	0.30	55.6	57.0	14:17:00	19.7	21	1.6	24.0
F3	74.2	0.35	30.7	69.7	14:26:00	19.2	21	1.0	24.0
F4	111.7	0.30	11.8	30.9	15:04:00	18.0	23	1.0	23.5
F5	74.0	0.25	88.1	56.3	15:53:00	15.2	25	1.8	21.5
DCF 50 mm - 0.6 kg/m³									
F1	118.8	0.35	39.3	38.8	13:15:00	21.0	20	1.0	23.5
F2	106.3	0.30	43.9	46.3	15:32:00	16.2	24	2.2	21.5
F3	37.8	0.30	60.8	68.7	15:32:00	16.2	24	2.2	21.5
DCF 50 mm - 0.9 kg/m³									
F1	60.7	0.30	32.5	71.7	13:35:00	21.5	20	2.1	23.0
F2	77.5	0.35	34.4	34.7	13:47:00	20.8	20	1.5	21.5
F3	56.0	0.30	72.2	33.3	14:33:00	18.9	21	1.9	21.0

Nota. Tomado de Yanqui (2023)

Tasa de evaporación

En las Tablas 10, 11 y 12 se presentan los valores de la tasa de evaporación superficial del concreto, los cuales fueron calculados por medio del nomograma Menzel considerando la humedad relativa, la temperatura ambiente, la velocidad del viento y la temperatura del concreto. Los valores de los factores externos se obtuvieron durante el brote de cada fisura en cada losa con y sin la adición de fibras de polipropileno.

En los siguientes acápites se muestra el registro detallado de los factores externos, además del cálculo de la tasa de evaporación superficial realizada en los tres grupos de losas. Se debe resaltar que los tres grupos de losas tiene una losa patrón y cuatro losas, cuyas fibras son de diferente proporción y longitud.

1) Nomograma Menzel grupo A

En la Tabla 10 se puede observar que hay dos valores de temperatura ambiente: 14.9 °C y 24 °C, donde el primero fue obtenido durante el brote de la fisura F4 de la losa n.º 3 y el segundo en la fisura F1 de la losa n.º 1. En la humedad relativa se registró que esta oscilaba entre 21 % y 26 %, valores que fueron obtenidos durante el brote de las fisuras de las 5 losas. En la temperatura del concreto se observó que esta oscilaba entre 24.5 °C y 17 °C, valores que fueron obtenidos durante el brote de las fisuras de las 5 losas. En la velocidad se observó que hubo dos valores: 4.68 km/hr y 8.64 km/hr, donde el primero fue obtenido durante el brote de la fisura F6 de la losa n.º 2 y el segundo, en la fisura F1 de la losa n.º 1. Por último, la tasa de evaporación superficial también presentó dos valores: la mayor con 0.62 kg/m²/hr y la menor con 0.32 kg/m²/hr.

Tabla 10: *Nomograma de Menzel – grupo A*

Losa n.º	ID fisura	Hora	Temp. ambiente (°c)	Humedad relativa (%)	Velocidad de viento (km/hr)	Temp. concreto (°c)	Tasa de evaporación superficial del concreto (kg/m2/hr)
01 DSF	F1	13:57:00	24.0	20	8.64	24.5	0.62
	F2	14:07:00	23.9	21	6.48	24.0	0.50
	F3	14:17:00	23.6	21	7.92	24.0	0.56
	F4	14:17:00	23.6	21	7.92	24.0	0.56
	F5	14:18:00	23.6	21	6.48	23.5	0.49
	F6	14:18:00	23.6	21	6.48	23.5	0.49
	F7	14:37:00	19.7	23	6.12	22.5	0.41
	F8	14:57:00	18.5	24	6.48	21.0	0.43
02 DCF 0.6(19)	F1	14:16:00	23.6	21	7.92	24.0	0.56
	F2	14:36:00	19.7	23	6.84	22.5	0.49
	F3	14:36:00	19.7	23	6.84	22.5	0.49
	F4	15:01:00	18.3	24	8.28	20.5	0.48
	F5	15:01:00	18.3	24	8.28	20.5	0.48
	F6	15:16:00	17.4	24	4.68	19.5	0.32
	F7	15:26:00	16.5	25	6.84	18.5	0.37
03 DCF 0.9(19)	F1	14:13:00	23.8	21	5.40	24.0	0.45
	F2	14:28:00	21.2	22	6.84	23.0	0.50
	F3	15:03:00	18.2	24	8.64	20.5	0.48
	F4	15:58:00	14.9	26	6.48	17.0	0.32
04 DCF 0.6(19)	F1	15:05:00	18.2	24	8.28	20	0.46
05 DCF 0.9(19)	-	-	-	-	-	-	-

Nota. Tomado de Yanqui (2023)

2) Nomograma Menzel grupo B

En la Tabla 11 se puede observar que hay dos valores de temperatura ambiente: 13.6 °C y 21.5 °C, donde el primero fue obtenido durante el brote de la fisura F3 de la losa n.º 4 y el segundo en las fisuras F1 y F2 de la losa n.º 2. En la humedad relativa se registró que esta oscilaba entre 23 % y 28 %, valores que fueron obtenidos durante el brote de las fisuras de las 5 losas. En la temperatura del concreto se observó que esta oscilaba entre 24.5 °C y 20.5 °C, valores que fueron obtenidos durante el brote de las fisuras de las 5 losas. En la velocidad se observó que hubo dos valores: 3.24 km/hr y 7.56 km/hr, donde el primero fue obtenido durante el brote de la fisura F2 de la losa n.º 1 y el segundo, en la fisura F2 de la losa n.º 4. Por último, la tasa de evaporación superficial también presentó dos valores: la mayor con 0.48kg/m²/hr y la menor con 0.31 kg/m²/hr.

Tabla 11: Nomograma de Menzel-Grupo B

Losa N.º	ID fisura	Hora	Temp. ambiente (°c)	Humedad relativa (%)	Velocidad de viento (km/hr)	Temp. concreto (°c)	Tasa de evaporación superficial del concreto (kg/m2/hr)
01 (DSF)	F1	14:11:00	20.7	23	5.76	23.5	0.45
	F2	14:15:00	20.0	23	3.24	23.5	0.35
	F3	14:53:00	18.3	25	5.76	22.0	0.41
	F4	14:56:00	17.4	26	6.84	21.5	0.45
	F5	15:24:00	15.0	27	7.20	20.5	0.44
	F6	15:36:00	14.6	27	7.20	21.0	0.46
	F7	15:36:00	14.6	27	7.20	21.0	0.46
	F8	15:40:00	14.5	27	6.12	20.5	0.32
	F9	15:43:00	14.4	27	5.76	20.5	0.31
02 DCF 0.6(19)	F1	14:05:00	21.5	23	5.40	24.0	0.46
	F2	14:05:00	21.5	23	5.40	24.0	0.46
	F3	14:20:00	19.6	24	5.04	23.0	0.42
	F4	14:23:00	19.4	24	6.84	22.5	0.48
	F5	15:25:00	15.0	27	6.48	20.5	0.42
	F6	15:25:00	15.0	27	6.48	20.5	0.42
	F7	15:25:00	15.0	27	6.48	20.5	0.42
03 DCF 0.9(19)	F1	14:29:00	18.8	24	6.48	22.5	0.47
	F2	14:29:00	18.8	24	6.48	22.5	0.47
	F3	15:01:00	17.3	26	6.12	21.5	0.43
	F4	15:40:00	14.5	27	6.48	20.5	0.42
	F5	16:03:00	13.9	28	6.12	20.5	0.41
04 DCF 0.6(50)	F1	15:06:00	16.7	26	6.48	21.0	0.43
	F2	15:34:00	14.8	27	7.56	21.0	0.48
	F3	16:10:00	13.6	28	5.40	20.5	0.38
05 DCF 0.9(50)	F1	15:44:00	14.5	27	6.12	20.5	0.41

Nota. Tomado de Yanqui (2023)

3) Nomograma Menzel grupo C

En la Tabla 12 se puede observar que hay dos valores de temperatura ambiente: 12.5°C y 22.6°C, donde el primero fue obtenido durante el brote de la fisura F3 de la losa n.º 5 y el segundo en las fisuras F1 de la losa n.º 2. En la humedad relativa se registró que esta oscilaba entre 20 % y 25 %, valores que fueron obtenidos durante el brote de las fisuras de las 5 losas. En la temperatura del concreto se observó que esta oscilaba entre 24.5 °C y 21°C, valores que fueron obtenidos durante el brote de las fisuras de las 5 losas. En la velocidad se observó que hubo dos valores: 3.6 km/hr y 9 km/hr, donde el primero fue obtenido durante el brote de cinco fisuras en diferentes losas y el segundo, en las fisuras F2 y F6 de la losa n.º 1 y 2. Por último, la tasa de evaporación superficial también presentó dos valores: la mayor con 0.62 kg/m²/hr y la menor con 0.35 kg/m²/hr.

Tabla 12: Nomograma de Menzel – Grupo C

Losa n.º	ID fisura	Hora	Temp. ambiente (°c)	Humedad relativa (%)	Velocidad de viento (km/hr)	Temp. concreto (°c)	Tasa de evaporación superficial del concreto (kg/m2/hr)
<u>01</u> DSF	F1	14:13:00	20.6	20	7.92	24.0	0.60
	F2	14:13:00	20.6	20	7.92	24.0	0.60
	F3	14:37:00	17.8	23	6.48	23.0	0.50
	F4	14:43:00	17.2	23	3.60	22.5	0.36
	F5	15:01:00	16.0	24	9.00	22.0	0.58
	F6	15:01:00	16.0	24	9.00	22.0	0.58
	F7	15:03:00	15.8	24	5.40	22.0	0.43
<u>02</u> DCF 0.6(19)	F1	13:58:00	22.6	20	6.48	24.0	0.52
	F2	14:04:00	21.8	20	6.12	24.5	0.52
	F3	14:04:00	21.8	20	6.12	24.5	0.52
	F4	14:08:00	21.4	20	5.40	24.5	0.49
	F5	14:55:00	16.4	24	9.00	22.5	0.62
	F6	14:55:00	16.4	24	9.00	22.5	0.62
	F7	15:04:00	15.8	24	5.40	22.0	0.44
	F8	15:13:00	14.9	25	3.60	21.5	0.35
<u>03</u> DCF 0.9(19)	F1	14:16:00	20.1	21	6.48	24.0	0.54
	F2	14:20:00	19.7	21	5.76	24.0	0.51
	F3	14:22:00	19.2	21	3.60	24.0	0.40
	F4	14:34:00	18.0	23	3.60	23.5	0.40
	F5	15:26:00	14.0	25	6.48	21.5	0.49
<u>04</u> DCF 0.6(50)	F1	14:35:00	18.0	23	3.60	23.5	0.38
	F2	15:30:00	14.0	25	7.92	21.5	0.52
	F3	15:33:00	13.5	25	6.48	21.5	0.47
<u>05</u> DCF 0.9(50)	F1	14:41:00	17.5	23	7.56	23.0	0.55
	F2	15:16:00	14.9	25	5.40	21.5	0.41
	F3	15:58:00	12.5	25	6.84	21.0	0.46

Nota. Tomado de Yanqui (2023)

Ensayos del concreto en estado endurecido

Ensayo de corazones diamantino

1. Objetivo

Determinar la resistencia o la longitud a la compresión o determinaciones de resistencia a la tracción por compresión.

2. Equipos

- Perforadora de diamantina
- Prensa hidráulica

3. Procedimiento

- Se extrajeron las muestras de todas las losas con la ayuda de una perforadora diamantina para que fueran sometidas a los ensayos a compresión.
- Se realizó el ensayo a compresión de cada una de las muestras obtenidas de de las losas elaboradas hasta que lleguen a la rotura.
- Luego de que las muestras tomadas llegaran a la rotura, se registraron los datos y se determinó su resistencia a compresión.

Análisis e interpretación de resultados

En este acápite se muestran los resultados obtenidos mediante los ensayos de laboratorio. Así también, se detalla el comportamiento del concreto con las adiciones de 0.6 kg/m^3 y 0.9 kg/cm^3 de fibras de polipropileno y la dosificación ideal de materiales para mejorar la elaboración del pavimento.

Características mecánicas del árido grueso

1. Resistencia al desgaste “Abrasión de Los Ángeles”

En la Tabla 13 se presentan los resultados obtenidos después de someter el árido grueso al ensayo de abrasión de Los Ángeles.

Tabla 13: *Árido grueso – resistencia al desgaste*

Ítem	Descripción	Unidades	
1	Tipo de agregado	Grueso	
2	Numero de revoluciones	500	Revoluciones
3	Carga abrasiva	12	Esferas
4	Peso seco inicial de la muestra	5000	gr.
5	Peso seco final retenida en el cedazo N.º 12	3660	gr.
6	Peso del material que pasa el cedazo N.º 12	1340	gr.
7	Porcentaje de perdida	26.80	%

Nota. Tomado de Yanqui (2023)

En la Tabla 13 se evidencian los resultados del árido grueso. Se utilizaron 500 revoluciones en total y 12 esferas a una muestra inicial de 5000 gr. a partir de los cuales se determinó que la muestra evaluada tiene una resistencia al desgaste del 73.32 %. Por otro lado, se tuvo una pérdida del material rocoso de 26.80 %; por tanto, el árido grueso cumple con las especificaciones detalladas en la la ASTM C-131 de gradación A.

Análisis mecánico y propiedades físicas de los agregados

1. Arena

Se detallan las propiedades de la arena.

Tabla 14: *Análisis mecánico y propiedades físicas de la arena*

Ítem	Descripción	Valor	Unidad
1	Peso específico	2.55	gr/cm ³
2	Absorción	1.72	%
3	Contenido de humedad	3.25	%
4	Peso unitario suelto	1722	gr.
5	Peso unitario varillado	1847	gr.

Nota. Tomado de Yanqui (2023)

En la Tabla 14 se observan los valores que se obtuvieron después de desarrollar el análisis físico: peso específico de 2.55 gr/cm³, contenido de humedad 3.25 %, absorción del 1.72 %, peso unitario varillado 1847 gr. y peso unitario suelto 1722 gr.

2. Piedra grava

Se detallan las propiedades de la grava.

Tabla 15: *Análisis mecánico y propiedades físicas de la grava*

Ítem	Descripción	Valor	Unidad
1	Peso específico	2.54	gr/cm ³
2	Absorción	1.20	%
3	Contenido de humedad	2.17	%
4	Peso unitario suelto	1525	gr.
5	Peso unitario varillado	1654	gr.

Nota. Tomado de Yanqui (2023)

En la Tabla 15 se observan los valores que se obtuvieron después de desarrollar el análisis físico: peso específico de 2.54 gr/cm³, contenido de humedad 2.17 %, absorción del 1.20 %, peso unitario varillado 1654 gr. y peso unitario suelto 1525 gr.

3. Análisis granulométrico árido grueso

En la Tabla 16 se detallan los valores de los % pasantes y retenidos de los áridos gruesos, los cuales se obtuvieron en la malla 3 y 4.

