



UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Hormigón de ultra alta resistencia reforzado con fibras de acero para
evitar el agrietamiento plástico

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniera Civil

AUTORAS

Oregon Palomino, Almendra Ofelia
ORCID: 0000-0002-1699-6004

Vegas Guardian, Alessandra Ivone
ORCID: 0000-0002-9671-6024

ASESORA

Chavarría Reyes, Liliana Janet
ORCID: 0000-0002-1759-2132

Lima, Perú

2022

Metadatos Complementarios

Datos de autoras

Oregon Palomino, Almendra Ofelia

DNI: 48240378

Vegas Guardian, Alessandra Ivone

DNI: 72744482

Datos de asesora

Chavarría Reyes, Liliana Janet

DNI: 25481792

Datos del jurado

JURADO 1

Donayre Córdova, Oscar

DNI: 06162939

ORCID: 0000-0002-5142-3789

JURADO 2

Chavarry Vallejos, Carlos Magno

DNI: 07410234

ORCID: 0000-0003-0512-8954

JURADO 3

Torres Chung, César Roberto

DNI: 41182279

ORCID: 0000-0002-3212-2817

Datos de la investigación

Campo del conocimiento OCDE: 02.01.01

Código del Programa: 732016

DEDICATORIA

Dedico la presente tesis a mi madre Ofelia Palomino por su amor incondicional y enseñarme lo que es la verdadera fortaleza personal; a mi padre Raul Oregon por ser parte del inicio de este camino en mi alma mater; y a mi gran compañero de vida Jeyson Wong por ser mi sostén en los mejores y más severos momentos desde la adolescencia.

Oregon Palomino, Almendra Ofelia

Dedico la presente tesis a mis padres Felix y Janet, por su apoyo absoluto; a mis abuelos Juan Felix y Pachito por sus sabios consejos, a mis abuelas Mirella y Blanquita por su cariño incondicional, y a toda mi familia y amigos por ser parte de este importante logro en mi vida y profesión.

Vegas Guardian, Alessandra Ivone

AGRADECIMIENTO

Expresamos especial agradecimiento a nuestra alma mater, por todos los años de acogida en sus aulas y todas las enseñanzas dadas, a la Dra. Ing. Liliana Chavarría R. y al Dr. Ing. Carlos Chavarry V., por sus constantes asesorías, apoyo y sugerencias, haciendo posible la elaboración del presente proyecto de tesis.

Almendra Oregon y Alessandra Vegas.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	i
ABSTRACT.....	ii
INTRODUCCIÓN	iii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	1
1.2. Formulación del problema.....	3
1.2.1. Problema general.....	3
1.2.2. Problemas específicos	3
1.3. Objetivos de la investigación.....	3
1.3.1. Objetivo general.....	3
1.3.2. Objetivos específicos	3
1.4. Delimitación de la investigación.....	4
1.4.1. Geográfica.....	4
1.4.2. Temporal.....	4
1.4.3 Temática.....	4
1.4.4. Muestral	4
1.5. Justificación del estudio.....	4
1.5.1. Conveniencia	4
1.5.2. Relevancia social	4
1.5.3 Aplicaciones prácticas	4
1.5.4. Utilidad metodológica.....	5
1.5.5 Valor teórico	5
1.6. Importancia del estudio.....	5
1.6.1. Nuevos conocimientos	5
1.6.2. Aporte	5
1.7. Limitaciones del estudio	5
1.7.1. Falta de estudios previos de investigación.....	5
1.7.2. Metodológicos o prácticos	6
1.7.3. Medidas para la recolección de los datos.....	6
1.7.4. Obstáculos en la investigación.....	6
1.9. Alcance	6
1.10. Viabilidad del estudio	6

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	7
2.1. Marco histórico	7
2.2. Investigaciones relacionadas con el tema	8
2.2.1. Investigaciones internacionales	8
2.2.2. Investigaciones nacionales.....	11
2.2.3. Artículo relacionado con el tema.....	13
2.3. Estructura teórica y científica que sustenta el estudio	13
2.4. Definición de términos básicos.....	24
2.5. Fundamentos teóricos que sustentan a la hipótesis.....	25
CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS	27
3.1. Hipótesis	27
3.1.1. Hipótesis principal	27
3.1.2. Hipótesis secundarias.....	27
3.2. Sistema de variables.....	27
3.2.1. Definición conceptual.....	27
3.2.2. Definición operacional.....	28
3.2.3. Operacionalización de las variables.....	29
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA	30
4.1 Método de la investigación	31
4.2. Tipo de la Investigación.....	31
4.3. Nivel de Investigación	31
4.4. Diseño de la investigación	31
4.5. Población y Muestra	32
4.5.1. Población	32
4.5.2. Muestra	32
4.6. Técnicas e Instrumentación de Recolección de Datos.....	32
4.6.1. Instrumento de Recolección de Datos	32
4.6.2. Métodos y Técnicas	32
4.7. Descripción de Procesamientos de Análisis	33

CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	34
5.1. Resultados de la investigación	34
5.2. Análisis e interpretación de los resultados.....	67
5.3. Contrastación de hipótesis	77
DISCUSIÓN	86
CONCLUSIONES	88
RECOMENDACIONES	90
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	92
ANEXOS.....	100

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Estructuras construidas con UHPC en el mundo	21
Tabla N° 2: Operacionalización de variables	29
Tabla N° 3: Características de fibras DRAMIX.	34
Tabla N° 4: Valores de Resistencia a la compresión (MPa) de 9 muestras.....	35
Tabla N° 5: Valores de Resistencia a la compresión de 6 muestras.	37
Tabla N° 6: Valores de Resistencia a la compresión de 4 muestras	38
Tabla N° 7: Valores de Resistencia a la compresión de 3 muestras	40
Tabla N° 8: Valores de Resistencia a la compresión (MPa) de 3 muestras.....	42
Tabla N° 9: Valor de Resistencia a la tracción (MPa) en 2 muestras	42
Tabla N° 10: Valor de Resistencia a la tracción (MPa) en caso 1	43
Tabla N° 11: Valores de Resistencia a la tracción (MPa) con 2% de fibra.	44
Tabla N° 12: Valores de Resistencia a la tracción (MPa) de 46 muestras.....	44
Tabla N° 13: Valores de Resistencia a la flexión (MPa) de 4 muestras	48
Tabla N° 14: Valor de Resistencia a la flexión (MPa) de 1 caso.....	49
Tabla N° 15: Valor de Resistencia a la flexión (MPa) de muestra 1	50
Tabla N° 16: Valor de Resistencia a la flexión (MPa) de muestra 6	50
Tabla N° 17: Características de fibras metálicas utilizadas.	51
Tabla N° 18: Valores de Resistencia a la flexión (MPa) de 7 muestras	52
Tabla N° 19: Valores de asentamiento de 6 muestras.	54
Tabla N° 20: Valores de asentamiento de 4 muestras	55
Tabla N° 21: Valor de asentamiento de 1 muestra	56
Tabla N° 22: Valores de asentamiento de 18 muestras	57
Tabla N° 23: Valores de asentamiento de 8 muestras.	59
Tabla N° 24: Valores de asentamiento de 12 muestras	60
Tabla N° 25: Valores de asentamiento de 3 muestras	61
Tabla N° 26: Valores de contracción por secado unitario a los 5, 15 y 20 días.	63
Tabla N° 27: Valores de contracción por secado unitario (mm/mm) en muestra a los 7, 14 y 28 días.....	64
Tabla N° 28: Valores de contracción por secado unitario (mm/mm) en 3 muestras a 3, 7, 28 y 56 días.....	65
Tabla N° 29: Valores de contracción por secado unitario a los 7, 14 y 28 días	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Árbol de problemas (Causas-consecuencias)	2
Figura N° 2: Hormigón con adición de fibras.....	14
Figura N° 3: Granulometría del agregado fino	14
Figura N° 4: Granulometría de agregados	15
Figura N° 5: Fibras de acero en el hormigón.....	16
Figura N° 6: Efecto de las fibras en las fisuras.....	17
Figura N° 7: Humo de sílice	17
Figura N° 8: Polvo de cuarzo.....	18
Figura N° 9: Fisuras por contracción plástica en losa.	19
Figura N° 10: Fisuras por contracción plástica en vereda.	19
Figura N° 11: Sherbrooke footbridge, Canadá (1997).....	21
Figura N° 12: Millau Viaduct toll gate, Paris (2004).	22
Figura N° 13: Estadio Jean Bouin, Paris (2013).....	22
Figura N° 14: Figura N° 14. MUCEM, Francia (2013).....	23
Figura N° 15: Fundación Louis Vuitton, Francia.	23
Figura N° 16: Detalle metodológico.....	30
Figura N° 17: Resistencia a la compresión (MPa) vs Dosificación de fibra de 98 kg/m ³ de 2 muestras.	36
Figura N° 18: Variación de la Resistencia a la compresión (MPa) vs Dosificación de fibras (kg/m ³) en las 3 muestras.	37
Figura N° 19: Resistencia a la compresión (MPa) vs Dosificación de fibra de 150 kg/m ³ de 4 muestras	39
Figura N° 20: Variación de la Resistencia a la compresión (MPa) con dosificación de fibra de 150 kg/m ³ en las 4 muestras.....	39
Figura N° 21: Variación de la Resistencia a la compresión (MPa) vs Dosificación de fibras (kg/m ³) en las 3 muestras.	41
Figura N° 22: Resistencia a la tracción (MPa) vs Dosificación de fibra de 150 kg/m ³ de 2 muestras.	43
Figura N° 23: Resultados de resistencia a la tracción (MPa) para probetas DT.....	46
Figura N° 24: Resultados de resistencia a la tracción (MPa) para probetas DEWS.....	47
Figura N° 25: Resultados de resistencia a la tracción (MPa) para probetas 4PB.	47
Figura N° 26: Variación de la Resistencia a la flexión (MPa) con dosificación de fibra de 150 kg/m ³ en las 4 muestras.	49

Figura N° 27: Resistencia a la flexión (MPa) vs Dosificación de fibra en porcentaje de 7 muestras.....	52
Figura N° 28: Variación de la Resistencia a la flexión (MPa) con dosificación de fibra en las 7 muestras.....	53
Figura N° 29: Variación del asentamiento (mm) con dosificación de aditivo del 3% en 6 muestras.	54
Figura N° 30: Variación del asentamiento (mm) con dosificación de aditivo de 62 y 74 kg/m ³ en 4 muestras.	55
Figura N° 31: Variación del asentamiento (mm) vs. Dosificación de aditivo (%) de 18 muestras.....	58
Figura N° 32: Variación del asentamiento (mm) vs. Dosificación de aditivo (%) de 8 muestras.....	59
Figura N° 33: Variación del asentamiento (mm) vs. Dosificación de aditivo (%) de 12 muestras.....	61
Figura N° 34: Variación del asentamiento (mm) vs. Dosificación de aditivo (kg/m ³) de 3 muestras.....	62
Figura N° 35: Variación de contracción por secado unitario (mm/mm) vs. Tiempo (días) con dosificación de fibra de acero de 180 kg/m ³	64
Figura N° 36: Contracción por secado unitario (mm/mm) vs. Dosificación de fibra de acero (%) para 3 muestras a 3, 7, 28 y 56 días.	66
Figura N° 37: Variación de contracción por secado unitario (mm/mm) vs. Tiempo (días) para 3 muestras.....	66
Figura N° 38: Valores de dosificación de fibras de acero en kg/m ³ y % empleados para ensayos de resistencia a la compresión	67
Figura N° 39: Valores de la resistencia a la compresión (MPa), según el porcentaje de fibra de cada autor.	68
Figura N° 40: Valores de dosificación de fibras de acero en kg/m ³ y % empleados para ensayos de resistencia a la tracción.	69
Figura N° 41: Valores de la resistencia a la tracción (MPa), según el porcentaje de fibra de cada autor.	70
Figura N° 42: Resultados obtenidos de resistencia a la flexión (MPa) de 5 autores	71
Figura N° 43: Resultados obtenidos de asentamiento (mm) de 3 autores con dosificación de aditivo expresado en porcentaje (%).....	72

Figura N° 44: Resultados obtenidos de asentamiento (mm) de 3 autores con dosificación de aditivo expresado en kg/m^3	73
Figura N° 45: Valores de dosificación de fibras de acero (%) empleados para ensayos de resistencia a la flexión	74
Figura N° 46: Valores de dosificación de fibras de acero (kg/m^3) empleados para ensayos de resistencia a la flexión	75
Figura N° 47: Resistencia a la compresión (MPa) vs Dosificación de fibra (kg/m^3) de 3 muestras	77
Figura N° 48: Resistencia a la compresión (MPa) vs Dosificación de fibra (kg/m^3) de 3 muestras	78
Figura N° 49: Resistencia a la tracción (MPa) vs Dosificación de fibra de 150 kg/m^3 de 2 muestras	79
Figura N° 50: Resultados de resistencia a la tracción (MPa) para probetas DEWS.....	80
Figura N° 51: Resultados de resistencia a la tracción (MPa) para probetas 4PB.	80
Figura N° 52: Resistencia a la flexión (MPa) vs Dosificación de fibra de 150 kg/m^3 de 4 muestras	81
Figura N° 53: Asentamiento (mm) y Dosificación de fibra (kg/m^3) de 6 muestras.	83
Figura N° 54: Asentamiento (mm) y Dosificación de fibra (kg/m^3) de 4 muestras	83
Figura N° 55: Contracción por secado unitario (mm/mm) y Tiempo (días) de 3 muestras.....	85

RESUMEN

La presente tesis lleva como título “Hormigón de ultra alta resistencia reforzada con fibras de acero para evitar el agrietamiento plástico”, tuvo como objetivo principal determinar el diseño de mezcla; como objetivos específicos, analizar el porcentaje de fibras de acero y su influencia con respecto a la resistencia a la compresión, tracción, flexión, contracción y estudiar la influencia del porcentaje de aditivos a base de policarboxilato en la trabajabilidad. La presente investigación fue documental/bibliográfico, de método deductivo, orientación aplicada, enfoque mixto, tipo explicativa y descriptiva, nivel descriptivo, diseño observacional, transversal y retrospectivo.

Se obtuvieron como resultados valores de resistencia a la compresión entre 150 MPa y 230 MPa, para resistencia a la tracción de 8 MPa hasta 36 MPa, resistencia a la flexión de 34 MPa hasta 48 MPa, desde 146 mm hasta los 242 mm de asentamiento para mejorar la trabajabilidad y 78×10^{-6} hasta 555×10^{-6} mm/mm en valores de contracción por secado unitario. Así mismo, se trabajó con una dosificación de fibra desde los 120 kg/m³ hasta 235.5 kg/m³, dichos resultados nos brindan la base ideal para el diseño de un hormigón ultra alta resistencia reforzado con fibras de acero, ya que la resistencia de este hormigón es muy superior a un hormigón convencional o a uno de alta resistencia reforzado con fibras.

De esta manera, se concluye que cualquier posible esfuerzo que pueda generarse debido a variables externas como el propio terreno natural o elementos empotrados sobre el elemento realizado, va a quedar neutralizado por la gran resistencia que posee y se evitó el agrietamiento plástico.

Palabras clave: Hormigón de ultra alta resistencia, fibras de acero, aditivo superplastificante, propiedades mecánicas, agrietamiento plástico, trabajabilidad.

ABSTRACT

This thesis is entitled "Ultra-high strength concrete reinforced with steel fibers to prevent plastic cracking", its main objective was to determine the mix design; As specific objectives, analyze the percentage of steel fibers and their influence with respect to resistance to compression, traction, bending, contraction and study the influence of the percentage of polycarboxylate-based additives on workability. The present investigation was documentary/bibliographic, with a deductive method, applied orientation, mixed approach, explanatory and descriptive type, descriptive level, observational, transversal and retrospective design.

The results obtained were compressive strength values between 150 MPa and 230 MPa, for tensile strength from 8 MPa to 36 MPa, flexural strength from 34 MPa to 48 MPa, from 146 mm to 242 mm settlement for improve workability and 78×10^{-6} to 555×10^{-6} mm/mm in unit drying shrinkage values. Likewise, we worked with a fiber dosage from 120 kg/m³ to 235.5 kg/m³, these results provide us with the ideal basis for the design of an ultra-high resistance concrete reinforced with steel fibers, since the resistance of this concrete is far superior to conventional or high-strength fiber-reinforced concrete.

In this way, it is concluded that any possible stress that may be generated due to external variables such as the natural terrain itself or elements embedded on the element will be neutralized by the great resistance it possesses and plastic cracking was avoided.

Keywords: Ultra high strength concrete, steel fibers, superplasticizer additive, mechanical properties, plastic cracking, workability.

INTRODUCCIÓN

Actualmente conocemos al hormigón como pieza fundamental de las construcciones de todo tipo ejecutadas en el Perú, desde los más sencillos hasta los más complejos en cuanto a forma, diseño o envergadura. Sin embargo, su evolución va avanzando a pesar de que en el país se suele aplicar de manera típica solo una mezcla patrón, con alguna adición de un componente como las fibras o aditivos de acuerdo con las condiciones en las que se prepara la mezcla y se realiza el proceso de curado.

La presente tesis permite estudiar otros tipos de diseño de mezcla de hormigón, de los cuales resaltamos al hormigón de ultra alta resistencia reforzada con fibras de acero para evitar el agrietamiento plástico. Este cuenta con adiciones y va más allá de lo típicamente conocido, el hormigón de *Ultra-High performance Concrete* (UHPC), llega a tal punto que internacionalmente se le reconoce como *Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete* (UHPFRC). Cada vez se va adquiriendo más información sobre este hormigón, cuya característica principal es la resistencia a la compresión, el cual supera los 150 MPa pudiendo alcanzar valores hasta de 230 MPa.

Se analizan las propiedades físico-mecánicas del hormigón de ultra alta resistencia. Por un lado, las propiedades mecánicas con la adición de fibras de acero, tales como resistencia a la compresión, resistencia a la tracción y resistencia a la flexión, las propiedades físicas con la adición de aditivo a base de policarboxilato tales como la trabajabilidad, y la contracción por secado con la incorporación de fibras de acero.

Esta investigación está compuesta por cinco capítulos. El primero está conformado por la descripción de la realidad problemática, la formulación de problemas y objetivos, la delimitación, justificación, importancia, limitaciones, alcance y viabilidad del estudio; el segundo, contiene el marco histórico, investigaciones nacionales e internacionales relacionadas al tema, la estructura teórica y científica, definición de términos básicos y fundamentos teóricos que sustentan el estudio; el tercero, expone las hipótesis y sistema de variables; la cuarta, detalla la metodología de la investigación, su método, tipo, nivel, diseño, población, muestra y técnicas e instrumentos empleados para la recolección de datos; la quinta, contiene la presentación, análisis e interpretación de resultados y contrastación de hipótesis. Como parte final se presenta la discusión de resultados, conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

Actualmente en el sector de construcción el hormigón es uno de los materiales más antiguos y a su vez más empleados. Orozco, Ávila, Restrepo y Parody (2018) afirman que “el desarrollo del hormigón prácticamente se ha duplicado desde la década de 1990, ya que de lo que eran 170 millones de m³/año en 2004 llegaron a más de 330 millones de m³” (p. 161).

Este material está compuesto principalmente de cemento, agua, agregado fino y agregado grueso. En ocasiones especiales, cuando el proyecto lo demanda, también se emplean aditivos químicos y/o adiciones para lograr conseguir ciertas propiedades deseadas.

El hormigón es uno de los elementos más empleados en diversos tipos de construcciones y es usado en todo el país. Sin embargo, cada departamento del Perú presenta diversos climas, prácticas de construcción, distintas posibilidades de obtener materiales, entre otros. Es por ello que es posible que dichas construcciones puedan presentar distintos tipos de fallas.

Una de las fallas más concurrentes es el agrietamiento plástico del hormigón. Surgen luego de estar colocado el hormigón y son generadas a partir de una evaporación al instante del agua en la parte superficial del hormigón. Son formadas en los lugares de temperatura elevada y donde la humedad disminuye relativamente, además de haber un curado inadecuado (Benstley De Van Holden Loor, 2021, p.28).

La presencia de fibras de acero de adecuada resistencia y distribuida de manera pareja dentro de un hormigón, constituye una micro armadura la cual por un lado se muestra eficaz para contrastar el muy conocido fenómeno de la fisuración por contracción y, por otro lado, confiere al hormigón una ductilidad que puede llegar a ser considerable en la medida en que la proporción y/o calidad de fibras sea la mejor (Guevara, 2008, p. 50).

Ahora, para evitar las fallas que se presentan en un hormigón se viene realizando investigaciones, donde se propone agregar diversos materiales entre orgánicos, químicos, metales, entre otros. Tal es el caso de las fibras de acero mencionadas en el anterior párrafo, que, al incorporarlas en la mezcla de hormigón, permite evitar el agrietamiento por contracción plástica. Así mismo, la adición de otros componentes que vuelven al hormigón convencional a uno ultrarresistente viene siendo estudiado en la presente investigación. A continuación, en la Figura N°1, se presenta el árbol de problemas “Causas- consecuencias” sobre el agrietamiento plástico de un hormigón

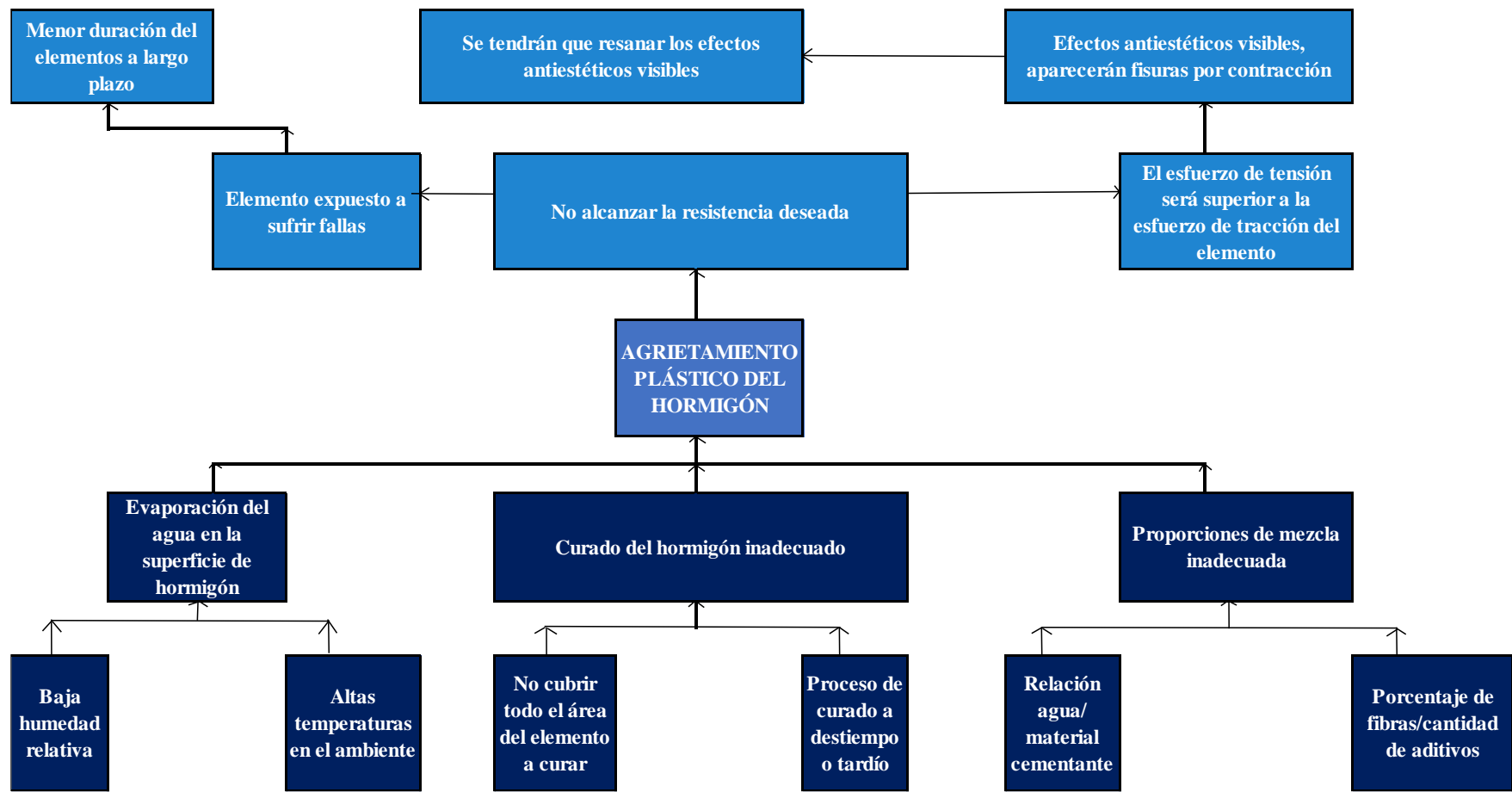


Figura N° 1: Árbol de problemas (Causas-consecuencias)
 Fuente: Elaboración propia.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿De qué manera el diseño de un hormigón de ultra alta resistencia reforzada con fibras de acero evita el agrietamiento plástico?

1.2.2. Problemas específicos

- a. ¿De qué manera el porcentaje de fibras de acero influye en la resistencia a la compresión del hormigón de ultra alta resistencia?
- b. ¿De qué manera el porcentaje de fibras de acero influye en la resistencia a la tracción del hormigón de ultra alta resistencia?
- c. ¿De qué manera el porcentaje de fibras de acero influye en la resistencia a la flexión del hormigón de ultra alta resistencia?
- d. ¿De qué manera el porcentaje de aditivos a base de policarboxilato influye en la trabajabilidad del hormigón de ultra alta resistencia reforzado con fibras de acero?
- e. ¿De qué manera el porcentaje de fibras de acero influye en la contracción del hormigón de ultra alta resistencia?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Determinar el diseño de un hormigón de ultra alta resistencia reforzada con fibras de acero para evitar el agrietamiento plástico.

1.3.2. Objetivos específicos

- a. Determinar el porcentaje de fibras de acero para incrementar la resistencia a la compresión del hormigón de ultra alta resistencia.
- b. Determinar el porcentaje de fibras de acero para incrementar la resistencia a la tracción del hormigón de ultra alta resistencia.
- c. Determinar el porcentaje de fibras de acero para incrementar la resistencia a la flexión del hormigón de ultra alta resistencia.
- d. Determinar el porcentaje de aditivos a base de policarboxilato para incrementar la trabajabilidad del hormigón de ultra alta resistencia.
- e. Determinar el porcentaje de fibras de acero para reducir la contracción del hormigón de ultra alta resistencia.

1.4. Delimitación de la investigación

1.4.1. Geográfica

Geográficamente abarca todos los departamentos del Perú donde se presenten condiciones que generen el agrietamiento plástico en el hormigón.

1.4.2. Temporal

La realización de la investigación se lleva a cabo durante los meses desde mayo del 2022 hasta la fecha de octubre del mismo año 2022.

1.4.3. Temática

La temática es la inclusión de fibras de acero en hormigón de ultra alta resistencia para evitar el agrietamiento plástico

1.4.4. Muestral

La unidad muestral de análisis de la presente investigación es la información recopilada de manera descriptiva.

1.5. Justificación del estudio

1.5.1. Conveniencia

El propósito del presente proyecto va dirigido al sector de construcción, principalmente a las entidades cuyo rubro está orientado a la tecnología del hormigón y a las que realizan proyectos en condiciones que pueden producir el agrietamiento plástico en un hormigón, con la finalidad de brindar novedosas y oportunas soluciones a este problema.

1.5.2. Relevancia social

Esta investigación propone un impacto favorable a múltiples empresas de construcción, brindándole nuevos conocimientos a sus trabajadores y dándole más oportunidades de ingresar al mercado de la innovación.

1.5.3. Aplicaciones prácticas

Con esta investigación se aportan los lineamientos para incorporar fibras de acero en el hormigón y de esa manera contribuir en

el desarrollo de futuros proyectos donde existan condiciones que puedan producir el fenómeno del agrietamiento plástico.

1.5.4. Utilidad metodológica

La investigación permite ampliar el campo de utilidad que se le da a las fibras de acero en las mezclas de hormigón, para ser empleado en futuros proyectos y tener una base de condiciones necesarias para su uso.

1.5.5 Valor teórico

La investigación fortalece la hipótesis presentada en referencia a reforzar el hormigón de ultra alta resistencia con fibras de acero para evitar el agrietamiento plástico, apoyándose en la evaluación del estándar.

1.6. Importancia del estudio

1.6.1. Nuevos conocimientos

La investigación revela el empleo de fibras de acero como refuerzo de un hormigón para evitar el agrietamiento plástico. Esto permite ampliar las alternativas de solución a problemas o fallas que se generen en el hormigón, uno de los materiales más usados para la construcción. También dota de nuevos conocimientos acerca del sistema a emplear para la incorporación de las fibras, y los porcentajes de cada material a emplear.

1.6.2. Aporte

Con esta investigación se amplían conocimientos y da lugar a contar con más oportunidades de ingresar al área de la innovación en elementos de construcción, brindando soluciones más eficientes a lo tradicional. Además, contribuye con el país al logro de la ODS 9: Industria, Innovación e Infraestructura.

1.7. Limitaciones del estudio

1.7.1. Falta de estudios previos de investigación

Las fuentes bibliográficas acerca de fibras de acero para un hormigón de ultra alta resistencia reforzado con fibras de acero son

limitadas, ya que corresponde un tema relativamente nuevo, de reducida experiencia, carente de normativa peruana.

1.7.2. Metodológicos o prácticos

La bibliografía se trabaja a modo de generar una adaptación más adecuada para el tema de fibras de acero para un hormigón de ultra alta resistencia.

1.7.3. Medidas para la recolección de los datos

La realización de recolección de datos se da de manera virtual, de manera descriptiva, realizando comparaciones puntuales de la zona geográfica a analizar.

1.7.4. Obstáculos en la investigación

La investigación no presenta obstáculos significativos que representen un riesgo a la viabilidad del estudio, sin embargo, la investigación se realiza de manera virtual, debido a la coyuntura nacional actual, que vive el país frente a la pandemia del COVID-19, y hasta el momento, su parcial medida de habilitar la nueva normalidad.

1.1. Alcance

La presente investigación analiza las características del hormigón a utilizar en la obra, la resistencia a la compresión designada y al posible aumento de este, tras agregar hormigón reforzado con fibras de acero para evitar el agrietamiento plástico.

1.2. Viabilidad del estudio

La evaluación de un hormigón reforzado con fibras de acero para evitar el agrietamiento plástico es viable, debido a que se cuenta con la información necesaria recopilada de estudios previos, develando los factores, a modo de poder comprender la aplicación existente, tanto nacional como internacional y de esta manera ejecutar la presente investigación

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Marco histórico

El hormigón de UHPC (*Ultra-High performance Concrete*) es el hormigón con alto contenido de fibra, es decir, corresponde una nueva generación de hormigón que posibilita el diseño y producción de estructuras más complejas con resistencia elevada y a su vez, ligera y elegante. La resistencia a la compresión es una característica mecánica, que en este caso se incrementa, así como también la durabilidad y la resistencia a la flexión de este.

El hormigón de *Ultra-High performance Concrete* (UHPC), llega a tal punto en el que internacionalmente se le reconoce como *Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete* (UHPFRC). Un Hormigón de ultra alta resistencia reforzado con fibras, debe poseer como mínimo, una resistencia a la compresión de 150 MPa, lo que equivale a 1 529.57 kg/cm²; en algunos casos se puede tolerar una resistencia a la compresión de 130 MPa o 1325.63 kg/cm², debido a motivos de la estética de la arquitectura.

Es claro que un hormigón básico, en comparación con un UHPC, queda muy lejos, debido a la misma composición y al agregado adicional que corresponde a la fibra a incorporar; el UHPC marca el inicio de mejores y mayores propuestas relacionadas al hormigón. En cuanto a la normativa, se empezó a publicar de manera internacional (Francesa y Suiza) a partir del 2016, su evolución es de forma inexorable, debido a que se han concebido para coexistir con todas las técnicas de hormigones, en consecuencia, sus aplicaciones son mayores. Por otro lado, los UHPC con armaduras, pretensados o postensados, son de aplicaciones incomparablemente más numerosas y diversas, cabe decir, “ilimitados”.

2.2. Investigaciones relacionadas con el tema

2.2.1. Investigaciones internacionales

Cespedes, B. (2021), analizó la viabilidad del uso del hormigón de ultra alta resistencia reforzado con fibras, en la aplicación de puentes a través de un análisis de casos reales, comparando los resultados mecánicos del material o elemento prefabricado, y disminuir los costos iniciales sin perder la sostenibilidad de la mezcla; finalmente se concluye con un ahorro significativo del peso propio del puente peatonal Sherbrooke, debido a la reducción en áreas, es decir que con el material UHPFRC, la estructura y subestructuras pueden pesar un tercio o la mitad de lo que corresponde a proyectos de hormigón tradicionales; siendo tan ligera como una estructura de acero.

Fiengo, F. (2020), analizó los principales factores que afectan la respuesta a nivel estructural de vigas de hormigón de altas resistencias reforzado con fibras, sometidas a impacto con la finalidad de asentar las bases para que propongan nuevos criterios de diseño, que conduzcan al empleo de este tipo de hormigón y se concluyó con la propuesta de una forma más práctica de evaluar el desempeño en impacto, lo que permite cuantificar el aporte de las fibras.

Saavedra, D. (2020), vio la necesidad de realizar la presente investigación debido a que el aumento de la temperatura interna del hormigón durante la hidratación del cemento afecta la durabilidad del UHPC, produciendo fisuras que pueden dañar su integridad. Reemplazando el cemento hidráulico por materiales puzolánicos, usando menor contenido de humo de sílice y adicionando fibras de acero se generan condiciones favorables para reducir el calor de hidratación y la cantidad de agua para el amasado de los UHPC, reduciendo de esa manera la contracción por secado del hormigón. Se evaluó experimentalmente el efecto de los materiales cementantes y fibras de acero en la contracción por secado del hormigón, determinando la influencia de esta inclusión, analizando el comportamiento de las deformaciones en un ambiente seco, durante el tiempo en el que el hormigón sufre mayor contracción por secado.

Como resultados se determinó, que reforzar el hormigón UHPC con fibras de acero dosificadas al 2% del volumen de hormigón reduce la contracción por secado a los 5 días en un 10.8% y a los 15 días de endurecimiento en un 18.1%. Así mismo, emplear materiales cementantes suplementarios, se reduce la contracción por secado a los 5 días en un 36% y a los 15 días en un 17.8%, en las muestras donde se redujo la cantidad de cemento empleado en más de 200 kg/m³ y el humo de sílice en más de 170 kg/m³, contracción por secado a 5 días disminuyó en un 25% y 36%. Además, al reforzar con fibras de acero y reemplazar el cemento y humo de sílice en conjunto, logró reducir la contracción en un 46% a los 5 días.

Cacoango, G. y Millingalli, M. (2019), evaluaron las fisuras por contracción plástica en el hormigón reforzado con fibras de acero 4D, usando la norma ASTM C-1579-13. Para ello tuvieron como objetivos específicos evaluar el porcentaje óptimo de fibras de acero para evitar las fisuras, evaluar las propiedades físicas y mecánicas de las fibras de acero y agregados, realizar la correcta dosificación de hormigón y cuantificar las fisuras, entre sus principales resultados obtuvieron que para la relación a/c de valores 0.60, 0.40 y 0.35 mientras la dosificación de fibra aumenta en 15, 20 y 30 kg/m³, el valor de CRR se incrementa generando menos fisuras. Por otro lado, al no agregar fibra cuando la relación a/c disminuye, el ancho de la fisura aumenta. Observaron también que las fisuras por contracción plástica tienen forma triangular. Además, al incluir fibras de acero, se presentan entre 2 horas y media y 3 horas desde el fraguado inicial.

García, G. (2018), evaluó el comportamiento físico y mecánico de un hormigón al incorporar fibras de acero, para ello planteó como objetivos específicos realizar ensayos a los componentes del hormigón, diseñar una mezcla con distintos porcentajes de fibra, evaluar su asentamiento, peso unitario y rendimiento y determinar su resistencia a la compresión y flexión. Entre sus principales resultados observó que la adición de fibras de acero le otorgó al hormigón una mayor ductilidad para solo deformarse en una primera falla, aumentando su resistencia a la flexión y tracción en un 53.2% con un porcentaje óptimo de adición de fibra de acero de 14%.