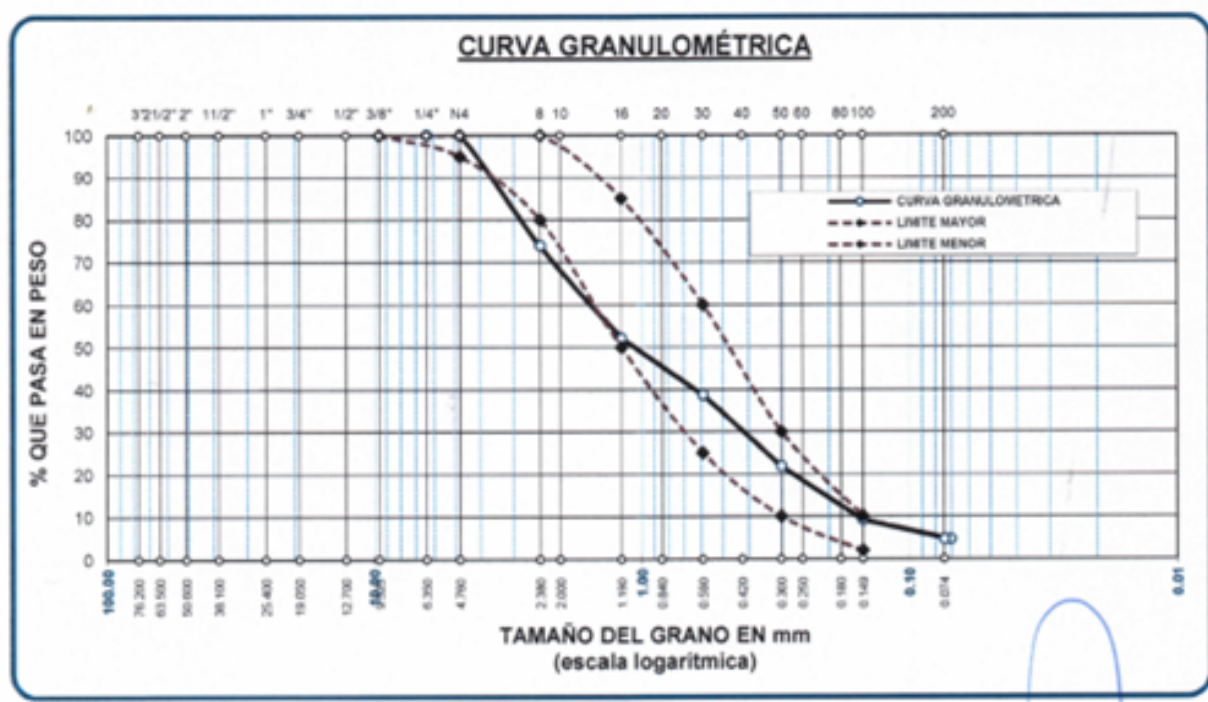
En la Figura 4 se observa la curva granulométrica del árido grueso. En esta se aprecia que el material grueso no cumple con las especificaciones de la norma porque hay un sobrante de las mallas de 1" en consecuencia de que el porcentaje pasante tuvo un valor de 96.43 %. El mismo problema fue observado en malla de ¾", pues el porcentaje pasante tuvo un valor de 78.46 % en consecuencia de que este porcentaje se derivó de la malla 3/8". Por tanto, el material evaluado puede afectar en el diseño de mezclas.

Tabla 16: *Análisis granulométrico árido grueso*

Tamices ASTM	Abertura mm	Peso retenido	% Ret. p.	% Ret. acum.	% Que pasa
3"	76.200				
2 ½"	63.500	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.600	0.00	0.00	0.00	100.00
1 ½"	38.100	0.00	01.00	0.00	100.00
1"	25.400	125.00	3.57	3.57	96.43
¾"	19.050	629.00	17.97	21.54	78.46
½"	12.700	1174.00	33.54	55.09	44.91
3/8"	9.525	875.00	25.00	80.09	19.91
¼"	6.350				
No. 4	4.760	697.00	19.91	100.00	0.00
Base		0.00	0.00	100.00	0.00
Total		3500.00	100.00		
% Pérdida		0.00			

Nota. Tomado de Yanqui (2023)

Figura 4: *Curva granulometría árido fino*



4. Análisis granulométrico árido grueso

En la Tabla 17 se detallan los valores de los % pasantes y retenidos de los áridos gruesos, después de haber realizado el ensayo de granulometría hacia el árido fino.

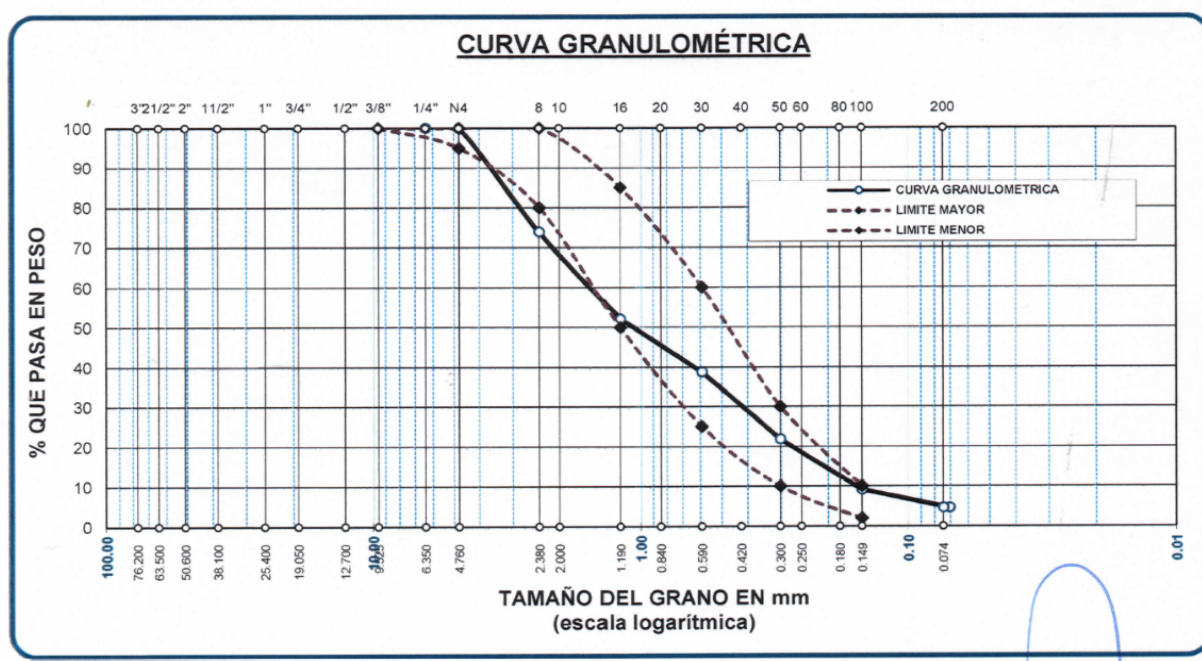
Tabla 17: *Análisis granulométrico árido fino*

Tamices ASTM	Abertura mm	Peso retenido	% Ret. p.	% Ret. acum.	% Que pasa
3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00
1/4"	6.350	0.00	0.00	0.00	100.00
No. 4	4.760	0.00	0.00	0.00	100.00
No. 8	2.380	130.85	26.17	26.17	73.83
No. 10	2.000				
No. 16	1.190	108.33	21.67	47.84	52.16
No. 20	0.840				
No. 30	0.590	67.12	13.42	61.26	38.74
No. 40	0.420				
No. 50	0.300	84.80	16.96	78.22	21.78
No. 60	0.250				
No. 80	0.180				
No. 100	0.149	63.23	12.65	90.87	9.13
No. 200	0.074	22.75	4.55	95.42	4.58
Base		22.92	4.58	100	0.00
Total		500.00	100.00		
% Perdida		4.58			

Nota. Tomado de Yanqui (2023)

En la Figura 5 se observa la curva granulométrica del árido fino. En esta se aprecia que el material grueso no cumple con las especificaciones de la norma porque el % pasante tuvo un valor de 73.83 % en la malla n.º 8. Por tanto, el material evaluado puede afectar en el diseño de mezclas.

Figura 5: *Curva granulometría árido fino*



Nota. Tomado de Yanqui (2023)

Diseño de mezclas

1. Dosificación

Se detalla la dosificación para generar un concreto de resistencia 210 kg/cm².

Tabla 18: *Dosificación $f'c=210\text{kg/cm}^2$*

Agregado	Dosificación en peso seco Kg/m ³	Proporción en volumen Peso seco	Dosificación en peso húmedo Kg/m ³	Proporción en volumen Peso húmedo
Cemento	394.12	1.000	394.12	1.00
Agua	201.00	0.510	181.50	0.46
Agre.Grueso	985.58	2.501	1007.44	2.56
Agre. Fino	645.32	1.640	666.29	1.69
Aire	2.0%		2.0%	

Nota. Tomado de Yanqui (2023)

Prueba de asentamiento del concreto

En esta prueba se desarrollan tres grupos de muestreo.

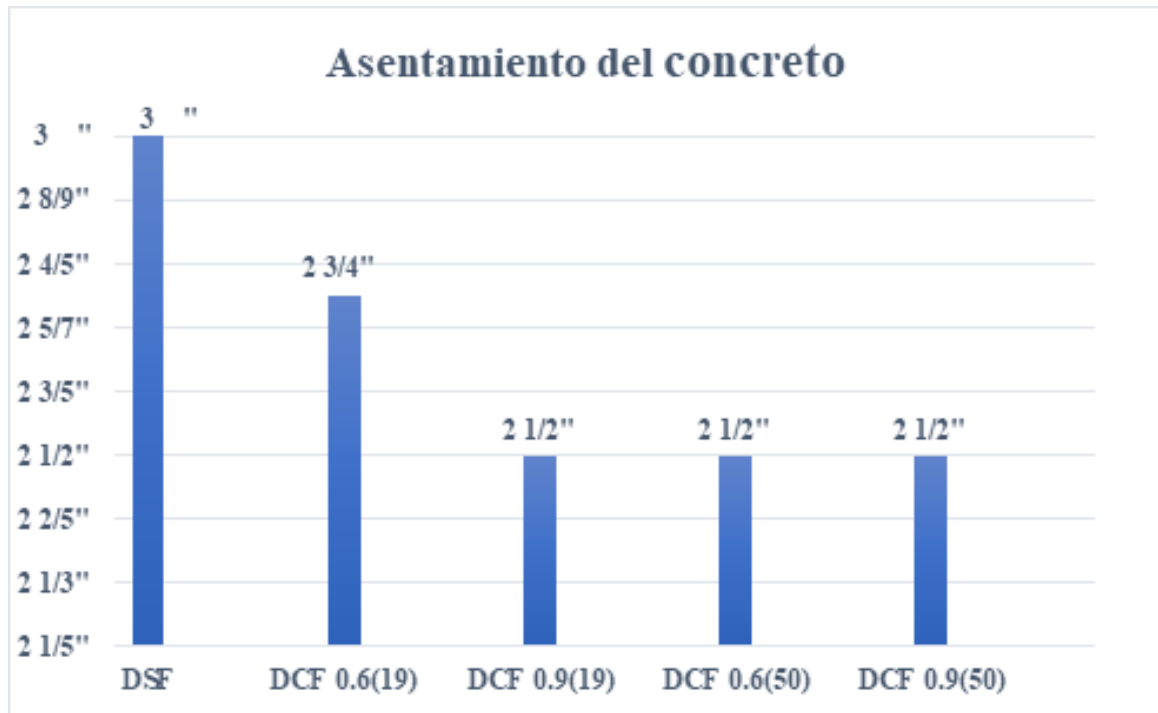
Tabla 19: Asentamiento-Slump

Descripción	Grupo A	Grupo B	Grupo C	Promedio total (Pulg)	Variación SLUMP (%)	Reducción SLUMP (%)
	promedio (pulg)	promedio (pulg)	promedio (pulg)			
DSF	3	2 3/4	3	3	100.00 %	0.00 %
DCF 0.6(19)	2 3/4	2 3/4	2 3/4	2 3/4	91.67 %	8.33 %
DCF 0.9(19)	2 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	83.33 %	16.67 %
DCF 0.6(50)	2 3/4	2 1/2	2 3/4	2 1/2	83.33 %	16.67 %
DCF 0.9(50)	2 1/2	2 1/4	2 1/4	2 1/2	83.33 %	16.67 %

Nota. Tomado de Yanqui (2023)

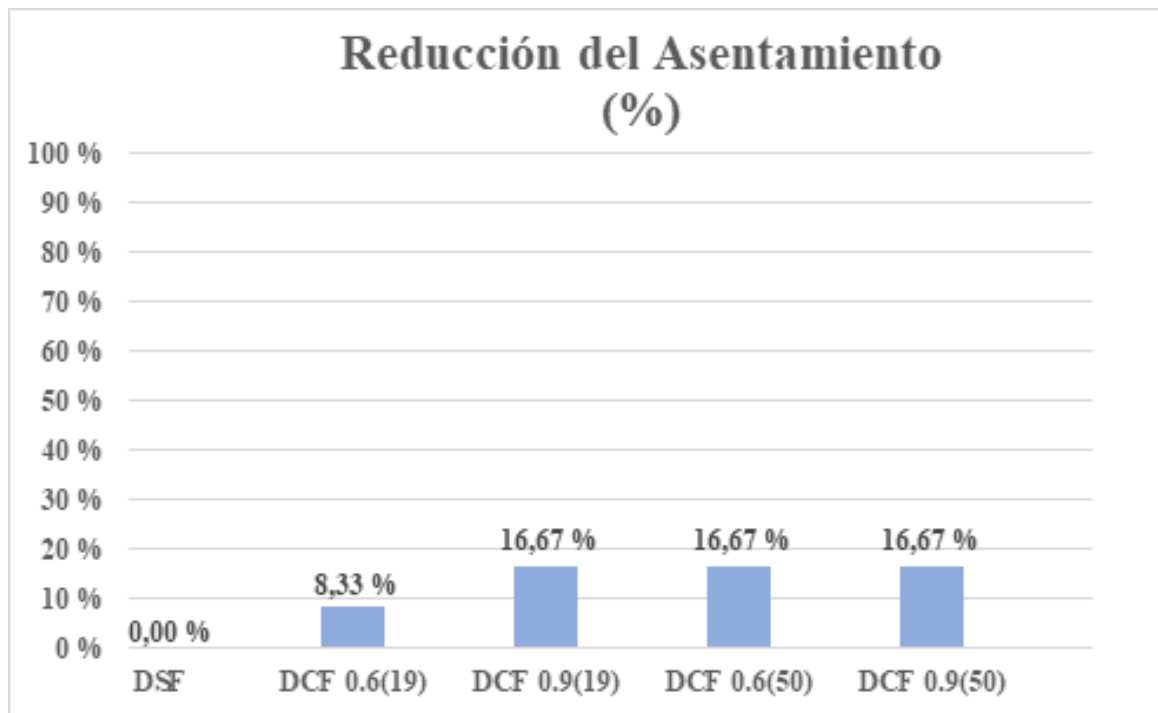
En la Tabla 19 y las Figuras 6 y 7 se resumen los datos que se obtuvieron en el ensayo de asentamiento del concreto. Se puede observar la DSF tiene un valor promedio de 3” si la DCF 0.6(19) posee un valor de 2 ¾”. Así también, la muestra DCF 0.9(50) tiene un valor promedio de 2 ½”; la muestra DCF 0.6(50), de 2 ½”; la muestra DCF 0.9(19), de 2 ½”. Por ende, la reducción de asentamiento del concreto con fibras de polipropileno en lo que respecto al concreto patrón fueron 16.67 %, 16.67 %, 16.67% y 8.33%, por lo que se determina que el polipropileno disminuye en cantidades mínimas la trabajabilidad del concreto.

Figura 6: *Resumen de los valores de exudación*



Nota. Tomado de Yanqui (2023)

Figura 7: *Resumen de los valores de reducción de exudación*



Nota. Tomado de Yanqui (2023)

Prueba de exudación

En este acápite se presentan los datos que fueron obtenidos después de desarrollar el ensayo de exudación del concreto con y sin añadir fibras de polipropileno. El agua exudada es presentada con porcentaje que proviene de la cantidad neta de agua empleada en la mezcla para la muestra a ensayar.