Sarta, H. y Silva, J. (2017), realizaron los ensayos mecánicos para determinar la resistencia del hormigón adicionando fibras de acero al 4% y al 6%, las cuales reemplazaron un porcentaje del peso del agregado fino de la mezcla, con la finalidad de obtener una mejora en las propiedades mecánicas del hormigón, con respecto a un hormigón simple, sin adición. Los ensayos se realizaron en laboratorio con cilindros y viguetas a las edades de 7, 14 y 28 días y concluyeron que la resistencia a la compresión de los cilindros de hormigón fallados a las edades de 7,14 y 28 días para un hormigón de 3000 PSI, presentaron una mejoría debido a la adición de fibras de acero, trayendo consigo beneficios mecánicos y un aumento de su resistencia en 17.54% a la edad de 28 días. La resistencia a la tracción de los cilindros de hormigón fallados a diferentes edades obtuvo resultados favorables frente a los cilindros convencionales demostrando que las fibras reaccionan positivamente frente a las cargas vivas, generando una mejor cohesión con los agregados pétreos de la mezcla con un aumento en su resistencia del 42.26%. Por último, la resistencia a la flexión de vigas con la adición de fibras de acero dio resultados favorables y cumplió con las normas establecidas en la investigación; adicionalmente, las vigas modificadas al 6% presentaron un aumento en la resistencia a la flexión del 56.26% a la edad de 28 días.

2.2.2. Investigaciones nacionales

Fanzo, M. (2021), determinó la longitud óptima de las virutas de acero, analizando el peso unitario del hormigón con la longitud óptima, el diseño de mezcla, estudiando el comportamiento del hormigón con la adición de las virutas, realizando ensayos de compresión, tracción y flexión en vigas. Entre sus principales resultados, determinó con el ensayo de tracción indirecta, que la longitud óptima de las virutas de acero es de 7 cm, siendo el porcentaje óptimo de 1% del peso del cemento. Además, observó que el asentamiento reducía en un 0.8" y se requiere una relación a/c de 0.5 y definió que la incorporación de virutas de acero reduce hasta el 58% del ancho de las fisuras por contracción plástica en el hormigón. Sin embargo, encontró que las virutas de acero disminuyen la resistencia a la compresión del hormigón en un 8.4%, aumenta la resistencia a tracción en 1% y aumenta la resistencia a la flexión en un 3.3%.

Morán, F. y Huerta, E. (2020), realizaron un estudio al pavimento rígido, en la Av. Los Héroes, ubicada entre la Av. Miguel Iglesias y la Av. 26 de noviembre, donde se determinó su condición como en muy mal estado, y se observó que el principal factor de daños es el paso de vehículos pesados, por ello vieron la necesidad de diseñar un pavimento que soporte las cargas mecánicas causadas por los vehículos pesados durante toda su vida útil. En esta investigación se tuvo como objetivo general demostrar que la incorporación de fibra de acero Dramix 4D en la losa del pavimento rígido, mejora el comportamiento mecánico de la vía en estudio. Para ello tuvo como objetivos específicos diseñar un pavimento rígido con el método AASHTO (1993), con incorporación de la fibra DRAMIX 4D en la losa y evaluar el comportamiento mecánico de la mezcla mediante ensayos de compresión y flexión. Entre sus principales resultados, determinó que la incorporación de fibras de acero en el pavimento mejora su paquete estructural por su alto módulo elástico y su resistencia a la tracción, que aumenta su resistencia al agrietamiento bajo esfuerzos de tracción, flexión y compresión. Obtuvieron una mejora en el ensayo de compresión a los 7 días de un 18% y en el ensayo de flexión una del 13%, ambos mayores a lo conseguido con un hormigón sin fibras de acero. Además, se observó que la fibra genera transferencia de esfuerzos post fisuración, permitiendo el aumento de la capacidad de carga luego de la primera falla.

Miranda, C. y Rado, M. (2019), buscaron proponer diseños de mezclas de hormigón reforzados con fibras de acero, cemento adicionado puzolánico y aditivos químicos para la construcción de pavimentos rígidos en Apurímac para enfrentar los problemas de fisuración, optimizar costos y aumentar la calidad del pavimento. Entre sus resultados, con el ensayo de resistencia a la compresión para hormigones luego de 28 días con una relación a/c de 0.50 se obtuvo resistencia entre 315 y 325 kg/cm², para a/c de 0.45 resistencia entre 370 y 385 kg/cm² y para a/c de 0.40 resistencia entre 440 y 450 kg/cm². Con la adición de fibras de acero se aumentó la resistencia a tracción entre 4 y 19 % y se incrementó el M.R. entre 14 y 34% respecto al diseño sin fibra.

Ñaupas, D. y Sosa, D. (2019), buscaron determinar el comportamiento mecánico del hormigón reforzado con fibra de acero usando ensayos para obtener la adecuada dosificación de fibra de acero, para lograr ello determinó la influencia de la fibra de acero y el aditivo plastificante en la trabajabilidad y elasticidad del hormigón y en su resistencia a la compresión y flexión. Entre sus resultados, observó que el hormigón con la fibra de acero y el aditivo plastificante ayudan parcialmente a la trabajabilidad, pero esta se pierde totalmente en inclusiones mayores de 90 kg de fibra por m³ de hormigón, además que genera menor resistencia a la compresión. También definió esta mezcla aumenta su resistencia a cargas axiales hasta en un 28.1% y su resistencia por flexión hasta en un 80%, aumentando con ello su ductilidad y tenacidad. Con todo lo anterior, determinaron que favorece la disminución del desprendimiento de hormigón por fisuramiento.

Ramos, J. (2021), en su investigación contaba con 12 vigas con resistencia a la compresión de 280 kg/cm^2 , en las cuales evaluaron los impactos de las aberturas transversales y la inclusión de dosificaciones de fibras de acero en estas. Entre sus principales resultados, se observa que las vigas con abertura transversal con refuerzo de fibras mantienen su capacidad de resistencia, mientras las que no tienen refuerzo redujeron su resistencia en un 11.9%, determinó que en las vigas con una dosificación de fibras de acero de 20 kg/m^3 la capacidad de resistencia a la fluencia aumentó un 27.4% y para una de 50 kg/m^3 aumentó un 41.6%. La ductilidad al incluir las fibras se redujo en un 35%, y la rigidez aumenta un 10%. Además, definió que la inclusión de fibras de acero en vigas con aberturas transversales logra controlar la formación y ancho de fisuras en la abertura.

2.2.3. Artículo relacionado con el tema

Christ et al. (2019) evaluaron el comportamiento mecánico de los hormigones de ultra altas prestaciones (UHPC), reforzados con fibras híbridas de acero y polipropileno, con la utilización de cemento de 250 kg/m^3 y aplicando en su estado fresco, una presión de confinamiento. Se evaluó la consistencia de la mezcla, las propiedades mecánicas, como la resistencia a la compresión y a la flexión.

Finalmente concluyen que, tras aplicar ambas fibras, la combinación de estas produce un incremento en la tenacidad de la mezcla, aumentó la resistencia a deformación en un 191%, en comparación con la mezcla realizada a base de solo fibras de acero al 100%, demostrando los beneficios de la hibridación de elementos, en la mezcla realizada para el hormigón de ultra alta resistencia.

2.3. Estructura teórica y científica que sustenta el estudio

Hormigón

El hormigón es usado para la construcción. Perles (2006) afirma que una es una mezcla homogénea compuesta por una pasta adhesiva de cemento Portland y agua, que mantiene ligada a las partículas de materiales compuestos por agregados finos y gruesos” (p.21). La Figura N° 2 retrata un hormigón con las fibras de acero incorporadas en campo.



Figura N° 2: Hormigón con adición de fibras
Fuente: Mukul. (2019)

Agregado fino

López y Sepúlveda (2014) afirman que el agregado fino es un material cribado, trituración o lavado. También que es un material producido por la calcinación, expansión, o fusión excipiente. Se utilizan a modo de combinarlo cemento y agua, para de esa manera formar el hormigón hidráulico que conocemos (p.20). La granulometría del agregado fino se puede visualizar en la Figura N°3.



Figura N° 3: Granulometría del agregado fino
Fuente: Miranda. y Rado. (2019).

Agregado grueso

López y Sepúlveda (2014) afirma que el agregado grueso puede ser grava natural seleccionada y obtenida mediante trituración y cribado, con partículas de tamaño máximo, generalmente comprendido entre 19 mm y 75 mm, pudiendo contener fragmentos de roca y arena (p.20). La granulometría del agregado grueso se puede visualizar en la Figura N°4.



Figura N° 4: Granulometría de agregados

Fuente: García. (2018)

Fibras de acero

Estas fibras son formadas por acero trefilado en frío y bajo en carbono y son cortadas en tiras. Su uso tiene más de un siglo de existencia, y es en los años 60 que se evaluó su uso como refuerzo del hormigón, en la Figura N° 5 se observan las fibras de acero, tras la separación de un bloque en dos partes.

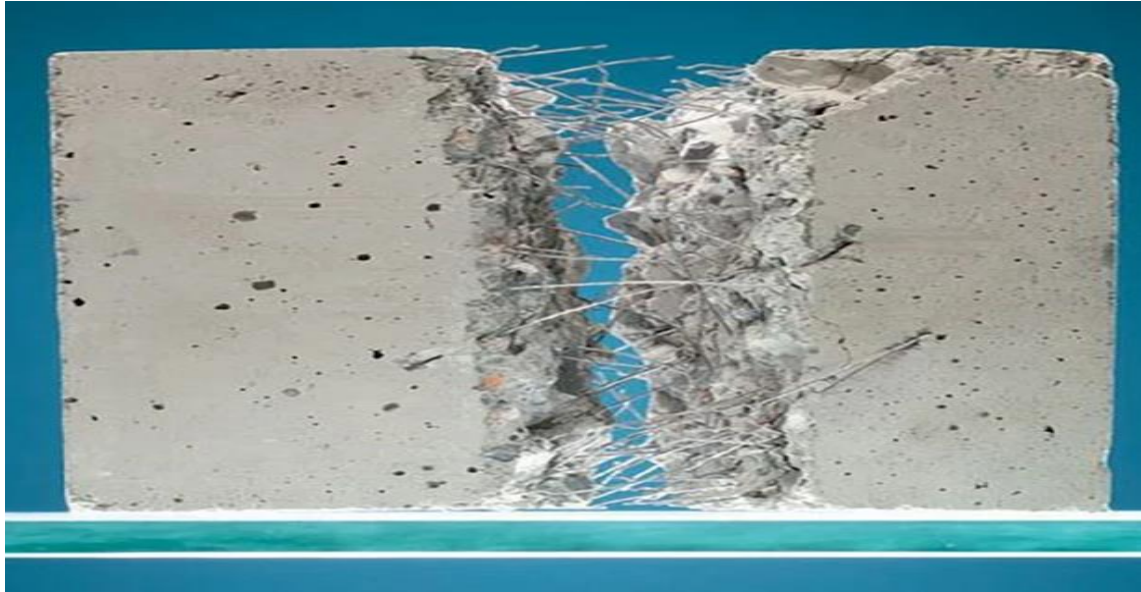


Figura N° 5: Fibras de acero en el hormigón
Fuente: Mukul. (2019)

El refuerzo con fibras de acero aumenta de manera positiva, las propiedades del hormigón, como es el caso de la ductilidad, la resistencia al impacto, tracción, fatiga y corte; a su vez, genera la posibilidad de evitar la colocación de varillas de acero, por ejemplo, una malla, además que eleva la resistencia al agrietamiento plástico, entre otros.

NRMCA (2020) afirma que: “La incorporación de un refuerzo de fibras sintéticas en la mezcla de hormigón puede ayudar a resistir la tensión cuando el hormigón es muy frágil” (p.1).

Las fibras de acero o metálicas son utilizadas principalmente en donde se requiera resistir cargas considerables, es decir en estructuras de tipo industrial, comercial pistas, túneles, aeropuertos o taludes. Su comportamiento, se puede visualizar en la Figura N° 6.

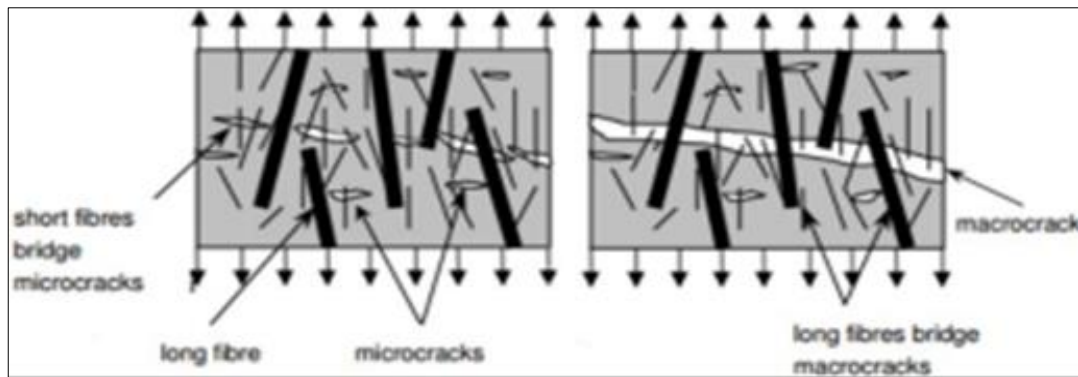


Figura N° 6: Efecto de las fibras en las fisuras

Fuente: Carné. (2014)

Humo de sílice (HS)

El HS es un material puzolánico de alta reactividad, subproducto derivado del desecho de la fabricación de silicio metálico y aleaciones de ferrosilicio. Su proceso es resultado de la reducción de cuarzo de pureza elevada (SiO_2) con carbón en hornos de arco eléctrico, a temperaturas mayores a 2000°C . Este compuesto mineral fino en la mezcla del hormigón permite una mayor y mejor oclusión de los poros, mejorando la interfase matriz agregado, y ofreciendo de esta manera un producto más estable, duradero y resistente

Inicialmente el HS fue empleado como adición en la elaboración de ladrillos; comenzó añadiéndose en determinadas proporciones a su composición, evidenciándose mediante la cocción propiedades de buena estabilidad volumétrica, dureza y resistencia. Su morfología se puede visualizar en la Figura N° 7.



Figura N° 7: Humo de sílice

Fuente: Dificonsa (2017)

Polvo de cuarzo

El cuarzo es una piedra, de la cual se deriva el polvo de cuarzo, es una adición importante en la industria de la construcción. También conocida como arena sílica, se utilizan en grandes cantidades en la fabricación de vidrio y cerámica, para moldes de fundición de metales, además de ser una adición comúnmente utilizado en el hormigón de ultra alta resistencia. Su morfología se visualiza en la Figura N° 8.



Figura N° 8: Polvo de cuarzo.
Fuente: Google imágenes.

Aditivo superplastificante

El aditivo superplastificante cumple una función similar a los plastificantes, es decir aumenta la trabajabilidad del hormigón. El incremento en la manejabilidad hace posible disminuir el contenido de agua y de cemento, manteniendo la fluidez del material y su resistencia.

Agrietamiento plástico

Es una falla que ocurre en los hormigones debido a diversos factores. Cuando el hormigón se encuentra en estado fresco, puede ser posible que se genere en la superficie, el famoso “agrietamiento plástico”, es decir, fisuras que aparecen mientras el hormigón se encuentra en estado plástico, y sucede principalmente en superficies planas u horizontales, debido a que en la superficie existe una pronta evaporación del agua, antes de que el hormigón haya fraguado. Estas raramente afectan la durabilidad o resistencia, sin embargo, resultan antiestéticas; estas fisuras antiestéticas se presentan tal cual muestran las Figura N°9 y Figura N°10 a continuación.

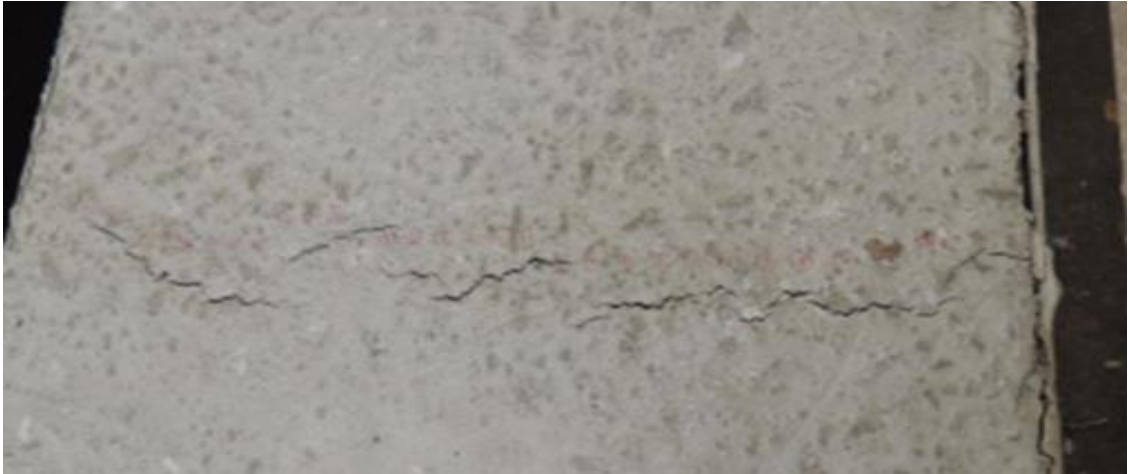


Figura N° 9: Fisuras por contracción plástica en losa.
Fuente: Cacoango y Millingalli. (2019)



Figura N° 10: Fisuras por contracción plástica en vereda.
Fuente: Captura obtenida en campo. Elaboración propia. (2022)

Como se mostraron, en las figuras N°9 y N°10 el agrietamiento plástico se presenta, sin embargo, existen maneras para evitarlo, a continuación, se mencionan algunas maneras para obtener el mejor resultado.

- Humedecer el área de trabajo, antes de realizar el vaciado.
- Posible utilización de atomizadores, en tiempos de temperaturas elevadas.
- Cubrir el hormigón con mantas húmedas o polipropileno entre las intervenciones de acabado.
- No utilizar un hormigón con temperatura alta en un clima frío, y utilizarlo más frío en un ambiente de clima caliente.
- Curar el hormigón, ni bien se haya culminado con el acabado correspondiente.

Norma ASTM C1116

Standard Specification for Fiber-Reinforced Concrete and Shotcrete, es el estándar para todas las formas de hormigón reforzado con fibras, menos a la fibra de vidrio. En el estándar, las fibras se entregan con los materiales mezclados, se pueden muestrear y probar en el punto de entrega. También incluye la mezcla seca si el muestreo y la prueba del hormigón solo se pueden dar en el punto de colocación. En su alcance no está la colocación, consolidación, curado y protección del hormigón después de su entrega.

Norma Técnica de Edificación E.060 Concreto Armado

El Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) cuenta con una lista de Normas de estructuras, dentro de estas se encuentra la Norma E.060 Concreto armado. En el cual, nos brinda información sobre los requisitos y estándares mínimos para realizar el diseño y/o construcción, además del análisis, control de calidad y supervisión de las estructuras ejecutadas con hormigón armado, ya sean preesforzado o simple (p.2)

Estructuras ejecutadas con hormigón de ultra alta resistencia

El hormigón de ultra alta resistencia, se viene desarrollando y aplicando a través de los años, resaltando el primero en ser construido con 200 MPa de resistencia a la compresión, el Puente de Sherbrooke ubicado en Canadá, este es utilizado por su población como puente peatonal, y así como este proyecto, existen muchos más, de los cuales se resumen considerando solo los ejecutados con resistencia sea igual o mayor a 150 MPa, y se pueden visualizar en la siguiente Tabla N°1.