Tabla 20: *Resumen de la prueba de exudación*

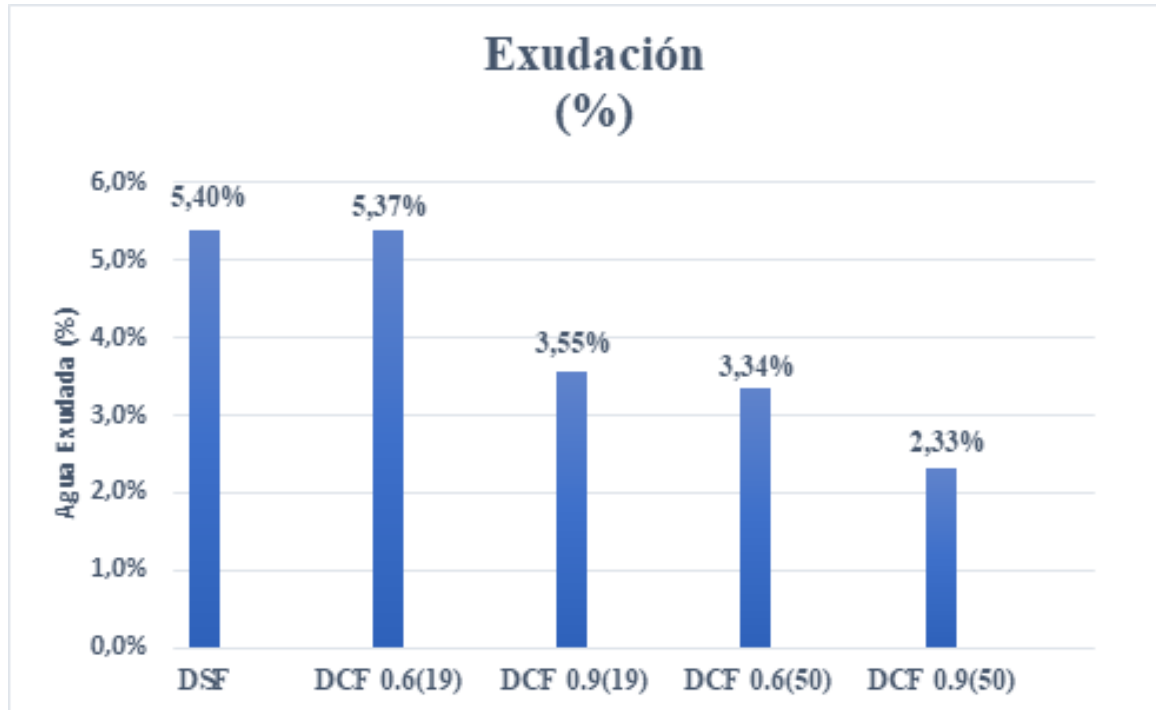
Descripción	M1	M2	M3	Promedio total (%)	Variación exudación (%)	Reducción exudación (%)
DSF	5.39%	5.44%	5.36%	5.40%	100.00 %	0.00 %
DCF 0.6(19)	5.44%	5.31%	5.37%	5.37%	99.44 %	0.56 %
DCF 0.9(19)	3.64%	3.52%	3.50%	3.55%	65.74 %	34.26 %
DCF 0.6(50)	3.41%	3.31%	3.29%	3.34%	61.85 %	38.15 %
DCF 0.9(50)	2.35%	2.18%	2.46%	2.33%	45.56%	54.44 %

Nota. Tomado de Yanqui (2023)

En la Tabla 20 y las Figuras 8 y 9 se demuestra que la muestra patrón alcanza un valor promedio de agua exudada de 5.40 %. Así también, las dosificaciones DCF 0.9(50), DCF 0.6(50), DCF 0.9(19) y DCF 0.6(19) tienen una exudación promedio de 2.33 %, 3.34 %, 3.55 % y 5.37 %. Estos valores redujeron la exudación en un 54.44 %, 38.15 %, 34.26 % y 0.56 % en función a la exudación de la muestra patrón. Estos valores se justifican porque las fibras de polipropileno son hidrofóbicas; es decir, se caracterizan por retener el agua por dentro de la mezcla y por mantener la exudación uniforme y una humedad constante. Esta reducción mejora el comportamiento de la mezcla, puesto que contribuye con la no formación de grandes espacios vacíos, lo que permite una mejor resistencia. Por tanto, los valores presentaron permitieron determinar que las fibras de polipropileno reducen la exudación de manera satisfactoria,

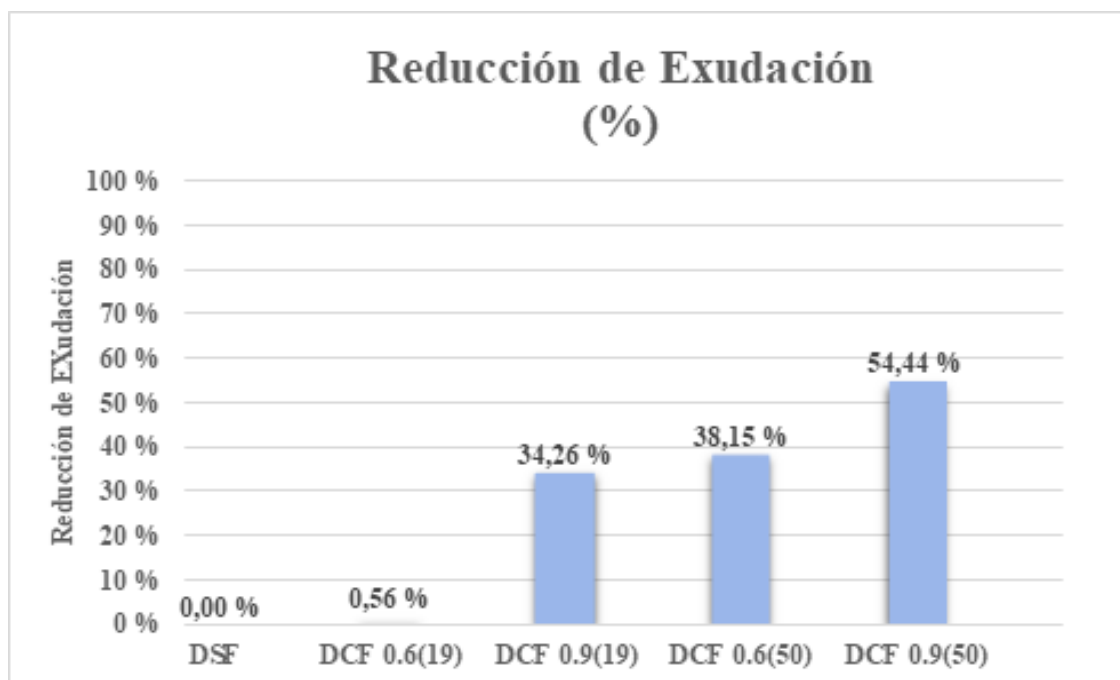
principalmente, la fibra de 50 mm en la proporción de 0.9 kg/m³ porque tiene un mayor porcentaje de reducción de la exudación.

Figura 8: *Resumen de los valores de exudación*



Nota. Tomado de Yanqui (2023)

Figura 9: *Resumen de los valores de reducción de exudación con respecto a la DSF*



Nota. Tomado de Yanqui (2023)

Tiempo de fraguado

Los resultados que se obtuvieron en el ensayo de tiempo fraguado se presentan en la Tabla 21.

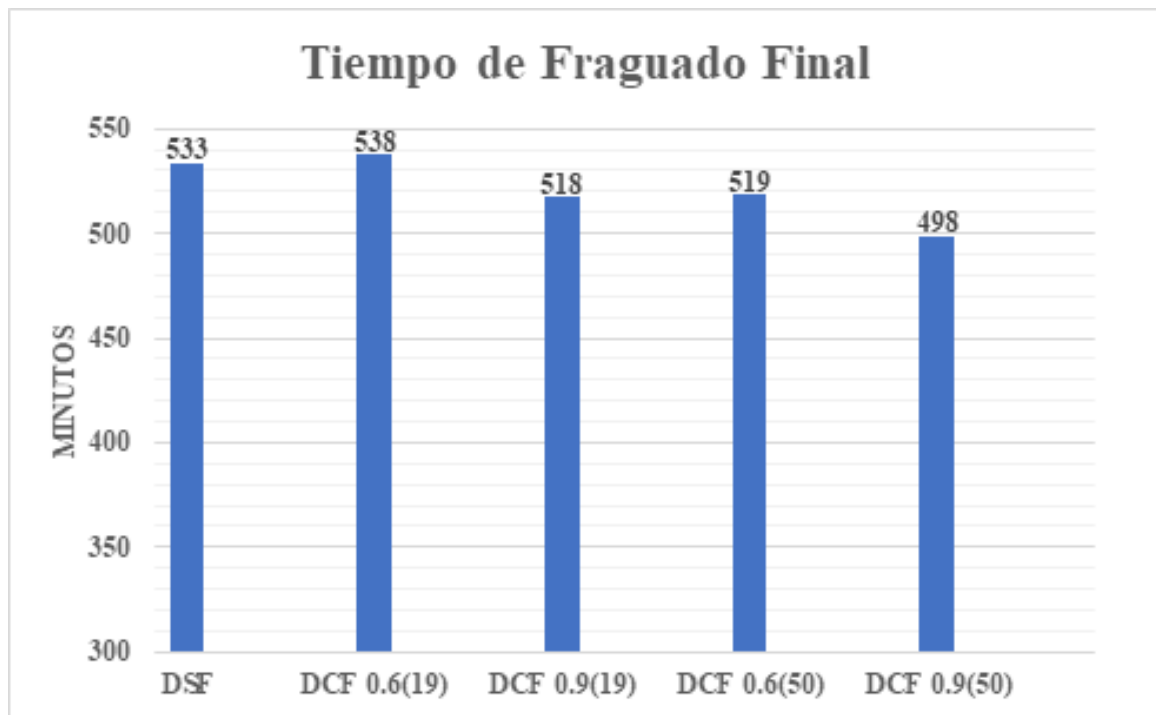
Tabla 21: *Resumen del tiempo de fraguado*

Descripción	Tiempo de Fraguado Final		Promedio Total (min)	Variación Fraguado Final (%)	Reducción Fraguado Final (%)
	M1 (min)	M2 (min)			
DSF	538	529	533	100.00 %	0.00 %
DCF 0.6(19)	538	538	538	100.94 %	-0.94 %
DCF 0.9(19)	538	498	518	97.19 %	2.81 %
DCF 0.6(50)	538	501	519	97.37 %	2.63 %
DCF 0.9(50)	528	468	498	93.43 %	6.57 %

Nota. Tomado de Yanqui (2023)

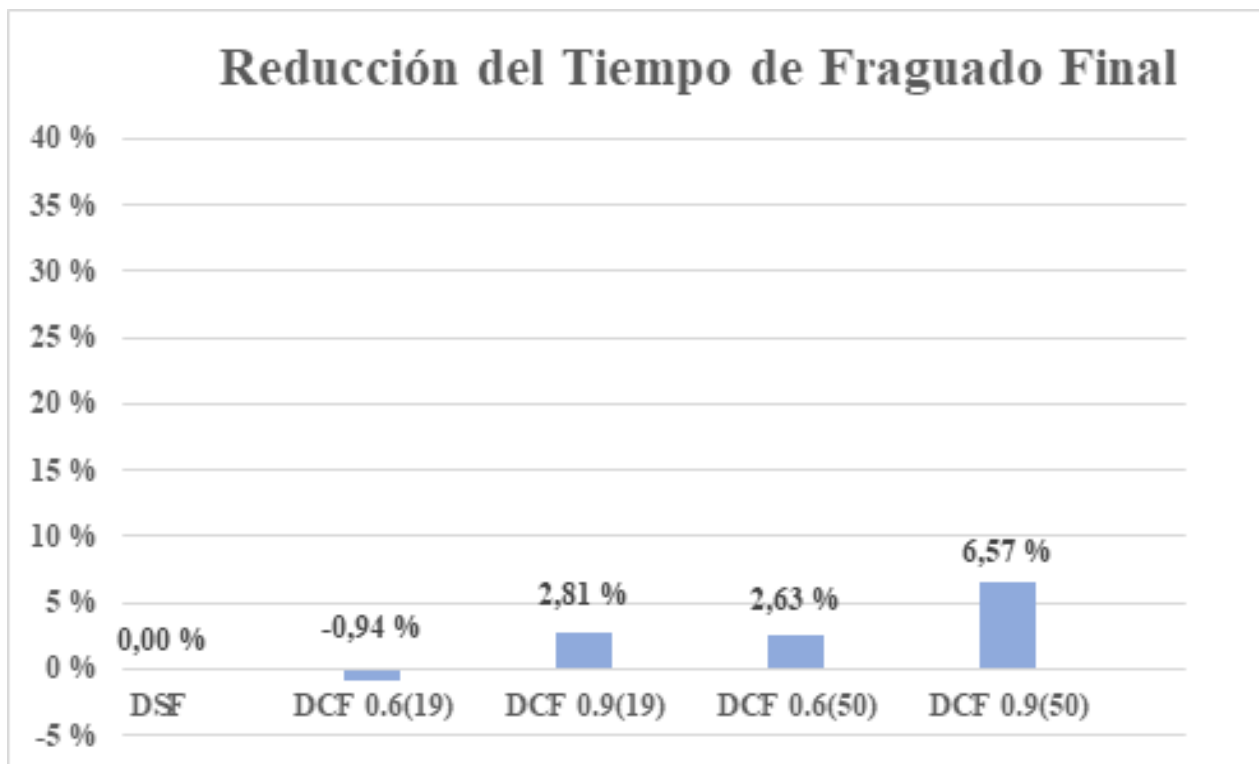
En la Tabla 21 las Figuras 10 y 11 se demuestra que en el concreto patrón se estableció un tiempo promedio de 533 min para su fraguado final. Así también, las dosificaciones DCF 0.9(50), DCF 0.6(50), DCF 0.9(19) y DCF 0.6(19) tienen un tiempo de promedio de 498 min, 519 min, 518 min y 538 min para sus fraguados finales. Estos valores redujeron o aumentaron el tiempo de fraguado final en 6.57%, 2.63%, 2.81% y -0.94% en función al tiempo de fraguado de la muestra patrón. Estos valores permiten establecer que la reducción del tiempo de fraguado del concreto es influenciada por las fibras de polipropileno, lo que favorece (aunque de forma mínima) en la no fisuración del concreto.

Figura 10: *Resumen de los valores del tiempo de fraguado*



Nota. Tomado de Yanqui (2023)

Figura 11: *Resumen de los valores de la reducción del tiempo de fraguado con respecto a la DSF*



Nota. Tomado de Yanqui (2023)

Ensayo de diamantina

Los resultados que se obtuvieron en el ensayo de diamantina se presentan en la Tabla 22.