Tabla N° 1: Estructuras construidas con UHPC en el mundo

Año	Ubicación	Nombre de la Obra	Tipo de Obra	Resistencia a la compresión
1997	Sherbrooke, Canadá	Sherbrooke footbridge	Puente peatonal	200 MPa
2001	Illinois, USA	Joppa clinker silo	Silo	220 MPa
2004	A75 Motorway, Francia	Millau Viaduct toll gate	Cubierta en peaje de autopista	165 MPa
2005	Valence, Francia	Puente vehicular	Puente	>150 MPa
2006	Auckland, New Zealand	Papatoetoe footbridge	Puente peatonal	160 MPa
2012	Alemania	Sewer pipes	Alcantarillado	151 MPa
2013	Marseille, Francia	MUCEM	Edificación	>150 MPa
2013	Paris, Francia	Jean Bouin	Estadio	>150 MPa
2014	Francia	Fundación Louis Vuitton	Edificación	>150 MPa

Fuente: Jonnathan O. & Efraín V. (2021)

De la tabla anterior, destacan las siguientes estructuras:



Figura N° 11: Sherbrooke footbridge, Canadá (1997).

Fuente: Base internacional y galería de estructuras.



Figura N° 12: Millau Viaduct toll gate, Paris (2004).
Fuente: Base internacional y galería de estructuras.



Figura N° 13: Estadio Jean Bouin, Paris (2013).
Fuente: Base internacional y galería de estructuras.



Figura N° 14: Figura N° 14. MUCEM, Francia (2013).
Fuente: Jonnathan O. & Efraín V. (2021)

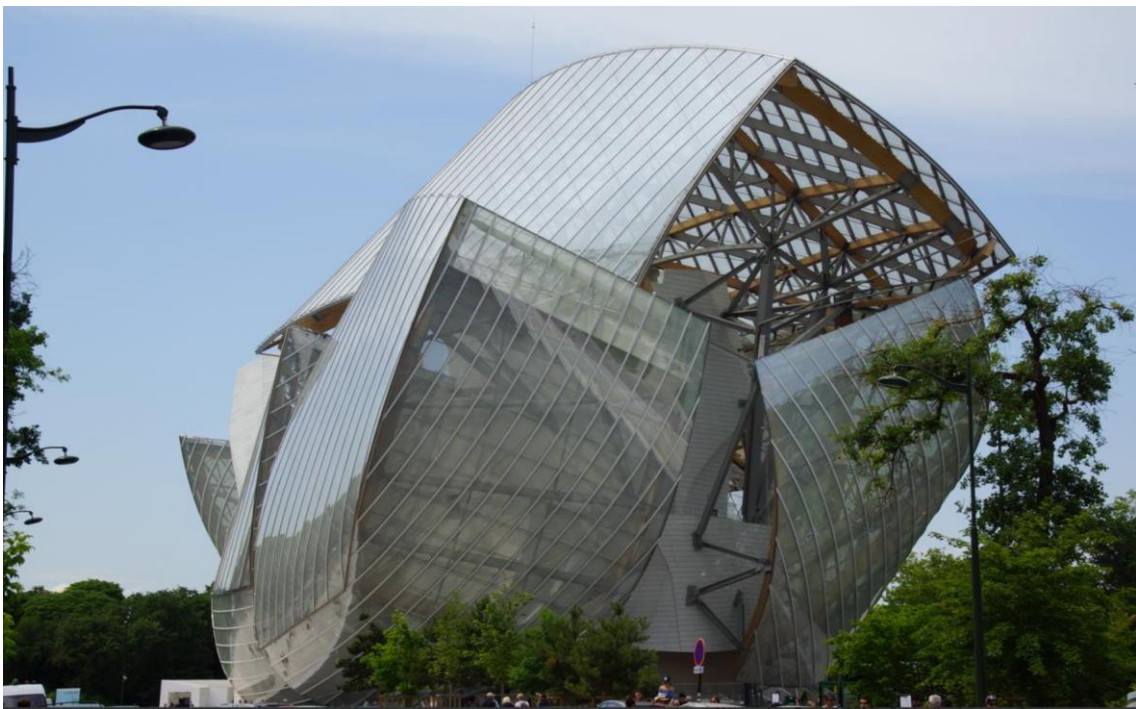


Figura N° 15: Fundación Louis Vuitton, Francia.
Fuente: Base internacional y galería de estructuras.

2.4. Definición de términos básicos

Relación agua/cemento

De diversos estudios, se puede afirmar que la relación agua/cemento es el valor característico más importante de la tecnología del hormigón. De ella dependen la resistencia y la durabilidad, así como los coeficientes de retracción y de fluencia. Guevara et al. (2012) afirman lo siguiente: “En esta relación el agua es muy importante debido a que su relación con el cemento está ligada a las propiedades del hormigón, mientras más agua se adicione, la fluidez, trabajabilidad y plasticidad aumentan” (p.2).

Relación agua/material cementante

Los materiales cementantes se utilizan para la elaboración del hormigón, es hidráulico, ya que se requiere la adición de agua para complementar el proceso químico de hidratación, con el cual el polvo de cemento se fragua y endurece para convertirse en una masa sólida. López y Tufino (2020) afirman que: “Es un coeficiente entre el agua y la suma de materiales cementantes con adiciones” (p.40)

Resistencia a la compresión

Esta resistencia es la capacidad que tiene el hormigón de soportar una carga por unidad de área. Es la principal característica mecánica del hormigón, las unidades más empleadas son kg/cm^2 y MPa. Agudelo y Silva (2017) afirman que: “Es la medida máxima de la resistencia a carga axial de especímenes de concreto. Es una fuerza aplicada a un área” (p.15).

Resistencia a la tracción

Esta resistencia es el máximo esfuerzo de tracción al que pueden ser sometida una probeta, luego de superar esta resistencia se produce su rotura. Las unidades más empleadas son kg/cm^2 y MPa. García (2012) afirma que: “El concreto es un material que presenta una resistencia a la tracción baja por el orden del 10% al 15% de la resistencia a la compresión” (p.4).

Resistencia a la flexión

Esta resistencia es la capacidad del hormigón para soportar fuerzas que son aplicadas de manera perpendicular al eje longitudinal. Realizar ensayos de flexión permiten determinar las propiedades mecánicas relacionadas a las deformaciones

en los puntos máximos y de rotura. García (2012) afirma lo siguiente: “La resistencia a la flexión es una medida de la resistencia a la tracción del concreto, resistencia a la falla por momento de una viga o losa” (p.6)

Trabajabilidad

Se denomina a la propiedad que otorga la facilidad, en un hormigón recién mezclado, de trabajar. Esto se puede ver afectado por los valores empleados de a/c y la inclusión de fibras o de aditivos. Perles (2005) afirma que: “Se dice que una mezcla es trabajable cuando en estado fresco el hormigón puede ser transportado sin que se separen los componentes y una vez colocado llena todos los huecos” (p.27)

Contracción por secado/ contracción plástica

La contracción por secado es un fenómeno del hormigón que se presenta como el encogimiento o deformación tridimensional que experimenta el elemento vaciado durante el proceso de endurecimiento y secado, esto a su vez se produce cuando este pierde agua en dicho elemento. Sosa (2018) afirma que: “Es el cambio de volumen del hormigón causado por el movimiento de humedad dentro del material y su pérdida, cuando existe humedad entre el medio ambiente y el hormigón” (p.49)

2.5. Fundamentos teóricos que sustentan a la hipótesis

Las fibras como refuerzo

La hipótesis general señala que al diseñar un hormigón de ultra alta resistencia reforzado con fibras de acero, se evita el agrietamiento plástico.

Según un artículo de Sika (s.f.), menciona que las fibras como refuerzo secundario para hormigón de manera general, se pueden clasificar según diferentes tipos de consideraciones y que principalmente existen dos tipos de clasificación:

- Por Material: Aquí intervienen las fibras metálicas, sintéticas, de vidrio y las fibras naturales.
- Por funcionalidad, geometría y dosificación: Representado por las microfibras y macrofibras.

Como sustento que apoya la hipótesis, se menciona un ejemplo, en el que se trabajó con un hormigón convencional reforzado con fibras de acero. Los valores

obtenidos por parte Sika en dicho ejemplo, demostraron la reducción del agrietamiento plástico en las primeras 24 horas. De los cuales se mencionan una microfibras A (0.45 kg/m^3), Microfibras A' (0.90 kg/m^3), Microfibras B (0.60 kg/m^3), Microfibras B' (0.90 kg/m^3), en un área total de agrietamiento plástico de 108 mm^2 , 34 mm^2 , 59 mm^2 y 4 mm^2 respectivamente, se obtuvieron 21, 9, 20 y 2 fisuras respectivamente con un ancho de fisura de 0.09 mm para las dos primeras muestras y 0.08 mm para la tercera y cuarta muestra.

En el caso de la presente investigación, hechas sobre placas de espesor de 50 mm y efectuadas bajo condiciones atmosféricas controladas, se trabaja con los dos tipos de clasificación que dispone Sika, por tipo de material y su funcionalidad, es decir con microfibras metálicas o acero.

Otro fundamento que sustenta la hipótesis se menciona según un artículo por parte del *National Ready Mixed Concrete Association* (NRMCA) “la utilización de fibras, mejora significativamente las propiedades del hormigón y es significativo para evitar el agrietamiento plástico”. De las anteriores afirmaciones y resultados, se puede inferir que, trabajando con fibras de acero, se logrará evitar el agrietamiento plástico en el hormigón de ultra alta resistencia.

CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS

3.1. Hipótesis

3.1.1. Hipótesis principal

Al diseñar un hormigón de ultra alta resistencia reforzado con fibras de acero, se evita el agrietamiento plástico

3.1.2. Hipótesis secundarias

- a. El porcentaje de fibras de acero incrementa la resistencia a la compresión del hormigón de ultra alta resistencia.
- b. El porcentaje de fibras de acero incrementa la resistencia a la tracción del hormigón de ultra alta resistencia.
- c. El porcentaje de fibras de acero incrementa la resistencia a la flexión del hormigón de ultra alta resistencia.
- d. El porcentaje de aditivos a base de policarboxilato incrementa la trabajabilidad del hormigón de ultra alta resistencia.
- e. El porcentaje de fibras de acero reduce la contracción del hormigón de ultra alta resistencia

3.2. Sistema de variables

3.2.1. Definición conceptual

VI: Fibras de acero

Este material es usado en la mezcla de hormigón para proporcionar un mejor control del agrietamiento en el proceso de contracción plástica.

Sobre las fibras de acero, Mukul (2019) afirma lo siguiente: son pequeños filamentos de acero de alta resistencia, poseen unos diminutos dobleces en cada punta, se fabrican a partir de alambre al bajo carbono estirado en frío. Estas fibras son frecuentemente utilizadas para reforzar estructuras hechas con otros materiales.

VD: Agrietamiento plástico

El agrietamiento plástico en el hormigón ocurre cuando se pierde rápidamente el agua en su superficie, antes de que haya fraguado. Toxement (2021) afirma que son poco profundas y pueden formar un patrón poligonal aleatorio, o bien pueden aparecer básicamente paralelas unas a otras. Estas

fisuras a menudo son bastante anchas en la superficie. Su longitud varía entre pocos milímetros y más de un metro, y su separación puede ser de pocos milímetros o de hasta 3 m (p.1).

3.2.2. Definición operacional

VI: Fibras de acero

Se determinará el porcentaje óptimo que se debe incluir en la mezcla de hormigón, a partir de la revisión bibliográfica de trabajos de investigaciones nacionales e internacionales, así como artículos científicos sobre el tema.

VD: Agrietamiento plástico

Se encontrarán los datos necesarios para evitar su aparición en el hormigón, a partir de la revisión bibliográfica de trabajos de investigaciones nacionales e internacionales, así como artículos científicos sobre el tema.

3.2.3. Operacionalización de las variables.

Tabla N° 2: Operacionalización de variables

Variable	Función	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida	Escala	Herramienta
Fibras de acero	Independiente	Cantidad	Porcentaje de fibras de acero	kg/cm ³	Cuantitativa	Revisiones bibliográficas en tesis y artículos.
			Porcentaje de aditivos a base de policarboxilato			
Agrietamiento plástico	Dependiente	Propiedades	Resistencia a la compresión	MPa	Cuantitativa	Revisiones bibliográficas en tesis, artículos, manuales y normas.
			Resistencia a la tracción			
			Resistencia a la flexión	mm	Cuantitativa	
			Trabajabilidad			
Contracción	mm/mm	Cuantitativa				

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA

Con la finalidad de obtener información confiable, actualizada, amplia y verídica, la presente investigación fue documental y bibliográfica, debido a que los resultados fueron obtenidos de la revisión y análisis de investigaciones, tesis, artículos y diferentes publicaciones realizadas por diversos autores acerca de la incorporación de fibras de acero en la mezcla del hormigón de ultra alta resistencia para evitar el agrietamiento plástico. Esta investigación fue de método deductivo, orientación aplicada, enfoque mixto, tipo explicativa y descriptiva, nivel descriptivo y diseño observacional, transversal y retrospectivo, ver Figura N° 16.

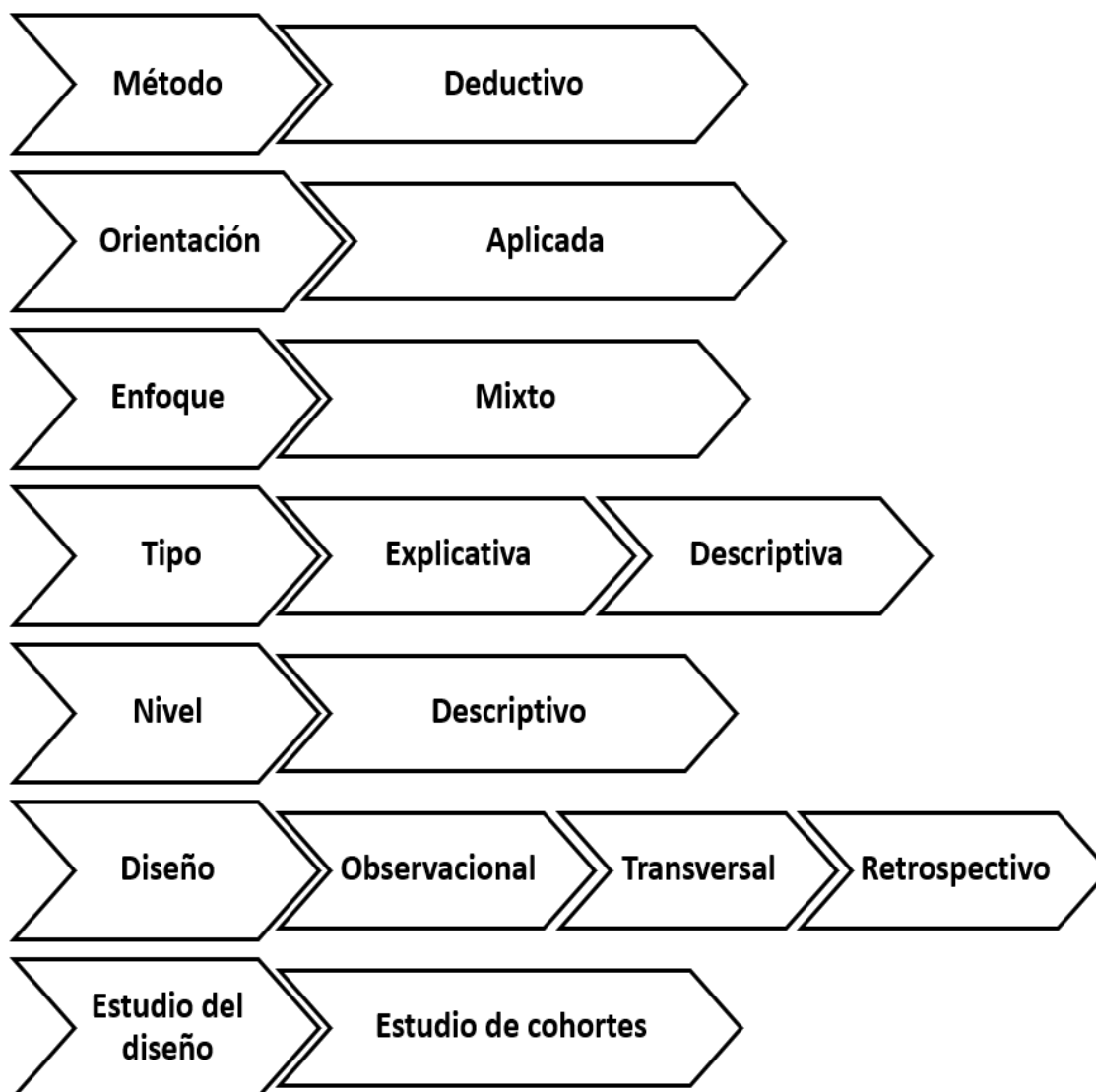


Figura N° 16: Detalle metodológico
Fuente: Elaboración propia.

4.1 Método de la investigación

La presente investigación fue de método deductivo porque se intentará demostrar la hipótesis a través de los diferentes resultados y conclusiones obtenidas en tesis, investigaciones, libros y artículos científicos relacionados al tema.

La orientación fue aplicada, porque se buscará resolver el problema del agrietamiento plástico en un hormigón.

El enfoque fue mixto, porque se obtendrán tanto resultados representados en porcentajes, gráficos y números, demostrando un enfoque cuantitativo, como resultados basados en análisis e hipótesis, demostrando un enfoque cualitativo.

4.2. Tipo de la Investigación

El tipo de la investigación fue explicativa porque se buscó exponer la solución a los principales causantes del problema, y descriptiva porque se detalló como la inclusión de fibras de acero permitirá evitar el agrietamiento plástico, todo lo anterior se realizó en base a una amplia y variada revisión bibliográfica.

4.3. Nivel de Investigación

El nivel de la presente investigación fue descriptivo porque se determinó el porcentaje de fibra de acero para evitar el agrietamiento plástico, así como su comportamiento y condiciones a emplear frente a los principales causantes de este efecto en el hormigón.

4.4. Diseño de la investigación

El diseño de la presente investigación según el propósito fue observacional debido a que se realizó recogiendo información, sin intervenir en su desarrollo, de diversas fuentes fundamentadas y con resultados obtenidos de manera experimental. Según el número de mediciones fue transversal porque se llevó a cabo utilizando más de una variable, las cuales fueron estudiadas en un periodo de tiempo determinado y según la cronología de las observaciones fue retrospectivo debido a que se observaron y evaluaron los resultados obtenidos en investigaciones ya realizadas.