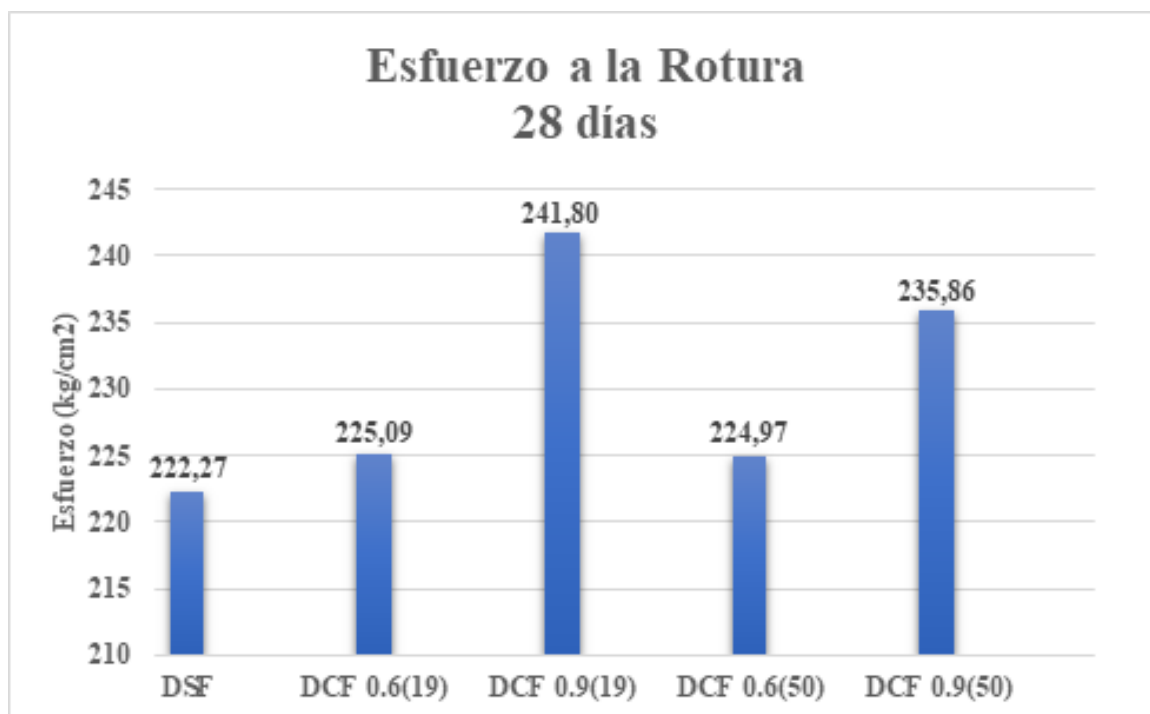
Tabla 22: *Resumen del Esfuerzo a la Rotura a los 28 días*

Descripción	Esfuerzo Rotura 28 días			Promedio total (kg/cm2)	Promedio total (%)	Variación esf. Rotura (%)	Incremento esf. Rotura (%)
	M1 (kg/cm2)	M2 (kg/cm2)	M3 (kg/cm2)				
DSF	200.49	232.75	233.56	222.27	105.84%	100.00 %	0.00 %
DCF 0.6(19)	182.04	243.67	249.56	225.09	107.19%	101.28 %	1.28 %
DCF 0.9(19)	247.40	219.69	258.32	241.80	115.14%	108.79 %	8.79 %
DCF 0.6(50)	211.16	227.52	236.23	224.97	107.13%	101.22 %	1.22 %
DCF 0.9(50)	204.22	248.58	254.78	235.86	112.32%	106.12 %	6.12 %

Nota. Tomado de Yanqui (2023)

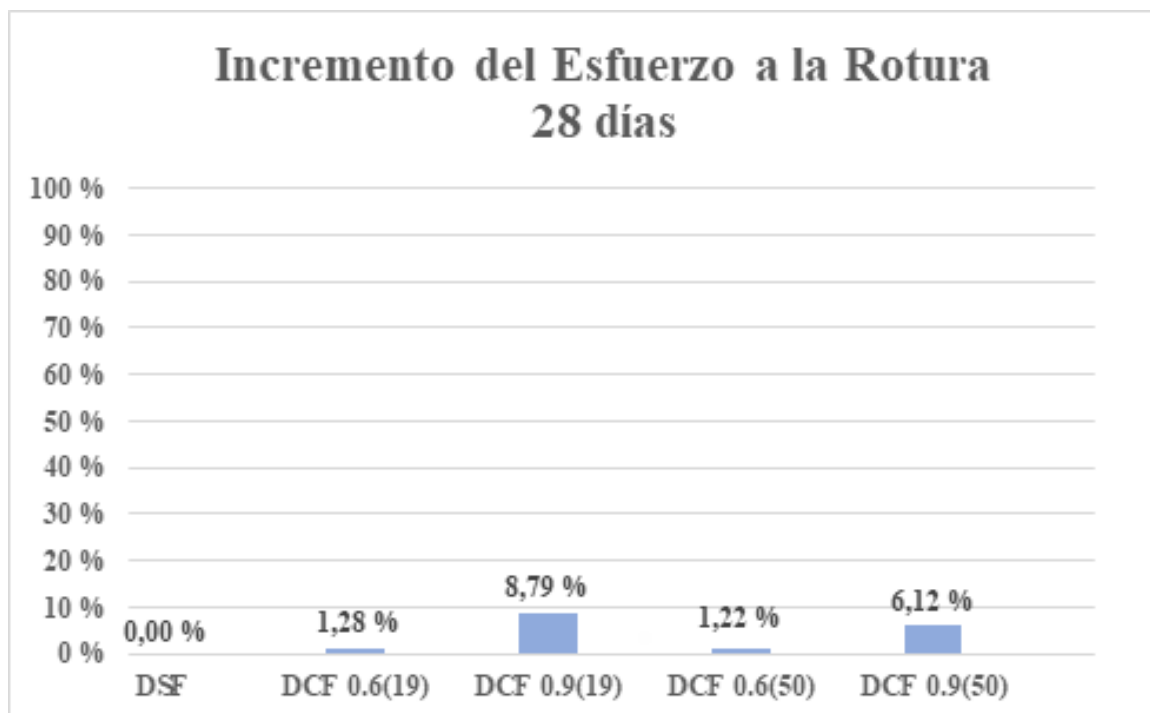
En la Tabla 22 y las Figuras 12 y 13 se demuestra que la muestra patrón obtuvo una resistencia a la compresión promedio de 222.27 kg/cm^2 , el cual se ubica por encima de la resistencia a la compresión de diseño 210 kg/cm^2 . Así también, se observó que las muestras con adición de fibras de polipropileno en las proporciones $0.9 \text{ kg/m}^3(50 \text{ mm})$, $0.6 \text{ kg/m}^3(50 \text{ mm})$, $0.9 \text{ kg/m}^3(19 \text{ mm})$ y $0.6 \text{ kg/m}^3(19 \text{ mm})$ obtuvieron un valor de resistencia a la compresión de 235.86 kg/cm^2 , 224.97 kg/cm^2 , 241.80 kg/cm^2 y 225.09 kg/cm^2 , los cuales están por encima de la resistencia a la compresión diseño y patrón. Estos valores aumentaron la resistencia a la compresión en 6.12% , 1.22% , 8.79% , y 1.28% en función a la resistencia promedio de la muestra patrón. Por tanto, se establece que las fibras de polipropileno aumentan (aunque de forma mínima) la resistencia a la compresión del concreto a los 28 días, principalmente, de la fibra de 19 mm en la proporción de 0.9 kg/m^3 .

Figura 12: *Resumen de los valores del esfuerzo a la rotura*



Nota. Tomado de Yanqui (2023)

Figura 13: Resumen de los valores del incremento del esfuerzo a la rotura con respecto a la DSF



Nota. Tomado de Yanqui (2023)

Área de fisuración

Tabla 23: Resumen de la evaluación del área de fisuración

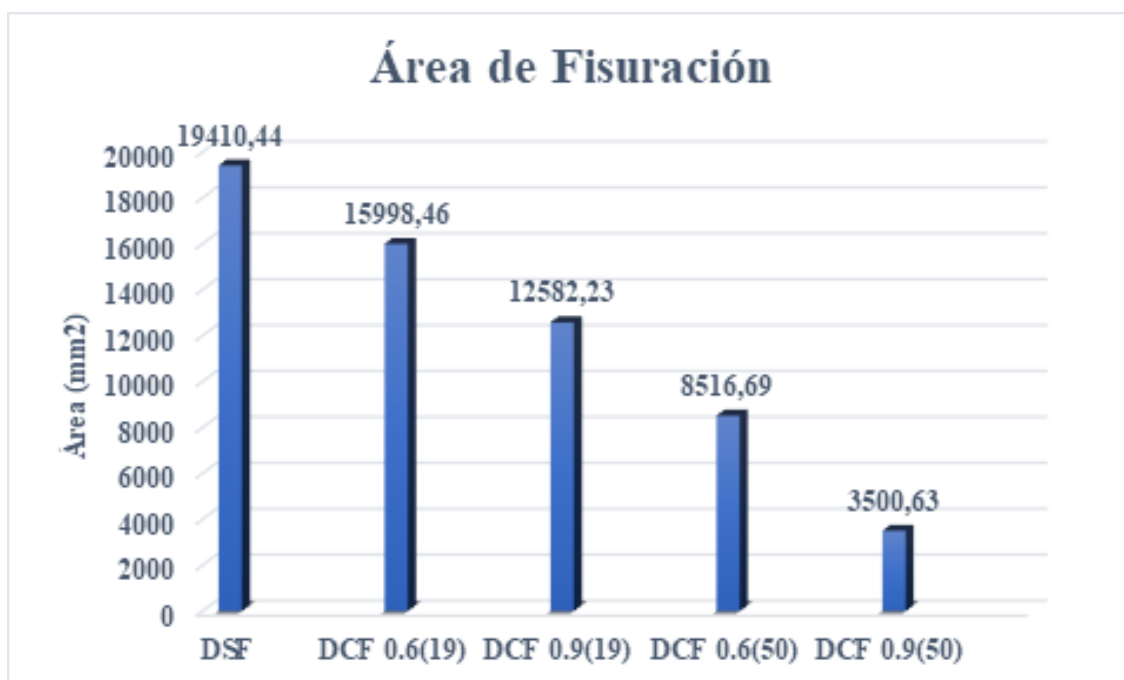
Descripción	Área de fisuración			Promedio Total (mm2)	Variación Área Fisuración (%)	Reducción Área Fisuración (%)
	Grupo A (mm2)	Grupo B (mm2)	Grupo C (mm2)			
DSF	278.69	143.46	160.17	194.10	100.00 %	0.00 %
DCF 0.6(19)	158.55	143.28	178.12	159.98	82.42 %	17.58 %
DCF 0.9(19)	90.86	134.45	152.16	125.82	64.82 %	35.18 %

DCF 0.6(50)	40.36	130.34	84.81	85.17	43.88 %	56.12 %
DCF 0.9(50)	0.00	42.89	62.13	35.01	18.03 %	81.97 %

Nota. Tomado de Yanqui (2023)

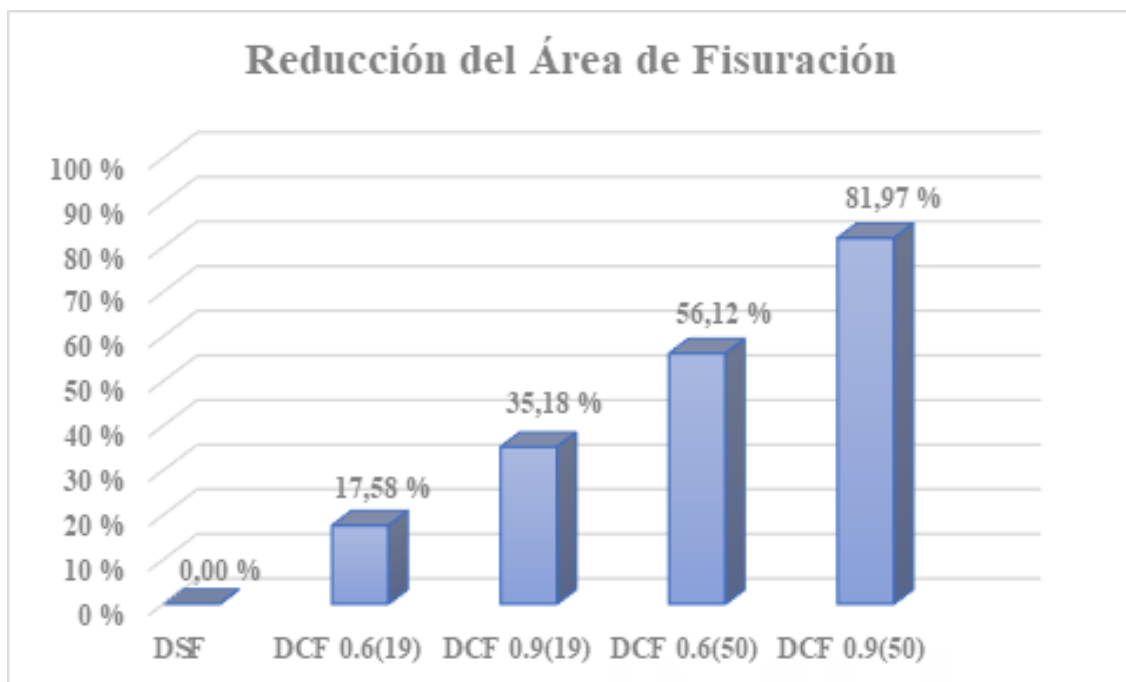
En la Tabla 23 y las Figuras 14 y 15 se demuestra que la losa de prueba patrón obtuvo un área de fisuración promedio de 19410.44 mm². Así también, se observó las losas con adición de fibras de polipropileno en las proporciones 0.9 kg/m³(50 mm), 0.6 kg/m³(50 mm), 0.9 kg/m³(19 mm) y 0.6 kg/m³(19 mm) obtuvieron áreas de fisuración promedio de 3500.63 mm², 8516.19 mm², 12582.23 mm² y 15998.46 mm². Estos valores redujeron el área de fisuración en 81.97 %, 56.12 %, 35.18 % y 17.58 % en función al área de fisuración promedio de la losa patrón. Por tanto, se establece que las fibras de polipropileno reducen la aparición de fisuras, principalmente, de la fibra de 50 mm en la proporción de 0.9 kg/m³.

Figura 14: *Resumen de los valores del esfuerzo a la rotura*



Nota. Tomado de Yanqui (2023)

Figura 15: Resumen de los valores del esfuerzo a la rotura



Nota. Tomado de Yanqui (2023)

Dosificación óptima de fibras de polipropileno

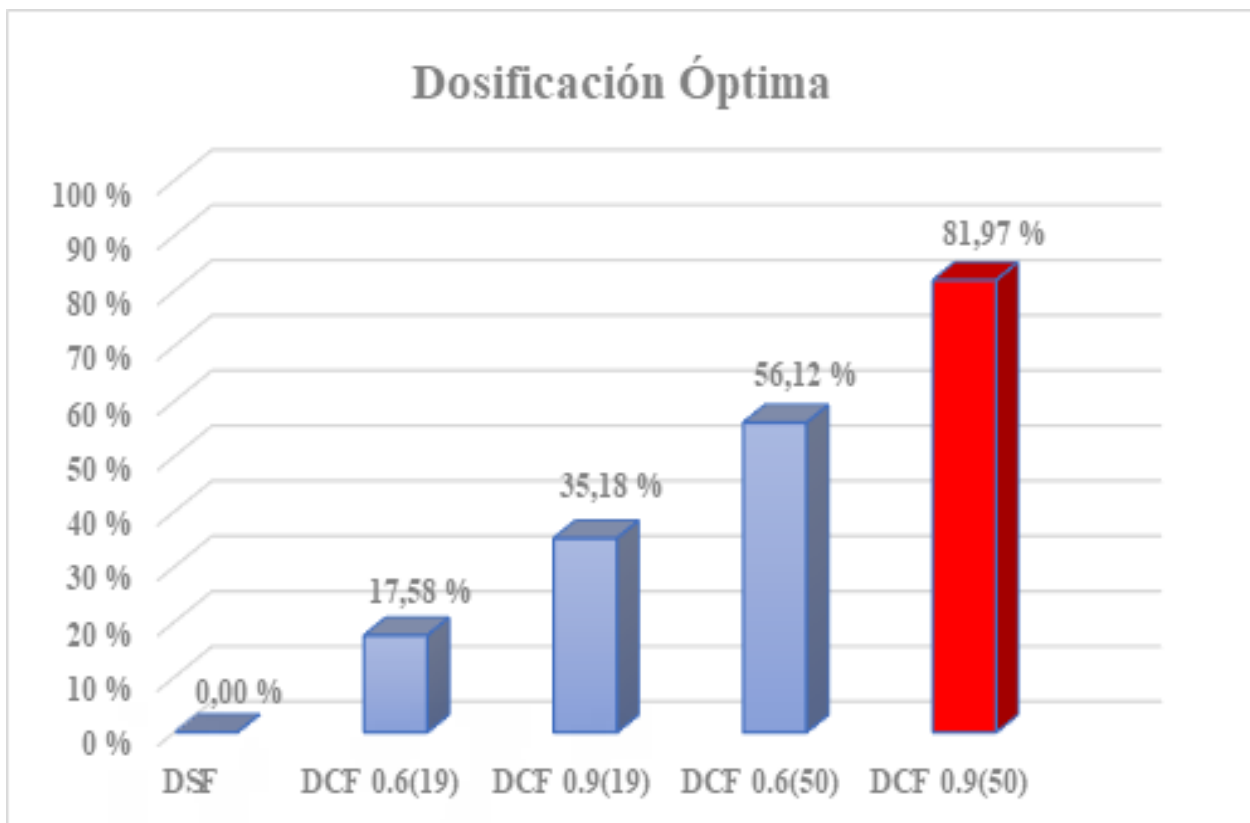
Tabla 24: Resumen de la evaluación del área de fisuración

Descripción	Área de fisuración Promedio Total (mm2)	Variación Área Fisuración (%)	Reducción Área Fisuración (%)	Dosificación Óptima
DSF	194.10	100.00 %	0.00 %	
DCF 0.6(19)	159.98	82.42 %	17.58 %	
DCF 0.9(19)	125.82	64.82 %	35.18 %	
DCF 0.6(50)	85.17	43.88 %	56.12 %	
DCF 0.9(50)	35.01	18.04 %	81.96 %	81.96%

Nota. Tomado de Yanqui (2023)

En la Tabla 24 y la Figuras 16 se demuestra que la losa de prueba patrón obtuvo un área de fisuración promedio de 19410.44 mm². Así también, se observó las losas con adición de fibras de polipropileno en las proporciones 0.9 kg/m³(50 mm), 0.6 kg/m³(50 mm), 0.9 kg/m³(19 mm) y 0.6 kg/m³(19 mm) mostraron una reducción en el área de fisuración de 81.97 %, 56.12 %, 35.18 % y 17.58 % en función al área de fisuración promedio de la losa patrón. Por tanto, se establece que la fibra de 50 mm en la proporción de 0.9kg/m³ es la dosificación óptima de fibras de polipropileno porque reduce en 81.97 % el área de fisuración.

Figura 16: *Resumen de los valores del esfuerzo a la rotura*



Nota. Tomado de Yanqui (2023)

Contrastación de hipótesis

Nivel de significancia

El nivel de significancia es 5 % porque es el valor más comúnmente utilizado.

Planteamiento de hipótesis

H_0 : No existe variación estadística entre las medias de los grupos

H_1 : Existe variación estadística entre las medias de los grupos

Lectura del P-valor y toma de decisión

$P\text{-valor} \geq \alpha$ (H_0 es válida)

$P\text{-valor} < \alpha$ (H_1 es válida)

1. Prueba de hipótesis general

a) P-valor para la exudación

En la Tabla 25 se observan los resultados obtenidos a partir de la prueba paramétrica ANOVA y en las Tablas 26 y 27 se aprecian las significancias de las comparaciones múltiples de cada grupo experimental con el grupo patrón, en el que no se añadieron fibras de polipropileno.

Tabla 25 : Análisis de Varianzas (ANOVA)

ANOVA					
Exudación					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	21,795	4	5,449	764,571	,000
Dentro de grupos	,071	10	,007		
Total	21,867	14			

Nota. Tomado de Yanqui (2023)

Tabla 26: *Subconjuntos de Tukey*

Comparaciones múltiples						
Variable dependiente: Exudación						
HSD Tukey						
(I) Descripción	(J) Descripción	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
					Lím. Inf.	Lím. sup.
Dosificación sin fibras	Dosificación con fibras (0.6kgm3 -19mm)	,02333	,06893	,997	-,2035	2502
	Dosificación con fibras (0.9kgm3 -19mm)	1,84333*	,06893	,000	1,6165	2,0702
	Dosificación con fibras (0.6kgm3 -50mm)	2,06000*	,06893	,000	1,8332	2,2868
	Dosificación con fibras (0.9kgm3 -50mm)	3,06667*	,06893	,000	2,8398	3,2935
	Dosificación con fibras (0.6kgm3 -50mm)	-1,00667*	,06893	,000	-1,2335	-,7798

Nota. Tomado de Yanqui (2023)

Tabla 27: *Subconjuntos de Tukey*

Exudación				
HSD Tukey ^a				
Descripción	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
Dosificación con fibras (0.9kgm3 -50mm)	3	2,3300		
Dosificación con fibras (0.6kgm3 -50mm)	3		3,3367	
Dosificación con fibras (0.9kgm3 -19mm)	3		3,5533	
Dosificación con fibras (0.6kgm3 -19mm)	3			5,3733
Dosificación sin fibras	3			5,3967
Sig.		1,000	,063	,997

Nota. Tomado de Yanqui (2023)

b) P-valor para la longitud de fisuras

En la Tabla 28 se observan los resultados obtenidos a partir de la prueba paramétrica ANOVA y en las Tablas 29 y 30 se aprecian las significancias de las comparaciones múltiples de cada grupo experimental con el grupo patrón, en el que no se añadieron fibras de polipropileno.

Tabla 28: *Análisis de Varianzas (ANOVA)*

ANOVA					
Longitud fisuras					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	532556,171	4	133139,043	10,482	,001
Dentro de grupos	127014,527	10	12701,453		
Total	659570,697	14			

Nota. Tomado de Yanqui (2023)

Tabla 29: *Subconjuntos de Tukey*

Comparaciones múltiples						
Variable dependiente: Longitud de fisuras						
HSD Tukey						
(I) Descripción	(J) Descripción	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95 % de intervalo de confianza	
					Lím. Inf.	Lím. sup.
Dosificación sin fibras	Dosificación con fibras (0.6kgm3 -19mm)	112,33333	92,01975	,741	-190,5112	415,1779
	Dosificación con fibras (0.9kgm3 -19mm)	198,33333	92,01975	,270	-104,5112	501,1779
	Dosificación con fibras (0.6kgm3 -50mm)	389,23333*	92,01975	,012	86,3888	692,0779
	Dosificación con fibras (0.9kgm3 -50mm)	522,33333*	92,01975	,001	219,4888	825,1779

Nota. Tomado de Yanqui (2023)

Tabla 30: *Subconjuntos de Tukey*

Longitud fisuras				
HSD Tukey ^a				
Descripción	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
Dosificación con fibras (0.9kgm3 -50mm)	3	105,6667		
Dosificación con fibras (0.6kgm3 -50mm)	3	238,7667	238,7667	
Dosificación con fibras (0.9kgm3 -19mm)	3		429,6667	429,6667
Dosificación con fibras (0.6kgm3 -19mm)	3		515,6667	515,6667
Dosificación sin fibras	3			628,0000
Sig.		,615	,077	,270

Nota. Tomado de Yanqui (2023)

c) P-valor para el espesor de fisuras

En la Tabla 31 se observan los resultados obtenidos a partir de la prueba paramétrica ANOVA y en las Tablas 32 y 33 se aprecian las significancias de las comparaciones múltiples de cada grupo experimental con el grupo patrón, en el que no se añadieron fibras de polipropileno.

Tabla 31: *Análisis de Varianzas (ANOVA)*

ANOVA					
Espesor de fisuras					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	86579,733	4	21644,933	17,572	,000
Dentro de grupos	12318,000	10	1231,800		
Total	98897,733	14			

Nota. Tomado de Yanqui (2023)

Tabla 32: Comparaciones múltiples

Comparaciones múltiples						
Variable dependiente: Espesor de fisuras						
HSD Tukey						
(I) Descripción	(J) Descripción	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
					Lím. inf.	Lím. sup.
Dosificación sin fibras	Dosificación con fibras (0.6kgm3 -19mm)	2,6667	28,6566	1,000	-91,645	96,978
	Dosificación con fibras (0.9kgm3 -19mm)	93,3333	28,6566	,053	-,978	187,645
	Dosificación con fibras (0.6kgm3 -50mm)	151,3333*	28,6566	,003	57,022	245,645
	Dosificación con fibras (0.9kgm3 -50mm)	187,0000*	28,6566	,000	92,689	281,311

Nota. Tomado de Yanqui (2023)

Tabla 33: *Subconjuntos de Tukey*

Espesor de fisuras			
HSD Tukey ^a			
Descripción	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
Dosificación con fibras (0.9kg/m ³ -50mm)	3	43,333	
Dosificación con fibras (0.6kgm ³ -50mm)	3	79,000	
Dosificación con fibras (0.9kgm ³ -19mm)	3	137,000	137,000
Dosificación con fibras (0.6kgm ³ -19mm)	3		227,667
Dosificación sin fibras	3		230,333
Sig.		,052	,053

Nota. Tomado de Yanqui (2023)

d) P-valor para el área de fisuras

En la Tabla 34 se observan los resultados obtenidos a partir de la prueba paramétrica ANOVA y en las Tablas 35 y 36 se aprecian las significancias de las comparaciones múltiples de cada grupo experimental con el grupo patrón, en el que no se añadieron fibras de polipropileno.

Tabla 34: *Análisis de Varianzas (ANOVA)*

ANOVA					
Área de fisuras					
	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	4,165	4	1,041	7,293	,005
Dentro de grupos	1,428	10	,143		
Total	5,593	14			

Nota. Tomado de Yanqui (2023)

Tabla 35: *Subconjuntos de Tukey*

Comparaciones múltiples						
Variable dependiente: Área de fisuras						
HSD Tukey						
(I) Descripción	(J) Descripción	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
					Lím. Inf.	Lím. Sup.
Dosf. sin fibras	Dosificación con fibras (0.6kgm3 -19mm)	,22007000	,30852888	,949	-,7953239	1,2354639
	Dosificación con fibras (0.9kgm3 -19mm)	,56169000	,30852888	,414	-,4537039	1,5770839
	Dosificación con fibras (0.6kgm3 -50mm)	,96824800	,30852888	,063	-,0471459	1,9836419
	Dosificación con fibras (0.9kgm3 -50mm)	1,46985333*	,30852888	,005	,4544595	2,4852472

Nota. Tomado de Yanqui (2023)

Tabla 36: *Subconjuntos de Tukey*

Área fisuras			
Descripción	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
Dosificación con fibras (0.9kgm3 -50mm)	3	,3500633	
Dosificación con fibras (0.6kgm3 -50mm)	3	,8516687	,8516687
Dosificación con fibras (0.9kgm3 -19mm)	3	1,2582267	1,2582267
Dosificación con fibras (0.6kgm3 -19mm)	3		1,5998467
Dosificación sin fibras	3		1,8199167
Sig.		,086	,063

Nota. Tomado de Yanqui (2023)

e) Decisión estadística

Para contrastar la hipótesis general se empleó el análisis de varianza considerando lo siguiente:

- Si el p-valor es mayor a alfa, la hipótesis alterna es rechazada.
- Si el p-valor es menor a alfa, la hipótesis alterna es aceptada.

Además

- p-valor (exudación) = 0.000 < $\alpha = 0.05$
- p-valor (longitud de fisuras) = 0.001 < $\alpha = 0.05$
- p-valor (espesor de fisuras) = 0.000 < $\alpha = 0.05$
- p-valor (área de fisuras) = 0.005 < $\alpha = 0.05$

Se concluye que existe una varianza significativa en el control de la retracción plástica al añadir fibras de polipropileno en los pavimentos rígidos; por ende, la hipótesis nula y la alterna es rechazada y aceptada, correspondientemente.

2. Prueba de hipótesis específica 1

a. Redacción de hipótesis

H0: No existe, una varianza significativa, entre la fisuración por retracción plástica con el uso de fibras de tiras largas y fibras de tiras cortas

H1: Existe, una varianza significativa, entre la fisuración por retracción plástica con el uso de fibras de tiras largas y fibras de tiras cortas

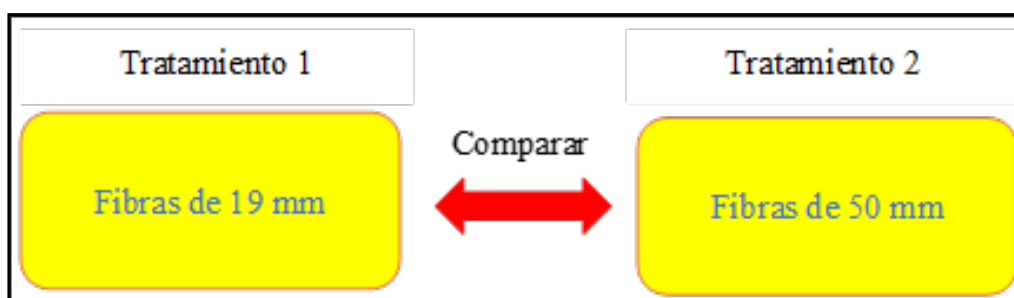
b. Valor de significancia (α)

Alpha (α)= 5%

c. Elección de la prueba paramétrica

La prueba paramétrica T de Student fue elegida porque se poseen variables numéricas y dos grupos que son sometidos a experimentación.

Figura 17: Comparación entre tratamiento 1 y 2



Nota. Tomado de Yanqui (2023)

d. Cálculo del P-valor

En las Tablas 37 y 38 se presentan los resultados que se obtuvieron al aplicar la Prueba T.

Tabla 37: Prueba T

		Prueba t para la igualdad de medias						
		T	gl	Sig.	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
							Inf	Sup
Área de fisura	Se asumen varianzas iguales	3,807	10	,003	,82817	,21755	,34344	1,31290
	No se asumen varianzas iguales	3,807	8,697	,004	,82817	,21755	,33342	1,32292

Nota. Tomado de Yanqui (2023)

Tabla 38: Prueba T

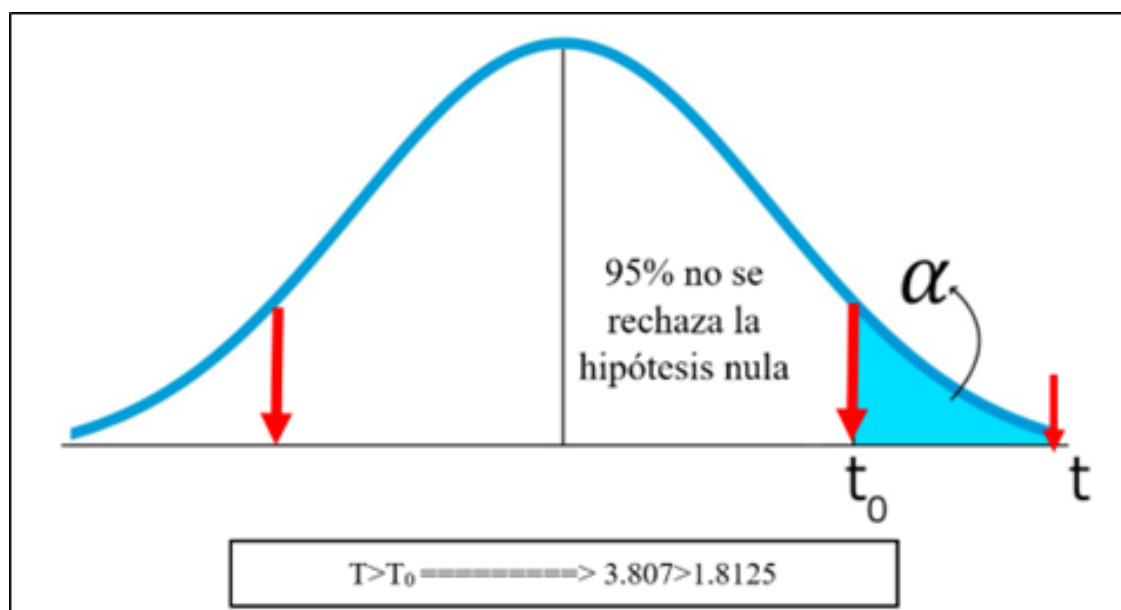
Descriptivos			
Descripción		Estadístico	Error estándar
Área fisura	Media	1.4290	.12044
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	1.1194
		Límite superior	1.7386
	Media recortada al 5%	1.4384	
	Mediana	1.4772	
	Varianza	.087	
	Desviación estándar	.29502	
	Media	.6009	.18117
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	.1352
		Límite superior	1.0666
Tiras largas	Media recortada al 5%	.5952	
	Mediana	.5251	
	Varianza	.197	
	Desviación estándar	.44376	
Valor “t” crítico		1.8125	

Nota. Tomado de Yanqui (2023)

e. Decisión estadística

En la Figura 18 se observa que la T estadística que se obtuvo demuestra ser mayor a la T crítica; es decir, este valor está fuera del área de aceptación de H_0 . Por ende, la hipótesis nula y la alterna es rechazada y aceptada, correspondientemente. Cabe precisar que también se aceptó la hipótesis alterna porque el P-valor es menor a α (0.05).