4.5. Población y Muestra

4.5.1. Población

La población estuvo conformada por 30 investigaciones, de las cuales fueron investigaciones de tesis de pregrado, investigaciones de tesis fin de máster y artículos, que permitieron reconocer el hormigón reforzado con fibras de acero y diferenciarlo de un hormigón de ultra alta resistencia reforzado con fibras de acero, demostrando como evitan el agrietamiento plástico.

4.5.2. Muestra

El diseño muestral, se desarrolló según el tamaño total de la población, es decir, se empleó la totalidad de la investigaciones nacionales e internacionales recolectadas, ya que se buscó obtener una mejor exactitud con respecto a los resultados del análisis estadístico. En consecuencia, no se requiere de la realización de un muestreo probabilístico.

4.6. Técnicas e Instrumentación de Recolección de Datos

4.6.1. Instrumento de Recolección de Datos

Los instrumentos empleados para la recolección de datos fueron el programa de herramienta de cálculo MS Excel, el software MS Word, especificaciones técnicas, las normas que rigen el uso de los materiales en estudio como son la Norma Técnica de Edificación E.060 Concreto Armado y el ASTM C1116: *Standard Specification for Fiber-Reinforced Concrete and Shotcrete*, también se usaron plataformas de datos académicos como *Scopus* y *Proquest* para la revisión bibliográfica.

4.6.2. Métodos y Técnicas

Los métodos y técnicas a emplear fueron la recolección de información de tipo virtual tales como bibliografía consultada y revisiones literarias, así como la obtención de datos estadísticos propios y la elaboración de cuadros comparativos, para una adecuada descripción y comparación de la muestra en estudio.

4.7. Descripción de Procesamientos de Análisis

Se realizó la recolección de datos en investigaciones que no excedan los 5 años de antigüedad para garantizar que las condiciones existentes para cada factor a evaluar no hayan variado mucho y que así no afecte la conclusión o resultado final.

Con la información recolectada se determinó, mediante estudios ya realizados, el porcentaje de fibra de acero que se incorpora al hormigón. Mediante tablas y cálculos se encontró la óptima relación a/c y en base a revisiones bibliográficas se definió el adecuado proceso de curado del hormigón de ultra alta resistencia reforzado con fibras de acero y evitar el agrietamiento plástico.

CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

Para el desarrollo de la presente investigación se recogió información acerca de la resistencia a la compresión, tracción y flexión, trabajabilidad y contracción por secado unitario de un hormigón de ultra alta resistencia reforzado con fibras de acero. En el análisis y comparación de los resultados se tomó en cuenta un total de 30 investigaciones, entre artículos, tesis de postgrado y pregrado, todos con información contundente y confiable, para el correcto desarrollo y obtención de resultados de la presente investigación.

5.1. Resultados de la investigación

Objetivo a: Determinar el porcentaje de fibras de acero para incrementar la resistencia a la compresión del hormigón de ultra alta resistencia.

Autor 6: Muñoz (2018)

- Tipo de cemento: Empleó cemento Portland Tipo 1, con resistencia mecánica 52,5 R y muy bajo porcentaje de aluminato tricálcico (CEM I 52,5 R-SR).
- Características de las fibras de acero: Empleó fibras de 2 dimensiones, de DRAMIX, en la Tabla N°3 se detalla sus características.

Tabla N° 3: Características de fibras DRAMIX.

Tipo	Longitud (mm)	Diámetro (mm)	Resistencia a la tracción (MPa)	Módulo de Young (GPa)
RC 80/30 CP	30	0.38	3070	210
OL 13/.20	13	0.21	2750	200

Fuente: Elaboración propia.

- Contenido de mezcla: Realizó una mezcla de cemento CEM I 52,5 R-SR, agua, un superplastificante reductor de agua *MasterGlenium 355C*, fibras de acero, humo de sílice S-92-D, escoria de alto horno y arena de cuarzo. Además, empleó una relación agua/cemento de 0.34 y relación agua/material cementantes de 0.17.
- Método de ensayos: Empleó probetas cúbicas de 100 mm de largo, cilíndricas de 100 mm de diámetro y prismáticas de 440 mm de largo, para realizar los ensayos de resistencia a la compresión, para hallar el módulo de Young y caracterizar el

comportamiento en fractura y tenacidad, respectivamente. Estos ensayos se realizaron a partir de 28 días. En la siguiente Tabla N°4 se detallan los resultados obtenidos.

Tabla N° 4: Valores de Resistencia a la compresión (MPa) de 9 muestras.

Muestra	Dosificación de fibra (kg/m³)	Resistencia a la compresión (Mpa)
1	98	10
2	98	119
3	98	120
4	98	122
5	98	125
6	98	132
7	98	134
8	98	150
9	98	155

Fuente: Elaboración propia.

De la anterior tabla se observa que las muestras con los valores menores al de resistencia a la compresión mínimo para este tipo de hormigones son la 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7 por lo que no serán considerados en el siguiente análisis (ver Figura N°17).

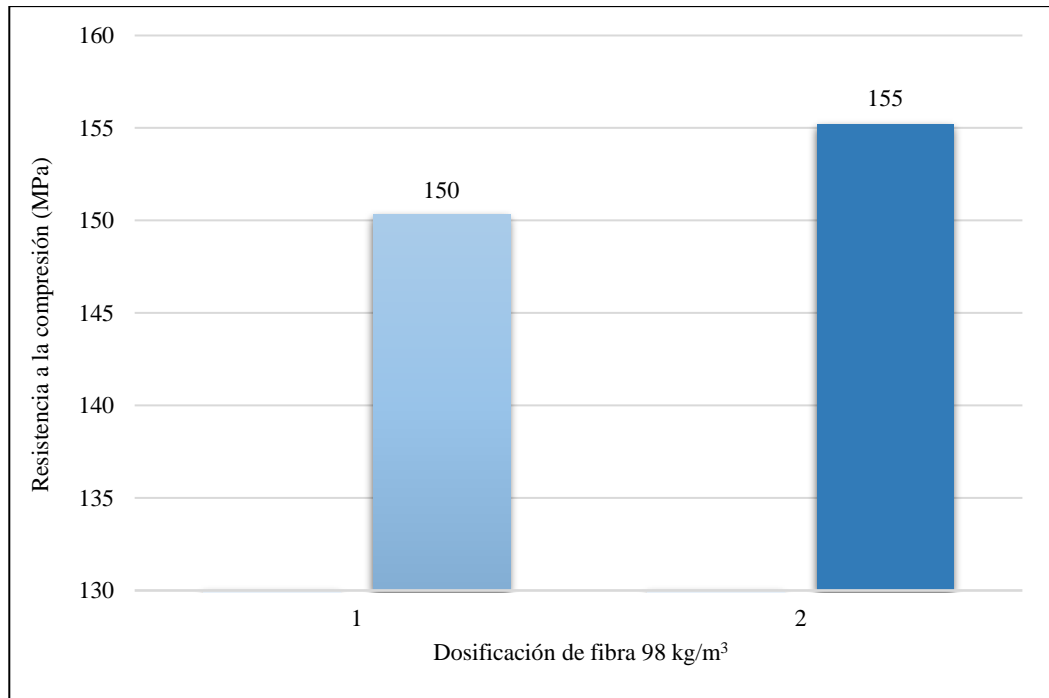


Figura N° 17: Resistencia a la compresión (MPa) vs Dosificación de fibra de 98 kg/m³ de 2 muestras.

Fuente: Elaboración propia.

Autor 2: R. Christ, F. Pacheco, H. Ehrenbring, U. Quinino, M. Mancio, B.F. Tutikian (2019)

- Características de las fibras de acero: Emplearon fibras de acero de diámetro 0.21 mm, longitud 13 mm, resistencia a la tracción de 2750 N/mm, módulo elástico de 200 GPa y densidad de 7.8 g/cm.
- Contenido de mezcla: Realizaron la mezcla de cemento, ceniza fina de carbón, vapores de sílice, arena, polvo de cuarzo, superplastificante a base a policarboxilato y fibras de acero. Además, emplearon una relación agua/cemento de 0.45 y relación agua/material cementantes de 0.20.
- Método de ensayos: Evaluaron la consistencia de la mezcla con la norma ASTM C1437, emplearon probetas cilíndricas de 50x100 mm para los ensayos a la compresión axial, probetas prismáticas de 40 x 40 x 160 mm para los ensayos de resistencia a la flexión y para evaluar la tenacidad.

En la siguiente Tabla N°5 se detallan los resultados obtenidos.

Tabla N° 5: Valores de Resistencia a la compresión de 6 muestras.

Muestra	Dosificación de fibra (kg/m ³)	Resistencia a la compresión (MPa)
1	117.75	130
2	141.3	140
3	164.85	148
4	188.4	150
5	211.95	152
6	235.5	160

Fuente: Elaboración propia

De la anterior tabla se observa que las muestras con los valores menores al de resistencia a la compresión mínimo para este tipo de hormigones son la 1, 2 y 3 por lo que no serán considerados en el siguiente análisis (ver Figura N° 18)

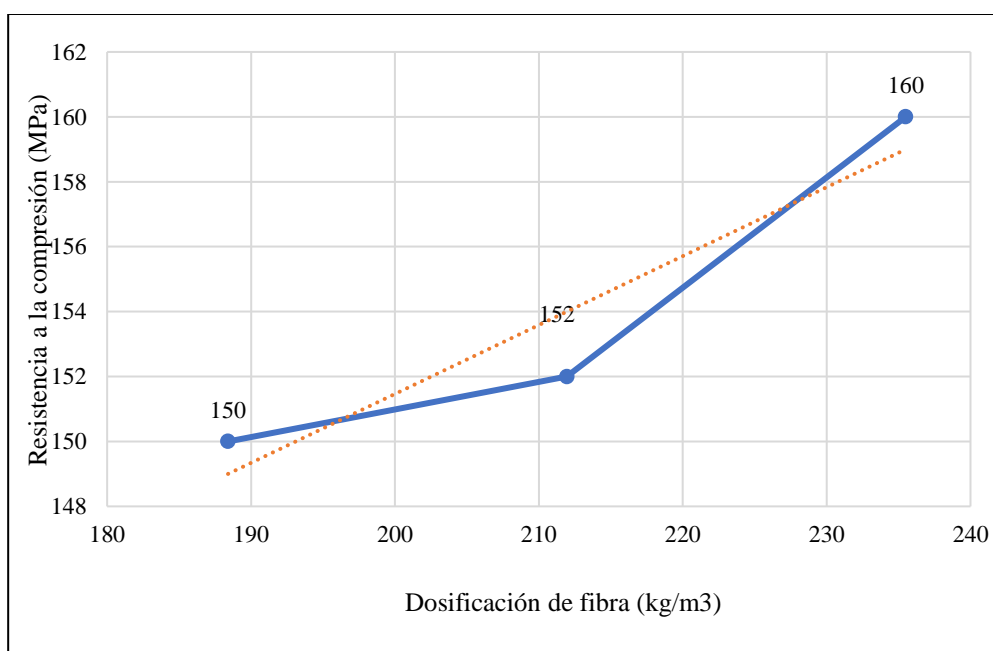


Figura N° 18: Variación de la Resistencia a la compresión (MPa) vs Dosificación de fibras (kg/m³) en las 3 muestras.

Fuente: Elaboración propia.

Autor 4: Zerbino, R., Giaccio, G. y Torrijos M. (2016).

- Contenido de mezcla: Realizaron la mezcla de CPN A, microsílíce, superfluidificante y microfibras. Además, emplearon una relación agua/cemento + microsílíce de 0.16.
- Método de ensayos: Evaluaron la resistencia a la compresión mediante ensayos, con la muestra curada durante 72 horas en agua a una temperatura de 90°C. Estos ensayos se realizaron a los 7 días.

En la siguiente Tabla N°6 se detallan los resultados obtenidos.

Tabla N° 6: Valores de Resistencia a la compresión de 4 muestras

Muestra	Dosificación de fibra (kg/m³)	Resistencia a la compresión (MPa)
1	150	187
2	150	198
3	150	219
4	150	222

Fuente: Elaboración propia.

De la anterior tabla se observa que los valores de resistencia a la compresión de todas las muestras guardan relación, por lo que todas serán consideradas en el siguiente análisis (ver Figura N°19 y Figura N°20)

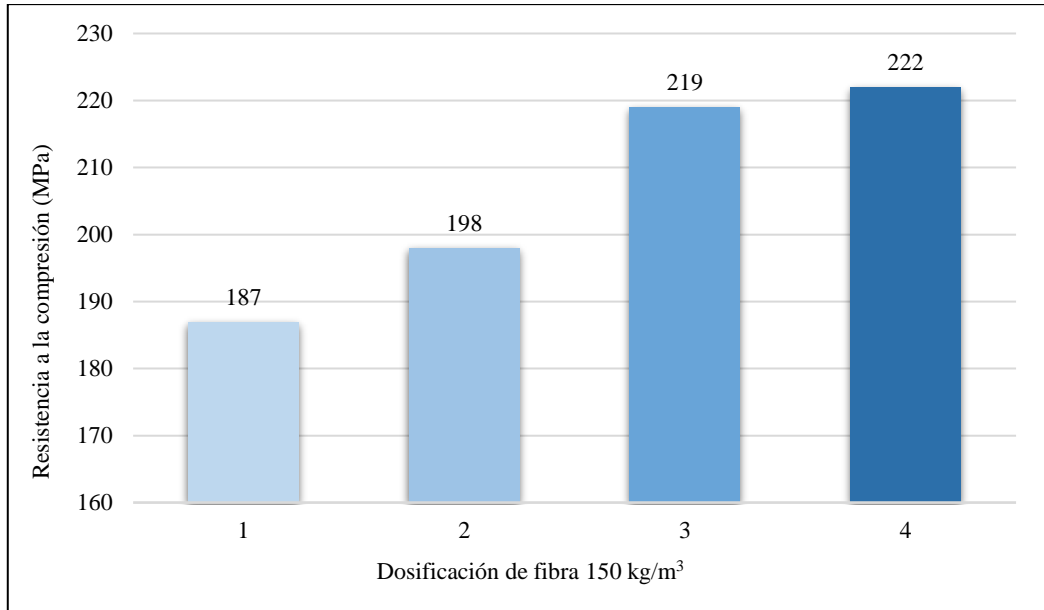


Figura N° 19: Resistencia a la compresión (MPa) vs Dosificación de fibra de 150 kg/m³ de 4 muestras
 Fuente: Elaboración propia.

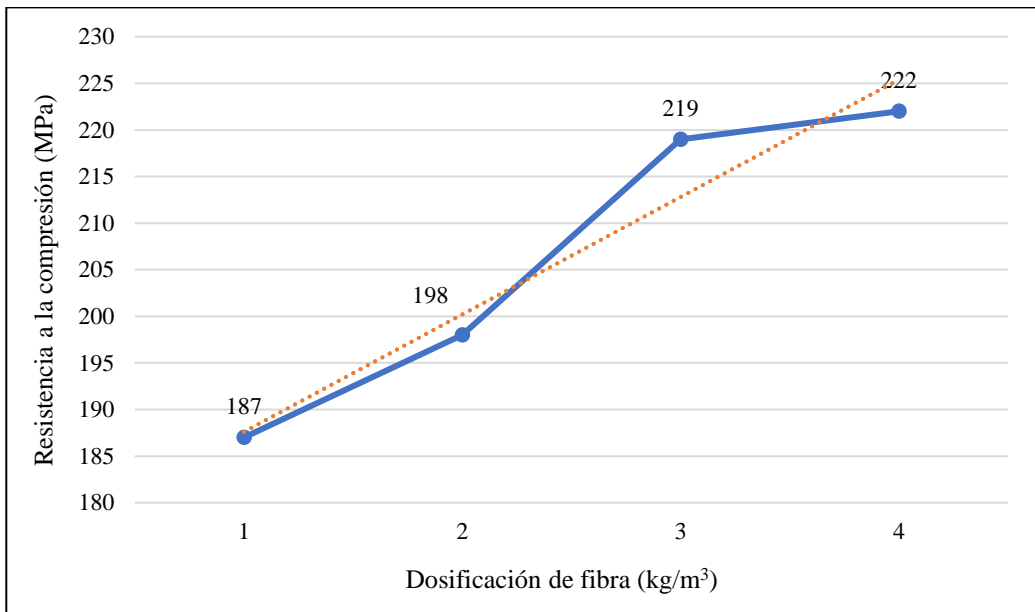


Figura N° 20: Variación de la Resistencia a la compresión (MPa) con dosificación de fibra de 150 kg/m³ en las 4 muestras.
 Fuente: Elaboración propia.

Autor 1: Cespedes, B. (2021)

Este autor realizó el análisis de casos reales de puentes que emplearon UHPFRC, donde pudo observar las siguientes características:

- Tipo de cemento: Se emplearon tipos de cemento tales como cemento Portland y ASTM Tipo 2.
- Contenido de mezcla: Se realizaron mezclas con cemento, humo de sílice, cuarzo molido, área, fibras metálicas, superplastificantes y agua. Además, emplearon una relación agua/cemento de 0.22.
- Método de ensayos: Para las pruebas de las mezclas obtenidas, realizaron ensayos de resistencia a la compresión, ensayos de resistencia a la flexión, ensayos de resistencia a la tracción.
- Ventajas obtenidas: Se obtuvo alta ductilidad, elevada resistencia a los ciclos de congelación-descongelación, alta resistencia a la abrasión, reducción de microgrietas, mejor microestructura de la mezcla, mejor asentamiento, baja permeabilidad y alta densidad de empaquetamiento de partículas. En la siguiente Tabla N°7 se detallan los resultados obtenidos.

Tabla N° 7: Valores de Resistencia a la compresión de 3 muestras

Caso	Dosificación de fibra (kg/m³)	Resistencia a la compresión (MPa)
1	150	135
2	157	150
3	190	200

Fuente: Elaboración propia.