Figura 18: Curva T-Student



Nota. Tomado de Yanqui (2023)

Se concluye que hay una relación estadísticamente significativa entre la varianza de los efectos de añadir fibras de polipropileno cortas y largas para disminuir la fisuración por retracción plástica en los pavimentos rígidos.

3. Prueba de hipótesis específica 2

a. Redacción de hipótesis

H_0 : No existe, una varianza significativa, el efecto de las fibras de polipropileno en la resistencia a la compresión del concreto de diseño $f'_c=210\text{kg/cm}^2$ en pavimentos rígidos de la ciudad de Juliaca, no será positivo al no incrementar la resistencia a la compresión del concreto.

H1: Existe, una varianza significativa, el efecto de las fibras de polipropileno en la resistencia a la compresión del concreto de diseño $f'c=210\text{kg/cm}^2$ en pavimentos rígidos de la ciudad de Juliaca, será positivo al incrementar la resistencia a la compresión del concreto.

b. Valor de significancia (α)

Alpha (α)= 5%

c. Elección de la prueba paramétrica

La prueba paramétrica ANOVA fue elegida porque se poseen variables numéricas y dos grupos que son sometidos a experimentación. Esto se presenta en las Tablas 39, 40 y 41.

Tabla 39: *Análisis de varianza (ANOVA)*

ANOVA					
Resistencia a la compresión					
	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	777,611	4	194,403	15,452	,000
Dentro de grupos	125,814	10	12,581		
Total	903,425	14			

Nota. Tomado de Yanqui (2023)

Tabla 40: *Subconjuntos de Tukey*

Comparaciones múltiples						
Variable dependiente: Resistencia a la compresión						
HSD Tukey						
(I) Descripción	(J) Descripción	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
					Lím. Inf.	Lím. sup.
Dosificación sin fibras	Dosificación con fibras (0.6kgm3 -19mm)	-1,15333	2,89614	,994	-10,6848	8,3781
	Dosificación con fibras (0.9kgm3 -19mm)	-17,86333*	2,89614	,001	-27,3948	-8,3319
	Dosificación con fibras (0.6kgm3 -50mm)	-1,03333	2,89614	,996	-10,5648	8,4981
	Dosificación con fibras (0.9kgm3 -50mm)	-11,92333*	2,89614	,014	-21,4548	-2,3919

Nota. Tomado de Yanqui (2023)

Tabla 41: *Subconjuntos de Tukey*

Resistencia a la compresión			
HSD Tukey ^a			
Descripción	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
Dosificación sin fibras	3	223,9367	
Dosificación con fibras (0.6kgm3 -50mm)	3	224,9700	
Dosificación con fibras (0.6kgm3 -19mm)	3	225,0900	
Dosificación con fibras (0.9kgm3 -50mm)	3		235,8600
Dosificación con fibras (0.9kgm3 -19mm)	3		241,8000
Sig.		,994	,310

Nota. Tomado de Yanqui (2023)

Decisión estadística

Para contrastar la hipótesis general se empleó el análisis de varianza considerando lo siguiente:

- Si el p-valor es mayor a alfa, la hipótesis alterna es rechazada.
- Si el p-valor es menor a alfa, la hipótesis alterna es aceptada.

Además

- p-valor (resistencia a la compresión) = 0.000 < $\alpha = 0.05$

Se concluye que existe una varianza significativa en el efecto de las fibras de polipropileno en la resistencia a la compresión del concreto de diseño $f'c=210\text{kg/cm}^2$ en los pavimentos rígidos, la cual es positiva cuando aumenta la resistencia a la compresión del concreto.

4. Prueba de hipótesis específica 3

Redacción de hipótesis

H0: No existe una varianza significativa, la utilización de fibras de polipropileno no reduce la fisuración por retracción plástica del concreto en pavimentos rígidos de la ciudad de Juliaca.

H1: Existe una varianza significativa, la dosificación óptima de fibras de polipropileno a utilizar reduce la fisuración por retracción plástica del concreto en pavimentos rígidos de la ciudad de Juliaca.

Valor de significancia (α)

Alpha (α)= 5%

Elección de la prueba paramétrica

La prueba paramétrica ANOVA fue elegida porque se poseen variables numéricas y dos grupos que son sometidos a experimentación. Esto se presenta en las Tablas 42, 43 y 44.

Tabla 42: *Análisis de varianza (ANOVA)*

ANOVA					
Área de fisuras					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	4,165	4	1,041	7,293	,005
Dentro de grupos	1,428	10	,143		
Total	5,593	14			

Nota. Tomado de Yanqui (2023)

Tabla 43: *Subconjuntos de Tukey*

Comparaciones múltiples						
Variable dependiente: Área de fisuras						
HSD Tukey						
(I) Descripción	(J) Descripción	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95 % de intervalo de confianza	
					Lím. Inf.	Lím. Sup.
Dosificación sin fibras	Dosificación con fibras (0.6kgm3 -19mm)	,22007000	,30852888	,949	-,7953239	1,2354639
	Dosificación con fibras (0.9kgm3 -19mm)	,56169000	,30852888	,414	-,4537039	1,5770839
	Dosificación con fibras (0.6kgm3 -50mm)	,96824800	,30852888	,063	-,0471459	1,9836419
	Dosificación con fibras (0.9kgm3 -50mm)	1,46985333*	,30852888	,005	,4544595	2,4852472

Nota. Tomado de Yanqui (2023)

Tabla 44: *Subconjuntos de Tukey*

Área de fisuras			
HSD Tukey ^a			
Descripción	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
Dosificación con fibras (0.9kgm3 -50mm)	3	,3500633	
Dosificación con fibras (0.6kgm3 -50mm)	3	,8516687	,8516687
Dosificación con fibras (0.9kgm3 -19mm)	3	1,2582267	1,2582267
Dosificación con fibras (0.6kgm3 -19mm)	3		1,5998467
Dosificación sin fibras	3		1,8199167
Sig.		,086	,063

Nota. Tomado de Yanqui (2023)

Decisión estadística

Para contrastar la hipótesis general se empleó el análisis de varianza considerando lo siguiente:

- Si el p-valor es mayor a alfa, la hipótesis alterna es rechazada.
- Si el p-valor es menor a alfa, la hipótesis alterna es aceptada.

Además

- p-valor (Área de fisuras) = 0.005 $< \alpha = 0.05$

Se concluye que existe una varianza significativa en la dosificación óptima de fibras de polipropileno utiliza en 900 gr/m³ porque disminuye la fisuración por retracción plástica del concreto en pavimentos rígidos.

5. Prueba de hipótesis específica 4

Redacción de hipótesis

H0: No existe una varianza significativa, la medida en que se reduce la fisuración por retracción plástica del concreto con la adición de fibras de polipropileno en pavimentos rígidos de la ciudad de Juliaca, es en un 90%.

H1: Existe una varianza significativa, la medida en que se reduce la fisuración por retracción plástica del concreto con la adición de fibras de polipropileno en pavimentos rígidos de la ciudad de Juliaca, no es en un 90%.

Valor de significancia (α)

Alpha (α)= 5%

Elección de la prueba paramétrica

La prueba paramétrica T de Student fue elegida porque se poseen variables numéricas y dos valores a comparar.

Cálculo de P-valor

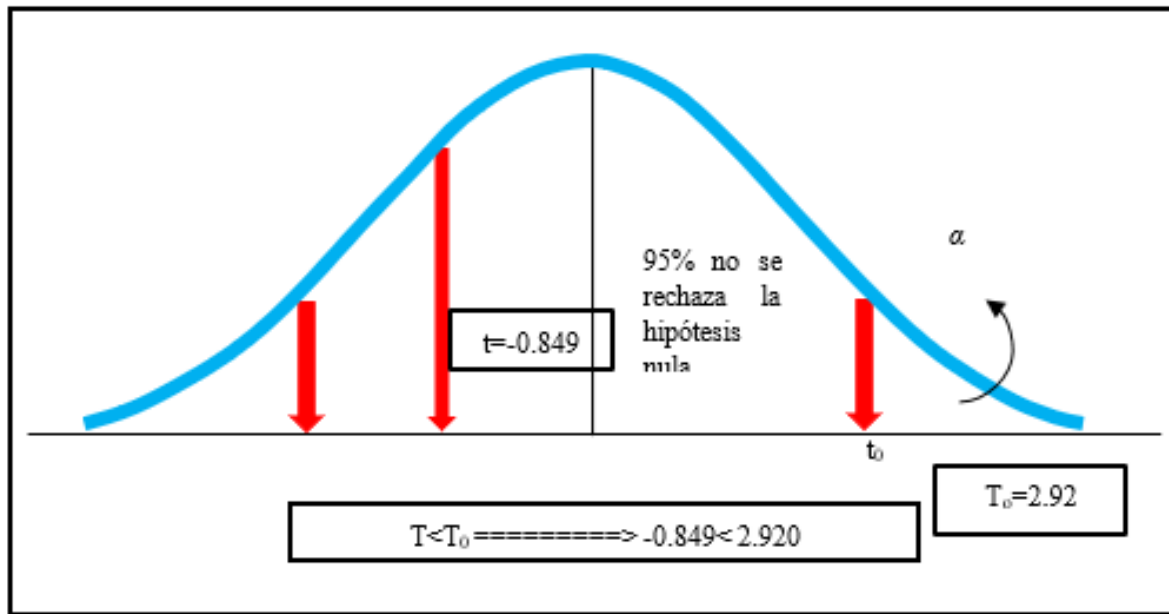
El cálculo se observa en la Tabla 45 y la Figura 19.

Tabla 45: Prueba T

Prueba de muestra única						
Valor de prueba = 90						
t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia		
				Inferior	Superior	
Reducción área de fisuración	-,849	2	,485	-8,03667	-48,7449	32,6716

Nota. Tomado de Yanqui (2023)

Figura 19: Curva T-Student



Nota. Tomado de Yanqui (2023)

Decisión estadística

Para contrastar la hipótesis general se empleó el análisis de varianza considerando lo siguiente:

- Si el p-valor es mayor a alfa, la hipótesis alterna es rechazada.
- Si el p-valor es menor a alfa, la hipótesis alterna es aceptada.

Además

- p-valor (Área de fisuras) = 0.005 $< \alpha = 0.05$

Se concluye que no existe una varianza significativa porque la medida en que la fisuración por retracción plástica del concreto reduce con la adición de fibras de polipropileno es semejante al 90 %.

Discusión de resultados

D.G: De acuerdo con las pruebas estadísticas y los resultados obtenidos por medio de la aplicación de recursos e instrumentos, se determina la aceptación de la hipótesis del investigador; esto es, la medida en que se controla la retracción plástica del concreto con la adición de fibras de polipropileno es en 90 %. Esto se debe a que en las pruebas estadísticas en los datos de exudación,

espesor de fisuras, longitud de fisuras y área de fisuración se afirmó que la adición de fibras incide de manera significativa en la reducción de estos. Así también, se determinó que el mayor porcentaje de reducción del área de fisuración fue 81.97 %. Cabe precisar que la retracción plástica se debe a una velocidad de exudación alta.

D1: De acuerdo con las pruebas estadísticas y los resultados obtenidos por medio de la aplicación de recursos e instrumentos, se determina el rechazo de la hipótesis del investigador en la que se indica que la reducción de la fisuración por retracción plástica por adición de fibras de polipropileno largas y cortas es similar. Al respecto, se debe señalar que existen varianzas significativas cuando se añaden fibras de polipropileno cortas y largas, pues la fibra larga de 50 mm en la dosificación de 0.9 kg/m^3 presenta un mayor efecto. Este resultado difiere del establecido por Valero (2015), quien manifiesta que entre las fibras de polipropileno de 19 mm y 50 mm no existe diferencia significativa, lo cual se debe a los factores del lugar donde se realizó el estudio, el procedimiento y la metodología aplicada.

D2: De acuerdo con las pruebas estadísticas y los resultados obtenidos por medio de la aplicación de recursos e instrumentos, se determina la aceptación de la hipótesis del investigador en la que se indica que el efecto de las fibras de polipropileno en la resistencia a la compresión del concreto de diseño $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ es positivo cuando la resistencia a la compresión se incrementa en 5 %. Esto se debe a que en las pruebas estadísticas se determinó que hay una incidencia poco significativa de las fibras de polipropileno en la compresión del concreto porque en los resultados se observó la resistencia a la compresión de cada losa con adición de fibras incrementó entre 1.28 % y 8.79 %. Los resultados encontrados son similares a los hallados en el estudio de Mestanza (2016), quien señaló que las fibras de polipropileno aumentaron la resistencia a la compresión de los cilindros de concreto. Conjuntamente, coinciden con la investigación de Toro (2017), quien manifestó que la fibra de polipropileno aumentó en 4.41 % y 18.71 % la resistencia a la compresión.

D3: De acuerdo con las pruebas estadísticas y los resultados obtenidos por medio de la aplicación de recursos e instrumentos, se determina la aceptación de la hipótesis del investigador en la que se indica que la dosificación óptima de fibras de polipropileno que debe emplearse para reducir la fisuración por retracción plástica es de 900 gr/m³. Esto se debe a que los resultados demostrados que la fibra de 50 mm en la dosificación de 900 gr/m³ es la que reduce significativamente la exudación del concreto, el espesor de fisuras, la longitud de fisuras y el área de fisuras. Los resultados encontrados son similares a los hallados en el estudio de Valero (2015), quien concluyó que las dosis de 900 y 1500 g/m³ garantizan mejores resultados cuando se quiere reducir la fisuración por retracción plástica. Por otra parte, los resultados difieren de los encontrados en la investigación de Aguilar y Gonzales (2017), quienes sostiene que la dosificación óptima es 600 gr/m³.