De la anterior tabla se observa que el caso con el valor menor al de resistencia a la compresión mínima para este tipo de hormigones es el 1 por lo que no será considerado en el siguiente análisis (ver Figura N°21)

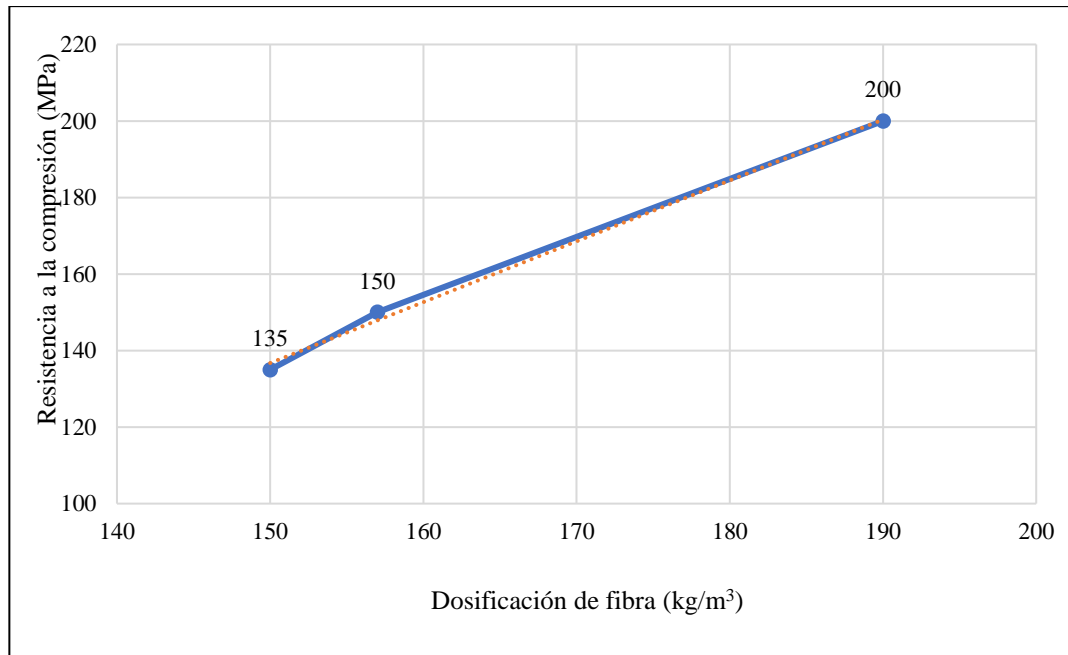


Figura N° 21: Variación de la Resistencia a la compresión (MPa) vs Dosificación de fibras (kg/m³) en las 3 muestras.

Fuente: Elaboración propia.

Autor 12: Fiengo, F., Sfer, D., Isla, F. y Gutierrez, S. (2016).

- Tipo de cemento: Emplearon cemento de alta resistencia inicial (CPN 50).
- Características de las fibras de acero: Emplearon fibras de acero de 0.2 mm de diámetro nominal, 13 mm de longitud, módulo de Young de 210 GPa y resistencia mínima a tracción de 2600 MPa.
- Contenido de mezcla: Realizaron la mezcla con CPN 50, microsílíce, polvo de cuarzo, aditivo superplastificante a base de policarboxilatos, agua y fibras de acero.
- Método de ensayos: Las fibras de acero son incluidas una vez se tenga la mezcla con consistencia fluida. Se realizaron los ensayos usando probetas cilíndricas de 7 cm de diámetro y 14 cm de altura, prismáticos de 4x4x16 cm y vigas de 5x10x40 cm. Realizaron ensayos de compresión uniaxial y ensayos de resistencia a la tracción por flexión.

En la siguiente Tabla N°8 se detallan los resultados obtenidos a los 28 días, pudiendo observar que se tienen los mismos resultados para los 3 ensayos de resistencia a la compresión.

Tabla N° 8: Valores de Resistencia a la compresión (MPa) de 3 muestras

Probetas	Porcentaje de fibra (%)	Resistencia a la compresión (MPa)
Cilíndrica	2	161
Prismas	2	161
Vigas	2	161

Fuente: Elaboración propia.

Objetivo b: Determinar el porcentaje de fibras de acero para incrementar la resistencia a la tracción del hormigón de ultra alta resistencia.

Autor 4: Zerbino, R., Giaccio, G. y Torrijos M. (2016).

El tipo de cemento, características de las fibras de acero, contenido de mezcla y método de ensayo usados por estos autores fueron expuestos en el objetivo a.

Realizaron ensayos de resistencia a la tracción, con 2 diferentes cantidades de dosificación de fibra (ver Tabla N°9)

Tabla N° 9: Valor de Resistencia a la tracción (MPa) en 2 muestras

Muestra	Dosificación de fibra (kg/m³)	Resistencia a la tracción (MPa)
1	50	18
2	125	29

Fuente: Elaboración propia.

De la anterior tabla se realiza el siguiente análisis (ver Figura N° 22)

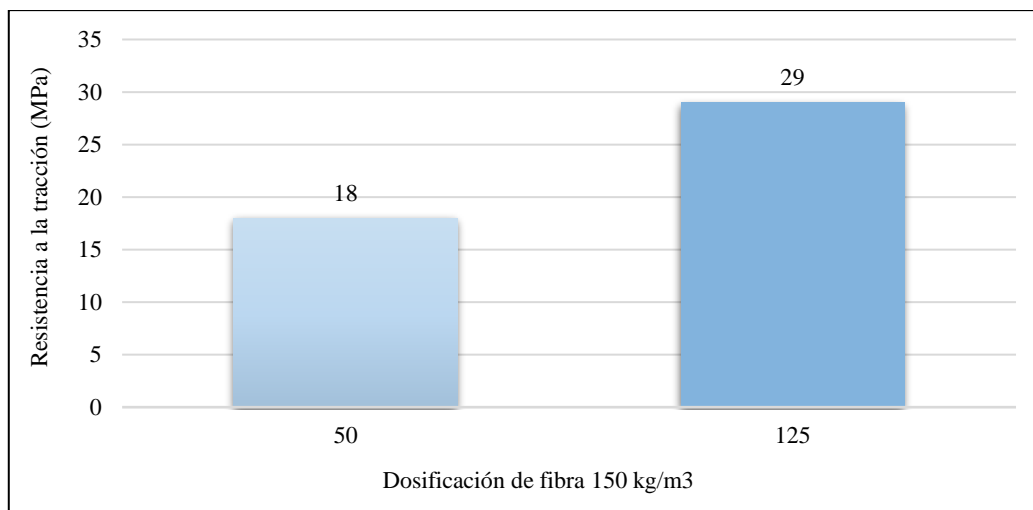


Figura N° 22: Resistencia a la tracción (MPa) vs Dosificación de fibra de 150 kg/m³ de 2 muestras.

Fuente: Elaboración propia.

Autor 1: Céspedes, B. (2021)

El contenido de mezcla, método de ensayo y ventajas obtenidas del estudio realizado por este autor, fueron expuestos en el objetivo a.

De los casos estudiados se tuvo el resultado de resistencia a la tracción de uno de ellos, obteniendo el siguiente valor (ver Tabla N°10)

Tabla N° 10: Valor de Resistencia a la tracción (MPa) en caso 1

Caso	Dosificación de fibra (kg/m ³)	Resistencia a la tracción (MPa)
1	150	25

Fuente: Elaboración propia.

Autor 12: Fiengo, F., Sfer, D., Isla, F. y Gutierrez, S. (2016).

El tipo de cemento, características de las fibras de acero, contenido de mezcla y método de ensayo usados por estos autores fueron expuestos en el objetivo a.

En la siguiente Tabla N°11 se detallan los resultados obtenidos a los 28 días para los 2 ensayos de resistencia a la tracción.

Tabla N° 11: Valores de Resistencia a la tracción (MPa) con 2% de fibra.

Probetas	Porcentaje de fibra (%)	Resistencia a la tracción (MPa)
Prismas	2	36
Vigas	2	24

Fuente: Elaboración propia.

Autor 27: Valentim, D., Aaleti, S. y Kreger, M. (2022).

- Contenido de mezcla: Realizaron la mezcla de hormigón premezclado, agua, aditivo HRWRA y fibras de acero.
- Método de ensayos: Para realizar los ensayos de tracción se usaron 3 diferentes probetas y pruebas. Uno fue denominado DT con 43.2 cm de longitud, 5.1 cm de ancho y 5.1 cm de espesor, otro fue el DEWS con una geometría asimétrica, y el 4PB de longitud 35.6 cm, 7.6 cm de ancho y 7.6 cm de alto.

Se siguió las normas ASTM C1609 y ASTM C1856. Además, estos ensayos se realizaron con mezclas que contenían 0%, 1% (78 kg/m³) y 2% (156 kg/m³) de fibra de acero.

En la siguiente Tabla N°12 se detallan los resultados obtenidos, de los 12 ensayos con la probeta DT, 20 ensayos con la probeta DEWS considerando los que emplearon porcentaje de fibra de acero y 12 ensayos con la probeta 4PB.

Tabla N° 12: Valores de Resistencia a la tracción (MPa) de 46 muestras.

Probeta	Muestra	Dosificación de fibra (kg/m³)	Resistencia a la tracción (MPa)
DT	1	78	7
DT	2	156	11
DT	3	78	7
DT	4	156	10
DT	5	78	7
DT	6	156	11
DT	7	78	7

DT	8	156	11
DT	9	78	8
DT	10	156	12
DT	11	78	7
DT	12	156	12
DEWS	13	78	5
DEWS	14	156	8
DEWS	15	78	10
DEWS	16	156	7
DEWS	17	78	8
DEWS	18	156	10
DEWS	19	78	10
DEWS	20	156	8
DEWS	21	78	6
DEWS	22	156	8
DEWS	23	78	6
DEWS	24	156	10
DEWS	25	156	8
DEWS	26	156	9
DEWS	27	156	8
DEWS	28	156	9
DEWS	29	156	8
DEWS	30	156	8
DEWS	31	156	9
DEWS	32	156	6
4PB	33	78	9
4PB	34	156	10
4PB	35	78	10
4PB	36	156	9
4PB	37	78	9
4PB	38	156	9
4PB	39	78	8
4PB	40	156	7

4PB	41	78	7
4PB	42	156	9
4PB	43	78	9
4PB	44	156	10
4PB	45	156	10
4PB	46	156	8

Fuente: Elaboración propia.

De la anterior tabla se observa que las muestras 1, 3, 5, 7, 11, 13, 16, 21, 23, 32, 40 y 41 presentan valores menores al de resistencia a la tracción mínima para este tipo de hormigones, por lo que no serán considerados en el siguiente análisis (ver Figura N°23, Figura N°24 y Figura N°25)

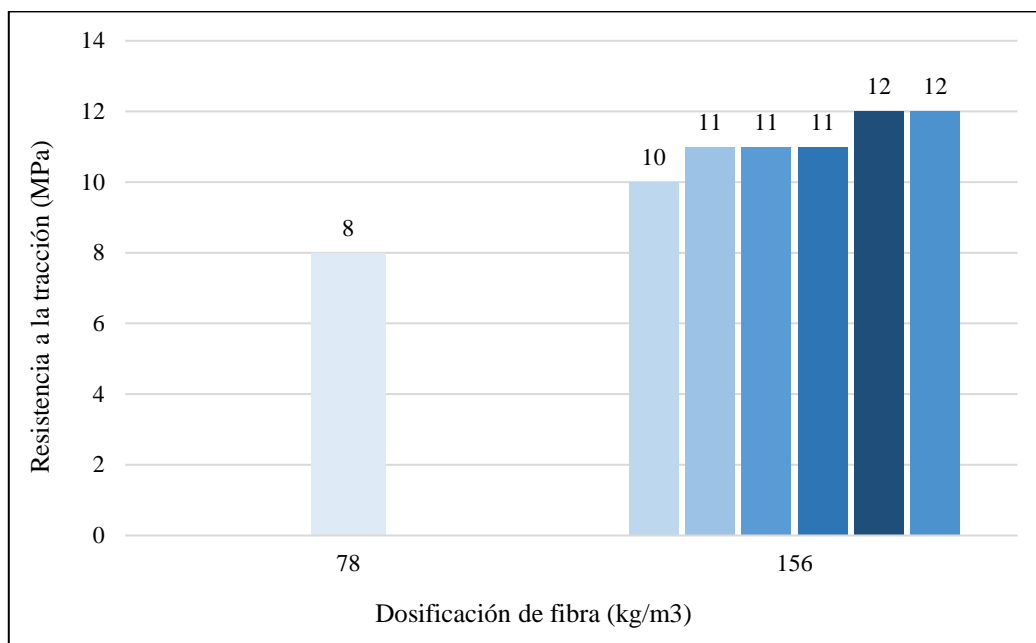


Figura N° 23: Resultados de resistencia a la tracción (MPa) para probetas DT.
Fuente: Elaboración propia.

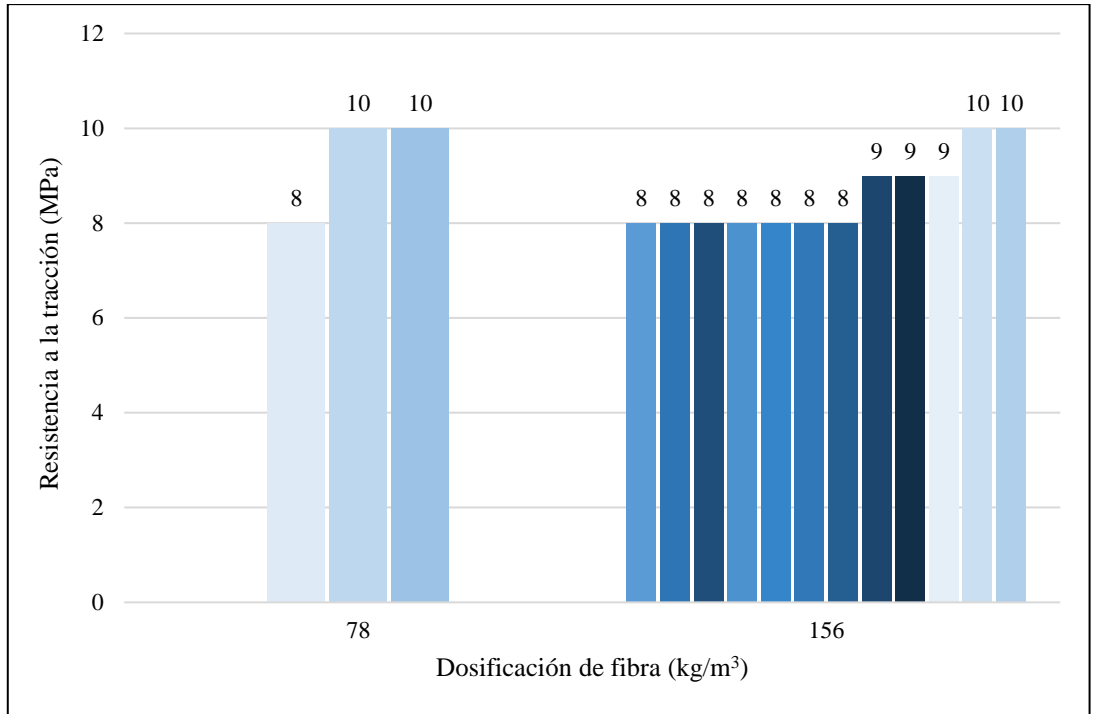


Figura N° 24: Resultados de resistencia a la tracción (MPa) para probetas DEWS.
Fuente: Elaboración propia.

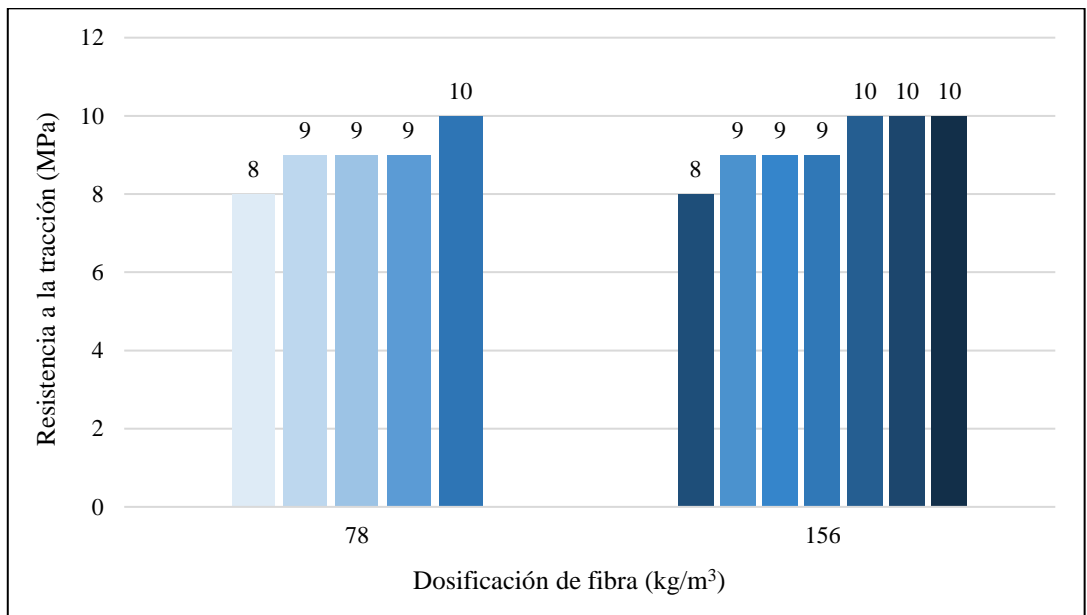


Figura N° 25: Resultados de resistencia a la tracción (MPa) para probetas 4PB.
Fuente: Elaboración propia.

Objetivo c: Determinar el porcentaje de fibras de acero para incrementar la resistencia a la flexión del hormigón de ultra alta resistencia.

Autor 4: Zerbino, R., Giaccio, G. y Torrijos M. (2016).

El tipo de cemento, características de las fibras de acero, contenido de mezcla y método de ensayo usados por estos autores fueron expuestos en el objetivo a.

En la siguiente Tabla N°13 se detallan los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia a la flexión.

Tabla N° 13: Valores de Resistencia a la flexión (MPa) de 4 muestras

Muestra	Dosificación de fibra (kg/m³)	Resistencia a la flexión (MPa)
1	150	34
2	150	37
3	150	39
4	150	39

Fuente: Elaboración propia.

De la anterior tabla se observa que los valores de resistencia a la flexión de todas las muestras guardan relación y cumplen con el mínimo permitido, por lo que todas serán consideradas en el siguiente análisis (ver Figura N°26)

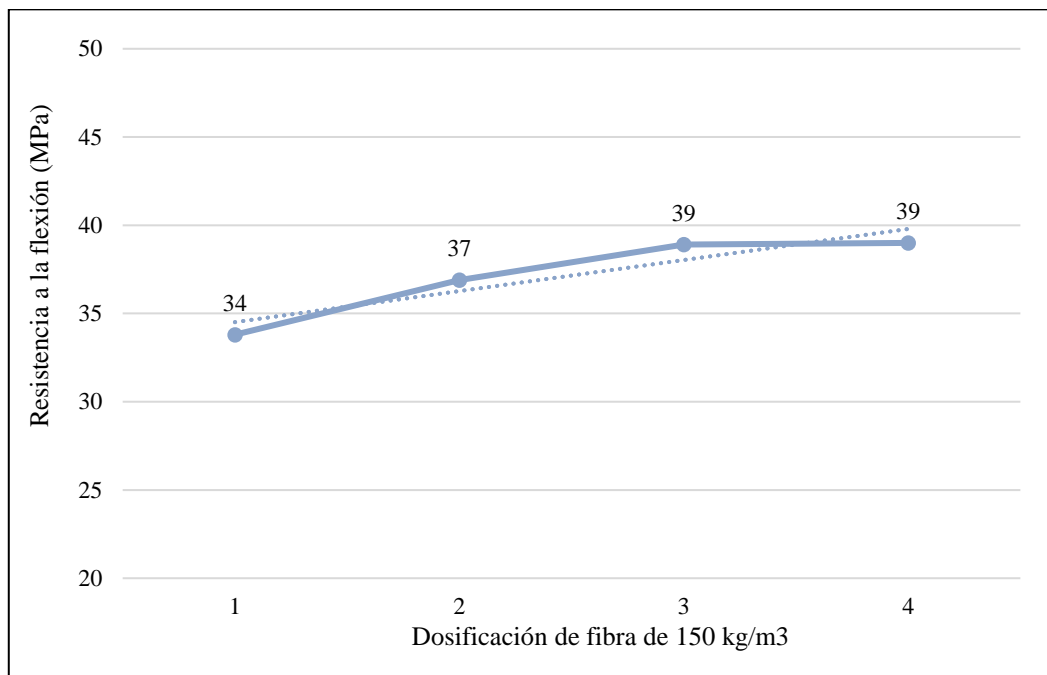


Figura N° 26: Variación de la Resistencia a la flexión (MPa) con dosificación de fibra de 150 kg/m³ en las 4 muestras.

Fuente: Elaboración propia.

Autor 1: Céspedes, B. (2021)

El contenido de mezcla, método de ensayo y ventajas obtenidas del estudio realizado por este autor, fueron expuestos en el objetivo a.

En la siguiente Tabla N°14 se detalla el resultado obtenido de resistencia a la flexión en un caso estudiado.

Tabla N° 14: Valor de Resistencia a la flexión (MPa) de 1 caso

Muestra	Dosificación de fibra (kg/m ³)	Resistencia a la flexión (MPa)
1	190	35

Fuente: Elaboración propia.

Autor 12: Fiengo, F., Sfer, D., Isla, F. y Gutierrez, S. (2016).

El tipo de cemento, características de las fibras de acero, contenido de mezcla y método de ensayo usados por estos autores fueron expuestos en el objetivo a.

En la siguiente Tabla N°15 se detalla el resultado obtenido de resistencia a la flexión en una muestra obtenida.

Tabla N° 15: Valor de Resistencia a la flexión (MPa) de muestra 1

Muestra	Porcentaje de fibra (%)	Resistencia a la flexión (MPa)
1	2	35

Fuente: Elaboración propia.

Autor 6: Muñoz (2018)

El tipo de cemento, características de las fibras de acero, contenido de mezcla y método de ensayo usado por este autor fueron expuestos en el objetivo a.

En la siguiente Tabla N°16 se detalla el resultado obtenido de resistencia a la flexión en una muestra obtenida.

Tabla N° 16: Valor de Resistencia a la flexión (MPa) de muestra 6

Muestra	Dosificación de fibra (kg/m³)	Resistencia a la flexión (MPa)
1	98	15

Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo, el resultado mostrado en la anterior tabla no cumple con el valor mínimo requerido para resistencia a la flexión, por lo que no será considerado dentro del análisis.

Autor 13: Yoo Doo Yeol Kim, Sung Wook & Park Jung Jun (2017)

- Tipo de cemento: Empleó cemento Portland Tipo 1
- Características de las fibras de acero: Se emplearon fibras de 3 dimensiones, denominadas largas (L), medianas (M) y cortas (S), en la Tabla N°17 se detallan sus características.

Tabla N° 17: Características de fibras metálicas utilizadas.

Descripción	Longitud (mm)	Diámetro (mm)	Resistencia a la tracción (MPa)	Densidad (g/cm³)
Cortas (S)	13	0.2	2788	7.9
Medianas (M)	19.5	0.2	2500	7.9
Largas (L)	30	0.3	2580	7.9

Fuente: Elaboración propia.

- Contenido de mezcla: Realizó una mezcla de cemento portland tipo I, agua, un superplastificante, fibras de acero, humo de sílice, arena de sílice y harina de sílice. Además, empleó una relación agua/material cementante de 0.20
- Método de ensayos: Se utilizaron 51 especímenes cilíndricos de UHPC (3 para cada variable) con un diámetro de 100mm y una altura de 200mm, para estimar los efectos de la longitud de la fibra y la hibridación en la resistencia a la compresión, además se utilizaron 51 especímenes prismáticos de UHPC (3 o 4 para cada variable) se utilizaron para el ensayo de flexión en cuatro puntos según la norma ASTM C1609, el tamaño de los prismas utilizados fue de 100x100x400m³.

En la siguiente Tabla N°18 se detallan los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia a la flexión.

Tabla N° 18: Valores de Resistencia a la flexión (MPa) de 7 muestras

Muestra	Dosificación de fibra (%)			Resistencia a la flexión (MPa)
	Fl	Fm	Fc	
1	2	0	0	42
2	1.5	0	0.5	42
3	1	0	1	41
4	0.5	0	1.5	37
5	1.5	0.5	0	43
6	1	1	0	46
7	0.5	1.5	0	48

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Fibra larga (Fl), fibra mediana (Fm) y Fibra corta (Fc)

De la anterior tabla se observa que los valores de resistencia a la flexión de todas las muestras cumplen con el mínimo permitido, por lo que todas serán consideradas en el siguiente análisis (ver Figura N° 27 y Figura N° 28)

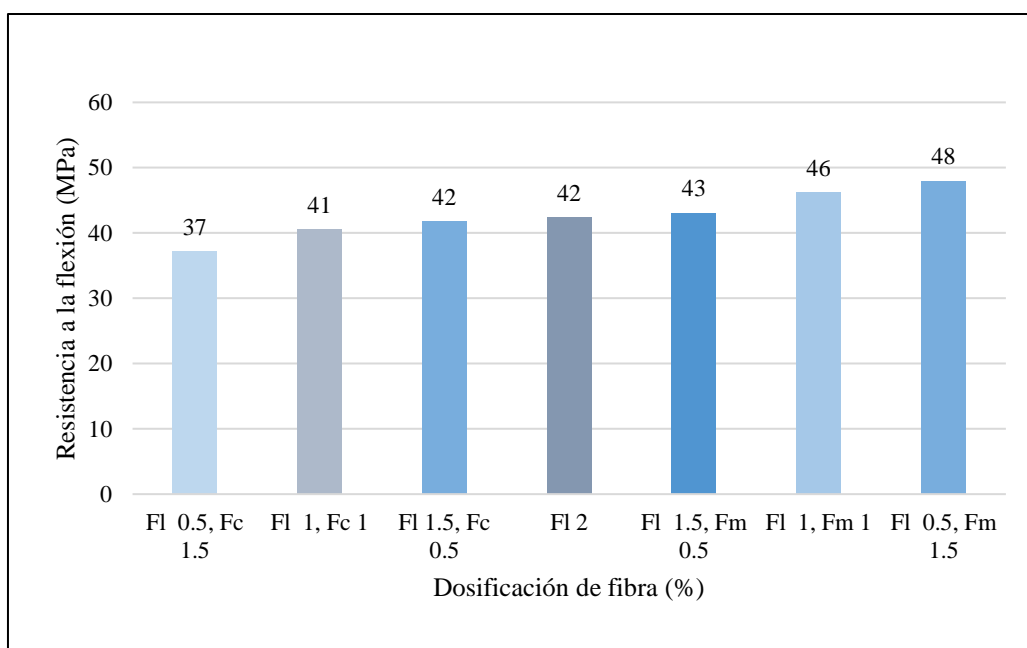


Figura N° 27: Resistencia a la flexión (MPa) vs Dosificación de fibra en porcentaje de 7 muestras.

Fuente: Elaboración propia.

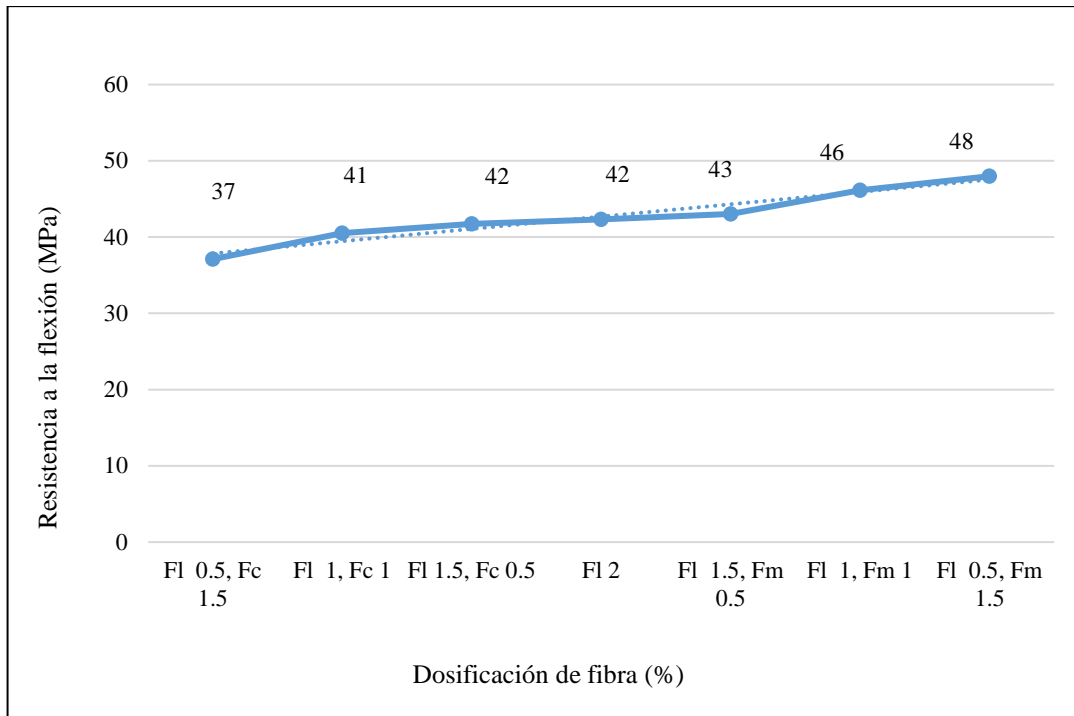


Figura N° 28: Variación de la Resistencia a la flexión (MPa) con dosificación de fibra en las 7 muestras.

Fuente: Elaboración propia.

Objetivo d: Determinar el porcentaje de aditivos a base de policarboxilato para incrementar la trabajabilidad del hormigón de ultra alta resistencia.

Autor 2: Christ et al. (2019)

Las características de las fibras de acero, el contenido de mezcla y método de ensayo del estudio realizado por estos autores, fueron expuestos en el objetivo a.

- Característica de aditivo: Superplastificante en base a policarboxilato, con densidad de 1.12 g/cm^3 .
- Método de ensayo de asentamiento: Se empleó la norma ASTM C1437, midiendo el asentamiento horizontal luego de ser moldeado en forma de cono y ser sometidos a impactos continuos.

En la siguiente Tabla N° 19 se detalla los resultados de asentamiento obtenidos.

Tabla N° 19: Valores de asentamiento de 6 muestras.

Muestra	Dosificación de aditivo (%)	Dosificación de fibra (kg/m ³)	Asentamiento (mm)
1	3	117.75	216
2	3	141.3	219
3	3	164.85	218
4	3	188.4	220
5	3	211.95	221
6	3	235.5	240

Fuente: Elaboración propia.

De la anterior tabla se realiza el análisis con los resultados obtenidos (ver Figura N°29)

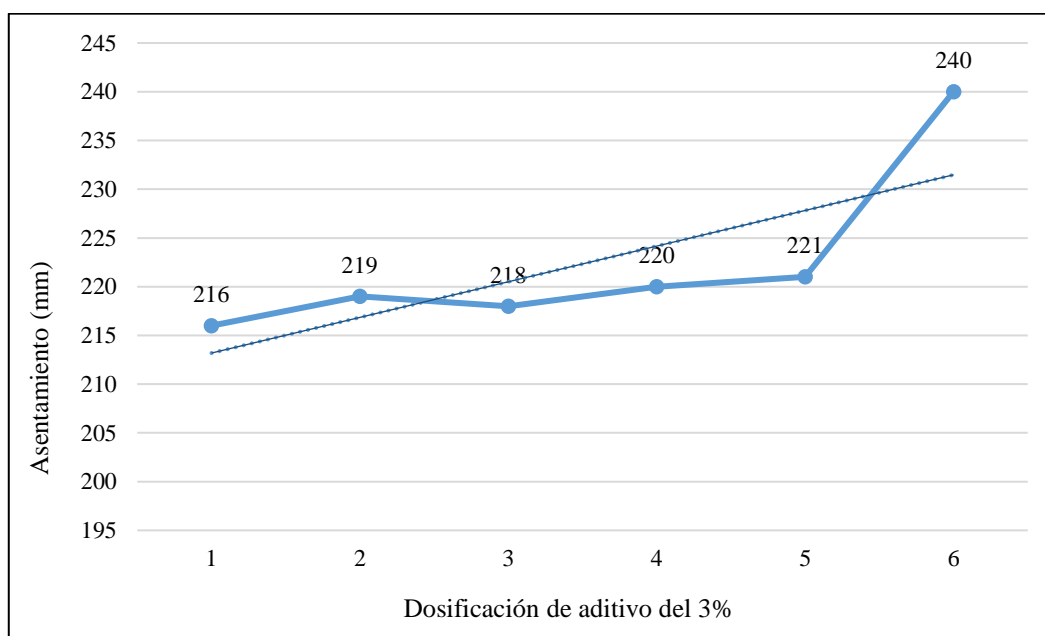


Figura N° 29: Variación del asentamiento (mm) con dosificación de aditivo del 3% en 6 muestras.

Fuente: Elaboración propia.

Autor 4: Zerbino, R., Giaccio, G. y Torrijos M. (2016).

El tipo de cemento, características de las fibras de acero, contenido de mezcla y método de ensayo usados por estos autores fueron expuestos en el objetivo a.

- Característica de aditivo: Superplastificante a base de policarboxilato.

En la siguiente Tabla N°20 se detalla los resultados de asentamiento obtenidos.

Tabla N° 20: Valores de asentamiento de 4 muestras

Muestra	Dosificación de aditivo (kg/m ³)	Dosificación de fibra (kg/m ³)	Asentamiento (mm)
1	74	150	195
2	62	150	217
3	62	150	200
4	62	150	245

Fuente: Elaboración propia.

De la anterior tabla se realiza el análisis con los resultados obtenidos (ver Figura N°30)

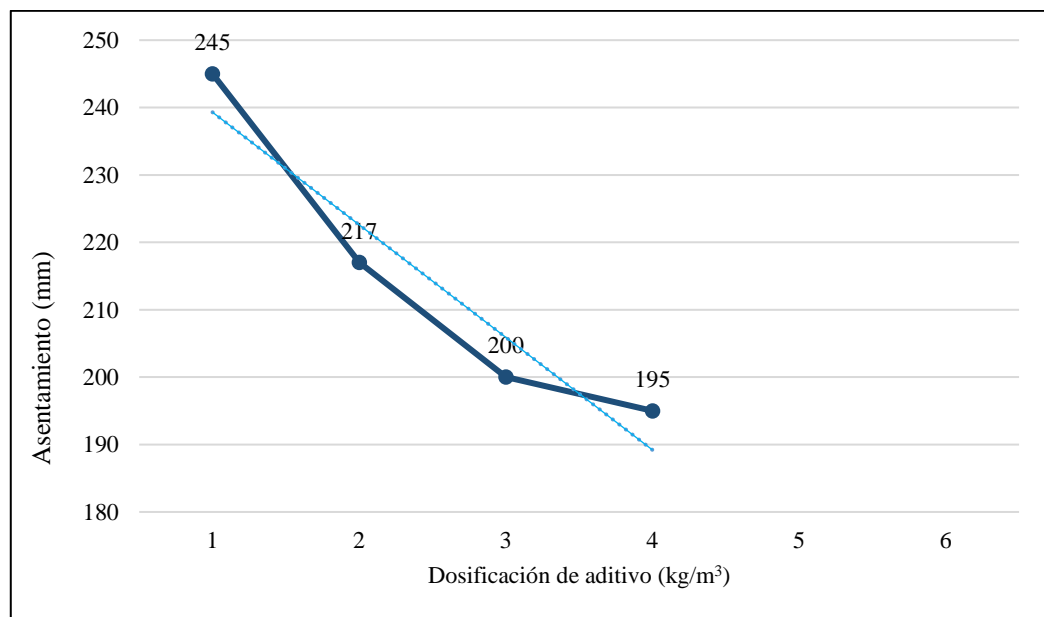


Figura N° 30: Variación del asentamiento (mm) con dosificación de aditivo de 62 y 74 kg/m³ en 4 muestras.

Fuente: Elaboración propia.

Autor 12: Fiengo, F., Sfer, D., Isla, F. y Gutierrez, S. (2016).

El tipo de cemento, características de las fibras de acero, contenido de mezcla y método de ensayo usados por estos autores fueron expuestos en el objetivo a.

- Característica de aditivo: Superplastificante a base de policarboxilato.
- Método de ensayo de asentamiento: Emplearon el ensayo de mini slump con un cono de diámetro superior 7 cm, diámetro inferior 10 cm y altura 6 cm.

En la siguiente Tabla N°21 se detalla el resultado de asentamiento obtenido.

Tabla N° 21: Valor de asentamiento de 1 muestra

Muestra	Dosificación de aditivo (kg/m³)	Dosificación de fibra (%)	Asentamiento (mm)
1	53.4	2	240

Fuente: Elaboración propia.

Autor 17: Abellán, J., Torres, N., Nuñez, A. y Fernández, J. (2018)

- Contenido de la mezcla: Realizaron una mezcla con cemento, humo de sílice, material cementante suplementario (MSC), arena natural, aditivo y agua. Con relaciones de agua conglomerante de 0.14, 0.16 y 0.18.
- Método de ensayo: Se realizaron ensayos con 2 cubos de 50 mm de lado para determinar su resistencia a la compresión a las 24 horas y 7, 14 y 28 días. Se realizaron 18 muestras, con variación en el contenido del aditivo y las relaciones agua conglomerante.
- Método de ensayo de asentamiento: Las propiedades reológicas de la mezcla fresca se evaluaron al finalizar el mezclado de esta, siguiendo la norma ASTM C230 sin aplicar golpes.
- Característica de aditivo: Superplastificante a base de éter de policarboxilato.