D4: De acuerdo con las pruebas estadísticas y los resultados obtenidos por medio de la aplicación de recursos e instrumentos, se determina la aceptación de la hipótesis del investigador en la que se indica que la medida en que se reduce la fisuración por retracción plástica del concreto con la adición de fibras de polipropileno es en 90 %. Esto se debe a que la reducción del área de fisuración fue 81.97 %, lo cual fue estadísticamente significativo. Los resultados encontrados son similares a los hallados en el estudio de (Valero, 2015), quien señala que el uso de fibras de polipropileno disminuye significativamente en un 80 % las fisuras por retracción plástica; así también, se observa que cuantas más fibras polipropileno se usen, más se reducirán las fisuras, con lo que se pueden disminuir las fisuras a un 100 % al añadir fibras de 1500 g/m³ tanto de 19 mm y 50 mm.

Conclusiones

1. La medida en que la retracción plástica del concreto es controlada con la adición de fibras de polipropileno es significativa porque se redujo la exuda-

ción y el espesor, la longitud y el área de fisuras en los paños donde se agregaron fibras de polipropileno de 50 mm (tira larga) y 19 mm (tira corta).

2. Se concluye que los efectos de añadir fibras de polipropileno cortas y largas son similares, pues ambas fibras en las proporciones 0.9kg/m^3 (50 mm), 0.6kg/m^3 (50 mm), 0.9kg/m^3 (19 mm) y 0.6kg/m^3 (19 mm) mostraron resultados en la reducción del área fisuración de 81.97 %, 56.12 %, 35.178 % y 17.58 %, los cuales fueron similares a nivel estadístico.

3. Se concluye que el efecto de las fibras de polipropileno en la resistencia a la compresión del concreto de diseño $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ es positiva porque las proporciones 0.9kg/m^3 (50 mm), 0.6kg/m^3 (50 mm), 0.9kg/m^3 (19 mm) y 0.6kg/m^3 (19 mm), incrementaron la resistencia a la compresión en 6.12 %, 1.22 %, 8,79 % y 1.28 %.

4. Se concluye que la dosificación óptima de fibras de polipropileno que se usan con el fin de reducir la fisuración por retracción plástica es de 0.9kg/m^3 (50 mm) porque presenta una reducción mayor en el área de fisuración con 81.97 %.

5. Se concluye que la reducción de la fisuración por retracción plástica con la adición de fibras de polipropileno es similar al 90 % porque la proporción de 0.9kg/m^3 (50 mm) mostró una reducción mayor en el área de fisuración con 80.76 %.

Recomendaciones

1. Se remienda considerar las características de los materiales empleados antes de iniciar la experimentación para aplicar los datos presentados en el presente estudio.

2. Se recomienda utilizar fibras en una dosificación de 0.9 Kg/m^3 - 50mm porque presentan mejores resultados de asentamiento, exudación, resistencia a la compresión y tiempo de fraguado, además de evitar que se generen fisuras en el pavimento rígido.

3. Se recomienda utilizar aditivos plastificantes para investigaciones futuras es vista que permiten obtener una mejor mezcla.

4. Se recomienda utilizar fibras de polipropileno en superficies expuestas al ambiente para evitar la pérdida de agua y la evaporación en los pavimentos, losas deportivas, losas aligeradas, entre otros.

CAPÍTULO V

FIBRAS DE POLIPROPILENO Y SU RELACIÓN CON LA RETRACCIÓN PLÁSTICA DEL CONCRETO

Uno de los mayores desafíos en el siglo XXI en el área de la construcción es la obtención de materiales eficaces y ligeros, y lograr un concreto durable y resistente. Ante estas necesidades, la industria de la construcción ha elaborado diversos materiales que permitan mejorar las propiedades del concreto para que las obras tengan una mayor resistencia una vez culminadas y cumplan con su propósito inicial. Así también, se han fabricado materiales que permitan reducir las fisuras o agrietamientos que surgen en el concreto fresco o endurecido, y suponen un problema para terminar el proyecto.

Uno de estos materiales es la fibra de polipropileno, la cual se agrega a la mezcla para que actúe como refuerzo secundario del concreto y se evite el agrietamiento tridimensional de la estructura causado por contracción plástica, tanto en estado fresco como en estado endurecido. Otras de las razones por la cual se utiliza se debe a que reduce la segregación, es de fácil aplicación; es resistente e inoxidable a los álcalis; evita el traspaso de la humedad al crear una barrera al vapor de agua; es versátil y compatible con la mayoría de las técnicas que se aplican en la mezcla; no es magnética ni corrosiva, y aporta tenacidad a la estructura y aseguran que la obra sea segura. Debido a sus beneficios es utilizado en diversas estructuras, como las carreteras, los túneles, los edificios, entre otros.

Para garantizar que las fibras de polipropileno brinden los beneficios previamente expuestos, es necesario que su aplicación siga un proceso determi-

nado y se agreguen las cantidades necesarias en la mezcla dependiendo el tipo de obra de se esté realizando. Es así que, gracias a sus beneficios, las fibras de polipropileno son cada vez más utilizadas en las construcciones, pues han demostrado ser un material eficaz que no solo reduce los agrietamientos de la estructura, sino también la refuerza, lo que conlleva a que la edificación sea segura durante la construcción y para aquellas personas que la utilicen en un futuro.

5.1. Efectos de la adición de fibras de polipropileno en las propiedades del concreto

En los últimos años, se ha observado que el sector construcción ha mostrado gran preocupación por crear estructuras más durables, seguras y resistentes, puesto que las obras actuales requieren un gran soporte al ser edificios de gran tamaño por soportar cargas de vehículos pesados y por estar sometidos a la continua humedad. Además, se enfoca en obtener materiales de calidad con el propósito de cumplir con las especificaciones de las normas técnicas de construcción y garantizar que la obra cumpla con su objetivo.

Se sabe que el concreto es uno de los materiales más importante en el mundo de la construcción por su precio, compresión y resistencia. También es cierto que presenta una resistencia muy baja a la tracción, los impactos y los cambios de humedad, lo cual se debe a que durante la fase inicial de endurecimiento se produce una reacción endotérmica como resultado del desprendimiento de ardo, lo que conlleva a la evaporación del agua. Las deficiencias más comunes que se presentan en el concreto son las fisuras y agrietamiento, el fraguado prematuro y la plasticidad. Respecto a las grietas o fisuras se debe destacar que están se generan durante el proceso de contracción hidráulica porque el concreto no es capaz la fuerza de tracción.

Linares Durand *et al.* (2021) indican que se han identificado materiales que evitan la aparición de fisuras y el agrietamiento de las estructuras. El ma-

terial más importante para evitar estos problemas en la construcción es la fibra, que aumenta el rendimiento del concreto. Se divide en dos tipos: macrofibras y microfibras. Las macrofibras han sido diseñadas para evitar el agrietamiento cuando el concreto se encuentra en estado endurecido, reducir el ancho de la grieta y permitir de las estructuras con grietas funcionen de manera adecuada. Para utilizar las macrofibras se debe considerar que la dosis más común varía entre 0.2 % a 0.8 % de acuerdo con el volumen de concreto, y la macrofibras más utilizadas son las fibras metálicas (brinda resistencia y ductilidad) y las sintéticas (disminuye el riesgo de corrosión).

Las microfibras, por su parte, ha sido creadas con la finalidad de evitar el agrietamiento del concreto en estado fresco. Para utilizar las macrofibras se debe considerar que la dosis más común varía entre 0.03 % a 0.15 % de acuerdo con el volumen de concreto y la microfibra más común es la de polipropileno, cuyo peso varía de 0.3 a 1.2 kg. Si bien, la cantidad que se agrega es mínima, pero ha demostrado ser efectiva porque evita las fisuras por contracción plástica.

La fibra de polipropileno es fina y se caracteriza por tener resistencia a los solventes comunes. Se divide en tres tipos: copolímero de alto impacto, homopolímero y copolímero aleatorio, los cuales se modifican y se adaptan dependiendo del tipo de construcción. Desde una perspectiva general, tiene grandes efectos cuando se agrega al concreto, entre los cuales destacan los siguientes (Armas, 2016):

- Posee un buen rango entre el impacto y la rigidez
- Actúa como barrera al vapor de agua
- Evita la humedad
- Mejora la resistencia a la tensión, con lo cual se logra que el concreto posee una excelente durabilidad y maleabilidad.
- No afecta la temperatura del concreto
- Logra inhibir la fisuración hasta un 65 %
- Reduce el contenido de aire y, en consecuencia, la permeabilidad

Para obtener estos beneficios, se debe aplicar una cierta cantidad de fibras de polipropileno. La cantidad más recomendada equivale a 450 g/m^3 porque se ha demostrado que es suficiente para aliviar la rotura plástica. En Latinoamérica la cantidad que suele aplicarse es 600 g/m^3 , ya que se aplica una formula diferente para mejorar las propiedades de concreto (Linares-Durand *et al.*, 2021).

Existen controversias sobre el uso de las fibras de polipropileno como consecuencia de su inadecuado uso, debido a que muchos trabajadores lo utilizan sin considerar sus propiedades o el entorno de la construcción, lo que conlleva a que se genere incertidumbre sobre si emplearlo o no. Ante esta situación es preciso que los encargados de la obra poseen el conocimiento necesario sobre las propiedades de cada material que compone el concreto, con la finalidad de que la fibra mejore las propiedades del hormigón y, por tanto, se obtenga una construcción de buena calidad. En general, las fibras de polipropileno benefician al concreto porque mejora sus propiedades; para esto, es necesario agregar las cantidades adecuadas a fin de que cumpla con su propósito: reducir la cantidad de agrietamiento en la estructura.

5.2. Fisuración del concreto: medidas de prevención y tratamiento

La fisuración de concreto es el mayor problema que se presenta durante el proceso de construcción; por eso es necesario conocer cómo abordarlas. A continuación, se presentan algunas medidas de prevención y tratamiento.

Medidas de prevención

Las medidas para prevenir la fisuración son las siguientes (Euclid Group, s.f.):

- Colocar barreras de sol y viento en condiciones adversas.

- Si el lugar donde se realiza la construcción se caracteriza por sus altas temperaturas, programar el vaciado del concreto en la mañana, al finalizar la tarde o en la noche; es decir, cuando la temperatura sea baja.
- Utilizar retardantes de evaporación de manera continua hasta que se puedan aplicar métodos de curado.
- Humedecer la subbase y los encofrados si se observa la existencia de altas tasas de evaporación.
- Cubrir el concreto con láminas de polietileno o mantas húmedas entre operaciones de acabado.
- Curar correctamente el concreto inmediatamente después de que el acabado haya sido completado.
- Considerar el uso de fibras sintéticas porque reducen el agrietamiento por contracción plástica entre un 80 % a un 90 %.
- Acelerar el fraguado del concreto con el objetivo de evitar grandes diferencias de temperatura entre aire y el concreto.
- Utilizar un concreto más frío cuando la temperatura sea alta y evitar que la temperatura del concreto sea muy alta cuando se encuentre en clima frío.

Antes de iniciar con el tratamiento de las fisuras, se precisa identificar los agrietamientos que se encuentran dentro o fuera del elemento a analizar. Para esto, se aplican diversas técnicas, entre las que destacan las siguientes (Cuadros *et al.*, 2022):

- Inspección visual: es realizada con ayuda de pequeños artefactos para registrar los datos de una manera más precisa. Se basa en la observación, el oído y el tacto, y es uno de los métodos más utilizados porque permite detectar alrededor del 80 % de las fisuras o agrietamientos de la estructura.
- Inspección por medio de ultrasonido: no es una técnica muy utilizada, pero es la más versátil porque permite analizar estructuras de diferentes formas.

Consiste en pasar ondas acústicas en el concreto con las cuales se identifican los desperfectos en el material al producirse discontinuidades en las ondas.

- Inspección por líquidos penetrantes: se usan líquidos de diferente grado de humectación y viscosidad. Consiste en humectar la superficie agrietada y echar los líquidos, los cuales revelan los agrietamientos al cambiar el tono de la zona humectada.

- Inspección por emisiones acústicas: utiliza ondas acústicas, pero es más simple porque no profundiza el patrón de continuidad de las ondas, sino que se utiliza una base de datos para comparar las variaciones de intensidad y el tiempo de propagación de la onda para identificar las imperfecciones.

Tratamiento

Después de identificar las fisuras o el agrietamiento se aplica el tratamiento correspondiente (Euclid Group, s.f.):

- Si la fisura por contracción plástica surge durante el proceso de acabado final, el operario debe cerrarlas y volver a realizar el acabado.

- En caso de que se desee reparar las grietas después de la culminación de fraguado del concreto y la fisura son superficiales, se sugiere emplear sistemas a base de resina que poseen un contenido bajo de sólidos y viscosidad para poder sellar las grietas. Para este tipo de tratamiento se recomienda seguir los siguientes pasos:

- Limpiar la fisura con un compresor o soplador de aire con el propósito de retirar las partículas sueltas, como el polvo. En caso de que se identifiquen residuos de aceites, también deben ser retirados completamente.

- Asegurarse de que las fisuras estén completamente secas antes de usar el sellado para que alcance su máxima penetración.

- Utilizar una jeringa o un aplicador para rellenar la fisura.

- En caso de que se quiera homogenizar el acabado, se puede aplicar resina sobre toda la superficie.

Es importante destacar que en el tratamiento de las fisuras, la calidad del material incide considerablemente, por lo cual se debe utilizar materiales que brinden buenos resultados y evitar que se generen de nuevo fisuras.

5.3. Uso de la fibra de polipropileno para reducir la fisuración por retracción plástica

Las fibras de polipropileno brindan diversos beneficios al concreto, ya que mejoran sus propiedades al mejorar su resistencia, durabilidad y evitar que se alterado por la temperatura. Las macrofibras son fabricadas con el propósito de reducir las fisuras causadas por retracción plástica, principalmente, en soleras y pavimentos; sin embargo, no asumen ninguna función estructural. También se emplean para mejorar el comportamiento del concreto ante el fuego. Las macrofibras colaboran con la estructura, y permiten que se cumplan con los requerimientos de planicidad y horizontalidad.

De acuerdo con estudios como el de Piñarreta (2022), se ha demostrado que el óptimo uso de fibras de polipropileno en calidad de microfibras para el estado fresco y macrofibras para el estado endurecido reducen en longitud y ancho las fisuras, y el índice de grietas. Para esto, se debe considerar que a mayor dosis de fibras habrá una mayor reducción de la formación de agrietamientos, siempre considerando la cantidad de los demás materiales, para que la mezcla cumpla con las normas técnicas.

Así también, en la investigación de Olivera *et al.* (2022) se determinó que las fibras de polipropileno mejoran significativamente la capacidad de flexión de las vigas y la resistencia a la compresión del hormigón a diferencia de las fibras que vidrio que lo hacen en una menor proporción.

En general, las fibras de polipropileno demuestran ser una excelente opción para reducir los agrietamientos que afectan el concreto en estado fresco o endurecido; por ello, debe ser un material que se recomiende para ser utilizado en diversas construcciones. Para que estas fibras tengan un efecto positivo en las propiedades del hormigón, es necesario que las personas a cargo de la obra conozcan las propiedades de cada material que se agregue a la mezcla y posean conocimientos adecuados sobre las normas técnicas de construcción, ya que así se garantiza que los productos cumplan con un desempeño térmico apropiado, se apliquen las medidas de seguridad necesarias durante la construcción y se garantice que la obra cumpla con los estándares de calidad y seguridad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilar, A. & Gonzales, R. (2017). *Análisis y evaluación del comportamiento a la fatiga de un pavimento rígido con fibra plástica de polipropileno en el al-tiplano* [tesis de licenciatura, Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez]. Repositorio Institucional UANCV. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UANT_6b2934425f442c305372c746ce6cd9b4

Almenar, M., Luege, M., & Orlando, A. (2016). Modelo no local de daño para simular el comportamiento del hormigón afectado por reacción álcali sílice. *Mecánica Computacional*, 34(37), 2517-2538. <http://venus.santafe-conicet.gov.ar/ojs/index.php/mc/article/view/5092/5025>

American Concrete Institute. (2002). *State of the Art Report on Fiber Reinforced Concrete Reported (ACI 544.1 R-96 Reapproved 2002)*. American Concrete Institute. <http://indiafiber.com/Files/ACI%20report.pdf>

American Concrete Institute. (2007). *Specification for Hot Weather Concreting*. American Concrete Institute. http://dl.mycivil.ir/dozanani/ACI/ACI%20305.1-06%20Specification%20for%20Hot%20Weather%20Concreting_My-Civil.ir.pdf

American Concrete Institute. (2013). *ACI concrete terminology*. Farmington Hills.

Armas, C. (2016). *Efectos de la adición de fibra de polipropileno en las propiedades plásticas y mecánicas del concreto hidráulico* [tesis de licenciatura, Universidad Señor de Sipán]. Repositorio Institucional USS. <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/2712>

Balan-Ortiz, C., Luna, M., Pérez, T., & Camacho-Chab, R. (2017). Análisis estadístico de los registros de ruido electroquímico obtenidos del proceso de corrosión del acero de refuerzo embebido en concreto. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 16(1), 293-305. <https://www.redalyc.org/pdf/620/62049878028.pdf>

Barlow, P., Darwin, D., Liu, T., & Scanlon, A. (1993). *Causas, Evaluación y Reparación de Fisuras en Estructuras de Hormigón. Informado por el Comité ACI 224*.

- Barros, L. (2014). *Fibras industriales usados en concretos*. Universidad Politécnica de Cataluña.
- Becerra, O., Meza, A., & Salinas, R. (2023). Influencia de variables experimentales en las propiedades mecánicas de los concretos reforzados con fibras de acero (SFRC) en experimentos de degradación por cloruros: revisión bibliográfica y análisis estadístico. *Revista ALCONPAT*, 13(2), 143-157. <https://doi.org/10.21041/ra.v13i2.641>
- Cedeño-Cedeño, H., Chávez-Chon Long, J., Macías-Sánchez, L., & Ortiz-Hernández, E. (2022). Combinación de mezclas de agregados gruesos y finos pertenecientes a la Cantera Uruzca para diferentes resistencias de hormigón. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*, 5(9 Edición especial febrero), 23-38. <https://doi.org/10.46296/ig.v5i9edespfeb.0055>
- Concrelab. (2023, 16 de abril). *Los diferentes tipos de concreto y sus usos*. <https://www.concrelab.com/los-diferentes-tipos-de-concreto-y-sus-usos/>
- Consejo de Integrador de la Construcción, I. y el D. (2020, 20 de octubre). *Fundamentos del ACI 305 para el concreto en clima cálido*. <http://consejoincide.com/2020/10/20/en-concreto-04/>
- Córdova, I. (2018). *Instrumentos de investigación*. San Marcos de Aníbal Jesús Paredes Galván.
- Cuadros, J., Sosa, G., Gallardo, M., & Muzquiz, E. (2022). Identificación de grietas en concreto, causas, prevención y soluciones: una revisión. *CienciaCierta*, 72, 29-60. <http://www.cienciacierta.uadec.mx/articulos/cc72/Completo%20No.%2072.pdf#page=29>
- Cuyán, A., Mio, J., & Muñoz, S. (2021). Comportamiento Térmico y Estructural del Concreto Expuesto a Altas Temperaturas: Una Revisión de la Literatura. *Investigatio*, 16, 78-93. <https://doi.org/10.31095/investigatio.2021.16.7>
- Dias, D., Calmon, J., & Vieira, G. (2019). Polymeric fiber reinforced concrete exposed to fire. *Revista Alconpat*, 10(1), 36-52. <https://doi.org/10.21041/ra.v10i1.426>

Díaz, C., Cornadó, C., & Arribas, J. (2021). Estructura: de hormigón armado, metálica o de madera. En C. Díaz, C. Cornadó, J. Arribas, R. Gumá, E. Martín, P. Santamaria, M. Seguí, & S. Vima (Eds.), *Anomalías constructivas en la edificación residencial*. Universitat Politècnica de Catalunya. Iniciativa Digital Politècnica. <https://acortar.link/Mdoi7N>

Espinal, J., & Rimachi, G. (2020). *Influencia de la adición de nanosílice (SiO₂) y dióxido de titanio (TiO₂) en las propiedades del concreto modificado con baja dosificación de nanopartículas* [tesis de licenciatura, Universidad Peruana Unión]. Repositorio Institucional UPEU. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/3423>

Euclid Group. (s.f.). *Fisuras por retracción plástica*. https://www.toxement.com.co/media/3443/retraccio-n_pla-stica.pdf

Godoy, M., & Gándara, C. (2016). El uso de ceniza volante y aditivos en la elaboración del concreto como solución ecológica. *Revista DELOS. Desarrollo Local Sostenible*, 31. <https://www.eumed.net/rev/delos/31/maria-godoy2.html>

Götte, A., Alarcón, R., Beltrame, C., Romero, G., Vincitorio, F., Ramil, A., & López, A. (2023). Visualización de procesos de microdilatación inducidos por láser mediante el uso de interferometría holográfica digital. *Anales AFA*, 34(1), 1-7. <https://doi.org/10.31527/analesafa.2023.34.1.1>

Guerrero, J., & Montoya, H. (2016). Identificación y evaluación del riesgo de la corrosión en estructuras de concreto armado en plantas industriales sometidas a un ambiente ácido. *CienciAcierta*, 46. <https://acortar.link/QLLK19>

Hernández, L., Montealegre, C., Carvajal, E., & Serna, L. (2018). Unidades de mampostería empleando fibras microsintéticas y macrosintéticas, y su variación de la resistencia a compresión (F'M). *EIEI ACOFI*, 1-8. <https://acofipapers.org/index.php/eiei/article/view/432>

Hernández, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas: cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw Hill. <http://repositorio.uasb.edu.bo:8080/handle/54000/1292>

Huertas, L. (2019). *Evaluación de las rocas dunitas como agregado en el concreto e identificación del mecanismo del proceso de carbonatación natural* [trabajo de grado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional USTA. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/18190>

Instituto Nacional de Calidad. (2020). *Norma Técnica Peruana 334.009*. Instituto Nacional de Calidad. <https://pdfcoffee.com/ntp-334009-3-pdf-free.html>

Johnston, K. (2011). La influencia de fibras sintéticas en las propiedades de hormigones frescos. *Revista Ingeniería de Construcción*, 20, 15-24.

Linares Durand, J., Linares Fonseca, D., Melgarejo Madueño, L., Campos Vasquez, N., & Manturano Chipana, R. (2021, 21 de julio). *Influencia de Adición de Fibras de Polipropileno al Concreto*. <https://doi.org/10.18687/LAC-CEI2021.1.1.211>

Llanos, J., & Mellado, M. (2020). *Control de la retracción plástica mediante el uso de dosificaciones de microfibras sintéticas DRYMIX y Fibra Ultrafina utilizando paneles normados* [tesis de licenciatura, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Institucional UPC. <http://hdl.handle.net/10757/652417>

López, I., & Lozano, Y. (2022). *Análisis comparativo del uso de moldes de plástico sellados y moldes de acero sin sellar en concreto cemento-arena, Iquitos 2021* [tesis de licenciatura, Universidad Científica del Perú]. Repositorio Institucional UCP. <http://repositorio.ucp.edu.pe/handle/UCP/1699>

Luna, P., & Lizarazo, J. (2022). Fibras naturales como refuerzo en materiales compuestos de matriz polimérica. *Momento*, 65, 65-79. <https://doi.org/10.15446/mo.n65.103151>

Martínez, C., Díaz, J., & Duque, R. (2019). Diseño del encofrado para muros usando encofrados modulares. *TecnoLógicas*, 22(Especial), 3-20.

Matos, A., & Rodríguez, S. (2018). *Elaboración de un proyecto de reforestación con café para la Empresa Cafeteros Unidos SRL (Café Ideal) en beneficio de los productores de café del río Jura y zonas aledañas en el Municipio Peralta, Provincia Azuá* [tesis de maestría, Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña]. Repositorio Institucional UNPHU. <https://repositorio.unphu.edu.do/handle/123456789/615>

Mestanza, J. (2016). *Análisis comparativo de la resistencia a compresión del concreto con adición de fibras de polipropileno sometido a ambientes severos: altas, bajas temperaturas y ambientes salinos. Abanto-Ecuador* [tesis de licenciatura, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio Institucional UTA. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/24053>

- Montero, M., Lugo, R., Quiñones, E., & Eljaiek, M. (2023). Aprovechamiento de residuos politeraftalato etileno (PET) como material incorporado en el concreto. In M. Bovea, M. Braulio, M. Carlos, F. Colomer, A. Gallardo, V. Ibáñez, & G. Monrós (Eds.), *Actas del X Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos*. Universitat Jaume I. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9094792>
- Muñoz-Pérez, S., Mimbela-Orderique, F., & Rodriguez-Lafitte, E. (2021). Uso de ladrillos triturados en concreto: una revisión literaria. *Revista Politécnica*, 17(34), 82-100. <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v17n34a6>
- Olivera, Y., Guevara, S., & Muñoz, S. (2022). Revisión sistemática de la literatura sobre mejoramiento de las propiedades mecánicas del concreto adicionando fibras artificiales y naturales. *Ingeniería*, 27(2), e18207. <https://doi.org/10.14483/23448393.18207>
- Piñarreta, I. (2022). *Fibra de polipropileno para reducir el agrietamiento por contracción plástica del hormigón* [tesis de licenciatura, Universidad Ricardo Palma]. Repositorio Institucional URP. <https://hdl.handle.net/20.500.14138/5794>
- Pino, R. (2018). *Metodología de la investigación*. Editorial San Marcos.
- Pombo, R., & Zerbino, R. (2021). Sobre la expectativa de fisuras en un piso industrial de hormigón. *Revista Hormigón*, 60, 4-15. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/165258>
- Procomo. (2023, 22 de marzo). *Fraguado*. <https://procomo.es/es/blog/fraguado-hormigon-cuanto-tiempo-tarda/>
- Ramírez, J., & Tapia, C. (2021). Aditivos especiales para concreto reforzado. Mejoramiento de las propiedades físicas del concreto por medio de aditivos especializados. *Jóvenes en la Ciencia*, 12, 1-12. <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/3265>
- Ramos-Galarza, C. (2020). Los alcances de una investigación. *CienciAmérica: Revista de Divulgación Científica de la Universidad Tecnológica Indoamérica*, 9(3), 1-6. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7746475>

Rojales, A., Gómez, L., Farroñan, M., Chuzón, N., & Muñoz, S. (2021). Adiciones de fibras de acero para mejorar las propiedades mecánicas del concreto: una revisión literaria. *Revista Científica Pistemia*, 5(1), 1-12. <https://doi.org/10.26495/re.v5i1.1838>

Saavedra, C., & Ramírez, D. (2017). *Influencia del módulo de elasticidad en el análisis de la deriva de edificios de concreto en el Perú, 2017* [tesis de licenciatura, Universidad Científica del Perú]. Repositorio Institucional UCP. <http://repositorio.ucp.edu.pe/handle/UCP/212>

Salinas, E., Vélez, A., Espín, S., & Freire, D. (2023). Incidencia del tipo de agua y curado en las propiedades del hormigón. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 4(2). <https://doi.org/10.56712/latam.v4i2.1028>

Sánchez, L., & Bairán, J. (2017). *Detección y medición de fisuras en elementos de hormigón en fotos RGB usando procesamiento de imágenes*. VII Congreso de ACHE.

Sánchez, M. (2018). *Estudio patológico del edificio de la Universidad Nacional de Cajamarca - Sede Jaén - local central* [tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional UNC. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/1990>

Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción. (2020). *Norma E.020 Cargas*. Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción. <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-nacional-de-barranca/concreto-i/norma-e020-cargas-rne/17645736>

Sika. (2011). *Concreto reforzado con fibras*. Sika. https://per.sika.com/dms/getdocument.get/743731e6-f615-3cf1-96f6-f2ebfac98803/Concreto%20Reforzado%20con%20Fibras_Brochure.pdf

Structuralia. (2022, 30 de mayo). *Hormigón con fibra: sus tipos, características y aplicaciones clave*. <https://blog.structuralia.com/hormigon-con-fibra-caracteristicas-tipos-y-aplicaciones>

Toro, J. (2017). *Influencia de la fibra de polipropileno con 5%, 10% y 15% del volumen del cemento en la resistencia a la compresión y tracción del concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$* [tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCVV_d477347ebd0acb655bf076b8c9881be7

Uribe, J. (2020). *Aplicación de capas de concreto Whitetopping para mejorar la durabilidad del pavimento flexible de la Av. Alameda, Callao-2020* [tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/65519>

Valero, J. (2015). *Influencia de las fibras de polipropileno en la figuración asociadas a la retracción plástica en pavimentos de concreto, Huancayo 2014* [tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional UNCP. <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/399>

Vargas, C. (2021). *Estudio comparativo de la resistencia a la compresión a tempranas edades de un concreto $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$, modificado con aditivo Sika Cem acelerante Pe - Cajamarca 2018* [tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional UNC. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/4131>

Vásquez-Villegas, J., Vélez-Rezabala, A., & Ruiz-Párraga, W. (2022). Elaboración de hormigón de resistencia de 21 MPa empleando agregado grueso reciclado. *Revista Científico-Académica Multidisciplinaria*, 7(12), 528-540.

Villao-Vera, R., Barba-López, R., & Mármol-Acosta, X. (2023). Influencia del vidrio templado en las mezclas de concreto con cemento Portland. *Revista Científica Ingeniar: Ingeniería, Tecnología e Investigación*, 6(11), 30-43.

Yanqui, J. (2023). *Evaluación de la retracción plástica del concreto con la adición de fibras de polipropileno en pavimentos rígidos de la ciudad de Juliaca* [tesis de licenciatura, Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez].

Yepes, V. (2023, 2 de enero). *Agrietamiento plástico durante el fraguado del hormigón: Nomograma de Menzel*. Universitat Politècnica de Valencia. <https://victoryepes.blogs.upv.es/2023/01/02/agrietamiento-plastico-durante-el-fraguado-del-hormigon-nomograma-de-menzel/>

Zambrano, L., Alava, R., Ruíz, W., & Menéndez, E. (2022). Aplicación de métodos de curado y su influencia en la resistencia a la compresión del hormigón. *Gaceta Técnica*, 23(1), 35-47. <https://doi.org/10.51372/gacetatecnica231.4>

SOBRES LOS AUTORES

Efrain Parillo Sosa

Afiliación institucional: Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez - Juliaca

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7567-039X>

Correo institucional: d02416058@uancv.edu.pe

Leonel Suasaca Pelinco

Afiliación institucional: Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez - Juliaca

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6657-665X>

Correo institucional: leonelsp@uancv.edu.pe

Franz Joseph Barahona Perales

Afiliación institucional: Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez - Juliaca

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8509-7224>

Correo institucional: d02442876@uancv.edu.pe

Arnaldo Yana Torres

Afiliación institucional: Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez - Juliaca

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6740-5024>

Correo institucional: d41414676@uancv.edu.pe

Jean Brandom Yanqui Ballena

Afiliación institucional: Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez - Juliaca

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-2557-7740>

Correo institucional: jean.brandom31@gmail.com

INCIDENCIA DE LAS FIBRAS DE **POLIPROPILENO**

EN LA RETRACCIÓN PLÁSTICA DEL CONCRETO



www.arcoeditores.com
contato@arcoeditores.com
(55)99723-4952

ARCO
EDITORES ● ● ●