En la siguiente Tabla N°22 se detalla los resultados de asentamiento obtenidos.

Tabla N° 22: Valores de asentamiento de 18 muestras

Muestra	Dosificación de aditivo (kg/m³)	Asentamiento (mm)
1	1	198
2	1	187
3	1	100
4	1.8	172
5	1.4	212
6	1.8	184
7	1.8	232
8	1.8	259
9	1	100
10	1.4	167
11	1.4	245
12	1.4	185
13	1.4	172
14	1.8	303
15	1.8	301
16	1.4	285
17	1.4	201
18	1.4	218

Fuente: Elaboración propia.

De la anterior tabla se realiza el análisis con los resultados obtenidos (ver Figura N°31)

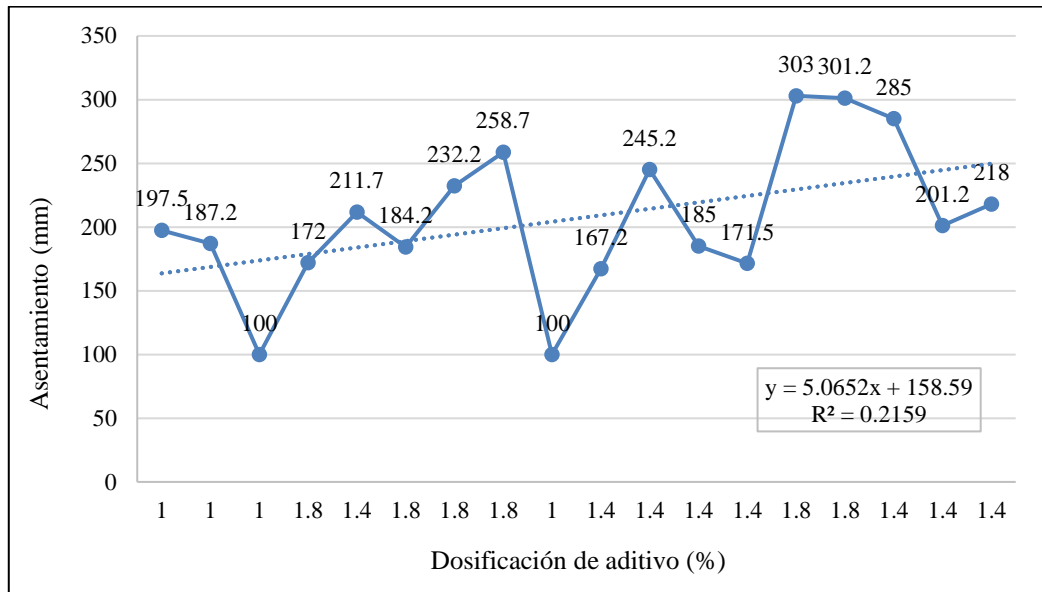


Figura N° 31: Variación del asentamiento (mm) vs. Dosificación de aditivo (%) de 18 muestras.

Fuente: Elaboración propia.

Autor 18: Narrea, J. y Roncal, D. (2020)

Estos autores efectuaron una investigación de diversos estudios realizados empleando aditivos superplastificantes en hormigones de alta resistencia. A continuación, se detallarán los resultados de estudios donde se emplearon aditivos superplastificantes a base de policarboxilato.

- Contenido de la mezcla: Cemento Portland Tipo 1, copolímeros y relación a/c de 0.28.
- Característica de aditivo: Copolímero de policarboxilato.
- Método de ensayo de asentamiento: Se emplearon las normas ASTM C1437-07 y ASTM C 230/ C 230M.

En la siguiente Tabla N°23 se detalla los resultados de asentamiento obtenidos con las características mencionadas.

Tabla N° 23: Valores de asentamiento de 8 muestras.

Muestra	Dosificación de aditivo (kg/m ³)	Asentamiento (mm)
1	0	158
2	0.03	156
3	0.05	163
4	0.08	160
5	0.1	158
6	0.15	159
7	0.2	165
8	0.25	164

Fuente: Elaboración propia.

De la anterior tabla se realiza el análisis con los resultados obtenidos (ver Figura N°32)

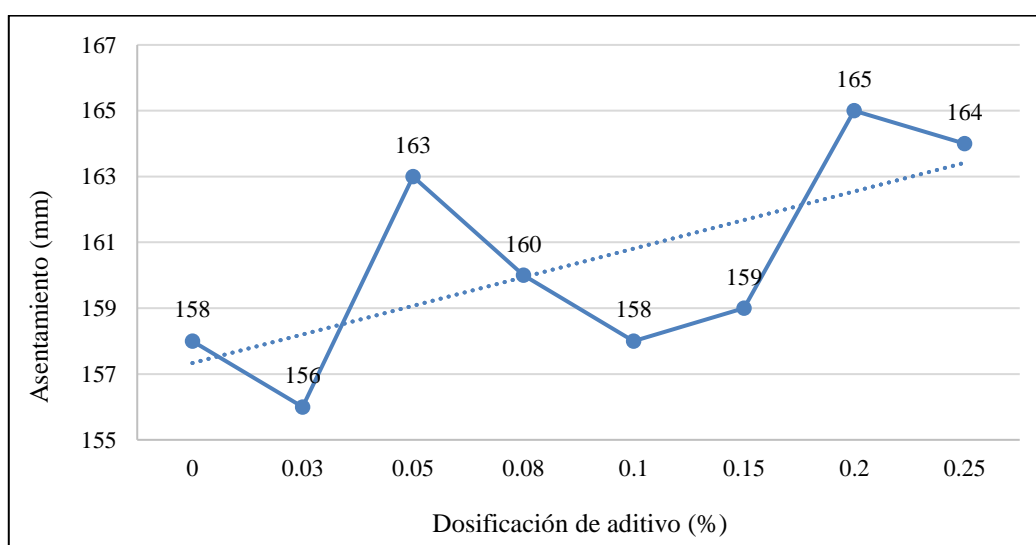


Figura N° 32: Variación del asentamiento (mm) vs. Dosificación de aditivo (%) de 8 muestras.

Fuente: Elaboración propia.

- Contenido de la mezcla: Cemento Portland, aditivo superplastificante y relación a/c de 0.29.
- Característica de aditivo: Superplastificante de policarboxilato hiperramificados mediante el método de polimerización redox in situ.
- Método de ensayo de asentamiento: Se empleó el mini cono de asentamiento de dimensiones 60 mm de alto, 36 mm de diámetro superior y 60 mm de diámetro inferior.

En la siguiente Tabla N°24 se detalla los resultados de asentamiento obtenidos.

Tabla N° 24: Valores de asentamiento de 12 muestras

Muestra	Dosificación de aditivo (%)	Asentamiento (mm)
1	0.15	258
2	0.15	235
3	0.15	188
4	0.16	253
5	0.16	245
6	0.16	217
7	0.18	252
8	0.18	252
9	0.18	237
10	0.12	255
11	0.12	222
12	0.12	271

Fuente: Elaboración propia.

De la anterior tabla se realiza el análisis con los resultados obtenidos (ver Figura N°33)

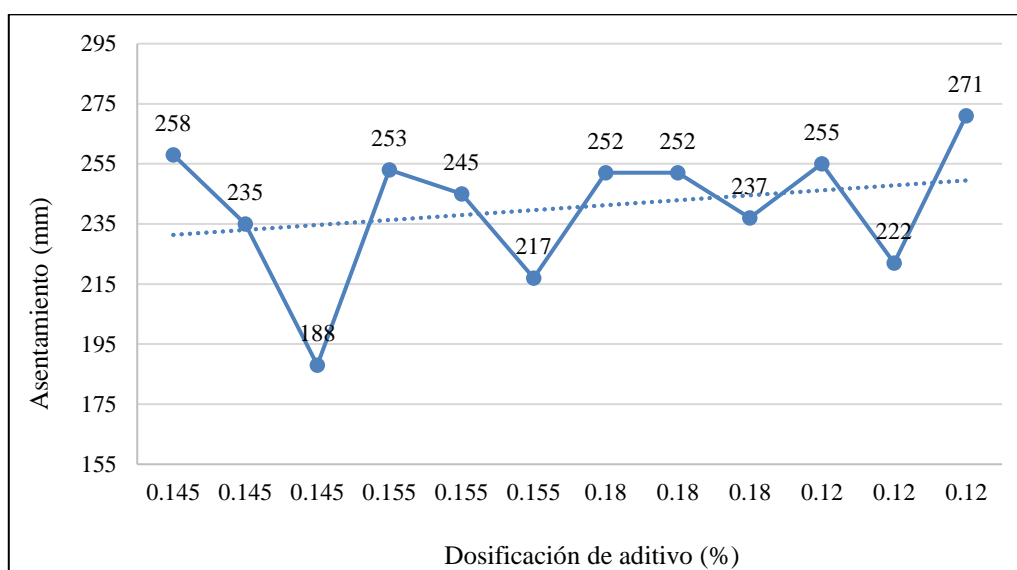


Figura N° 33: Variación del asentamiento (mm) vs. Dosificación de aditivo (%) de 12 muestras.

Fuente: Elaboración propia.

- Contenido de la mezcla: Cemento Portland, agregado fino, agregado grueso, aditivo superplastificante, cenizas volantes y escoria de alto horno.
- Característica de aditivo: Superplastificante basado en copolímero de policarboxílico.
- Método de ensayo de asentamiento: Se empleó el mini cono de asentamiento de dimensiones 60 mm de alto, 36 mm de diámetro superior y 60 mm de diámetro inferior. En la siguiente Tabla N°25 se detalla los resultados de asentamiento obtenidos.

Tabla N° 25: Valores de asentamiento de 3 muestras

Muestra	Dosificación de aditivo (kg/m ³)	Asentamiento (mm)
1	6.12	190
2	5.48	200
3	4.93	205

Fuente: Elaboración propia.

De la anterior tabla se realiza el análisis con los resultados obtenidos (ver Figura N°34)

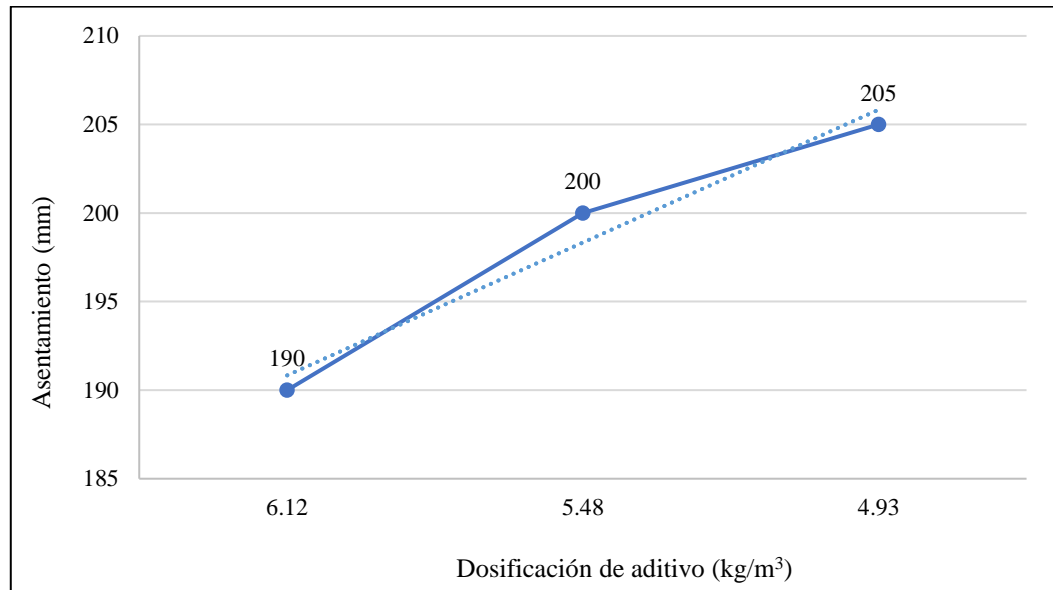


Figura N° 34: Variación del asentamiento (mm) vs. Dosificación de aditivo (kg/m³) de 3 muestras.

Fuente: Elaboración propia.

Objetivo e: Determinar el porcentaje de fibras de acero para reducir la contracción del hormigón de ultra alta resistencia.

Autor 7: Saavedra, D. (2020)

- Tipo de cemento: Cemento ASTM Tipo HE o también conocido como cemento estructural.
- Características de las fibras de acero: Empleó las fibras OL 13/0.2 con 13 mm de longitud y 0.12 mm de diámetro, resistencia a la tensión de 1.9 GPa y módulo de elasticidad de 203 GPa, marca Dramix.
- Contenido de mezcla: Realizó una mezcla de cemento estructural, humo de sílice, carbonato cálcico pulverizado (MLP), polvo de vidrio, arena de sílice, fibras metálicas, aditivo superplastificante (HRWR) y agua. Emplearon relaciones agua/material cementante de 0.218, 0.18 y 0.173.
- Método de ensayos: Se empleó la norma ASTM C596-18 con prismas de hormigón de 5x5x30 cm con cilindros metálicos en ambos extremos, se realizaron 12 especímenes con diferente dosificación.

Tras realizar los ensayos se obtuvieron los siguientes resultados (ver Tabla N° 26)

Tabla N° 26: Valores de contracción por secado unitario a los 5, 15 y 20 días.

Muestra	Dosificación de fibra (%)	Tiempo (días)	Contracción por secado unitario (mm/mm)
1	2	5	370
1	2	15	506
1	2	20	557
2	2	5	224
2	2	15	459
2	2	20	490
3	2	5	258
3	2	15	478
3	2	20	542

Fuente: Elaboración propia.

Autor 24: Wang, J. y Kim, Y. (2018)

- Tipo de cemento: Cemento Tipo III, de alta resistencia temprana.
- Características de las fibras de acero: Emplearon fibras de acero de longitud 13 mm, diámetro de 0.2 mm, gravedad específica 7.85 y resistencia a la tracción de 2160 MPa.
- Contenido de mezcla: Realizaron una mezcla de cemento, arena de sílice, humo de sílice, el aditivo HRWR, agua y fibras de acero. Además, emplearon una relación a/c de 0.22.
- Método de ensayos: Emplearon 3 probetas prismáticas de dimensiones 75 x 100 x 800 mm para evaluar la contracción, las cuales se desmoldaron a las 24 horas. Se empleó la norma ASTM C157 y se realizó el ensayo durante 28 días. Tras realizar los ensayos se obtuvieron los siguientes resultados (ver Tabla N°27)

Tabla N° 27: Valores de contracción por secado unitario (mm/mm) en muestra a los 7, 14 y 28 días

Muestra	Dosificación de fibra (kg/m ³)	Tiempo (días)	Contracción por secado unitario x 10 ⁻⁶ (mm/mm)
1	180	7	360
1	180	14	470
1	180	28	555

Fuente: Elaboración propia.

De la anterior tabla se realiza la siguiente representación (ver Figura N°35)

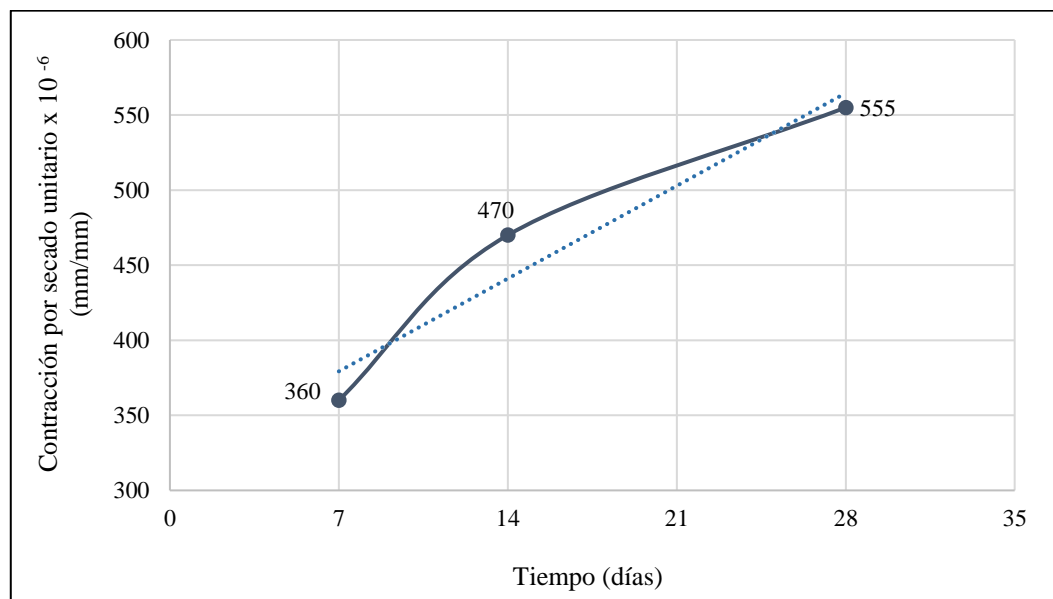


Figura N° 35: Variación de contracción por secado unitario (mm/mm) vs. Tiempo (días) con dosificación de fibra de acero de 180 kg/m³

Fuente: Elaboración propia

Autor 25: Chen et al. (2022)

Características de las fibras de acero: Emplearon fibras de acero de longitud 32 mm, diámetro de 2000 μm, densidad efectiva de 7.65 /g.cm⁻³, resistencia a la tracción mayor a 1100 MPa y módulo de elasticidad entre 200 – 210 GPa.

- Contenido de mezcla: Realizaron una mezcla de cemento, ceniza volante, sílice, agregado grueso, arena y fibras de acero. Además, emplearon una relación a/c de 0.20.

- Método de ensayos: Se emplearon probetas de 100 x 100 x 515 mm para realizar ensayos de contracción, se dejó el curado por 24 horas y se realizó ensayos a distintas edades, de acuerdo al GB/T 50082-2009.

Tras realizar los ensayos se obtuvieron los siguientes resultados (ver Tabla N°28)

Tabla N° 28: Valores de contracción por secado unitario (mm/mm) en 3 muestras a 3, 7, 28 y 56 días

Muestra	Dosificación de fibra (%)	Tiempo (días)	Contracción por secado unitario x 10⁻⁶ (mm/mm)
1	1	3	175
1	1	7	210
1	1	28	319
1	1	56	337
2	2	3	84
2	2	7	139
2	2	28	218
2	2	56	271
3	3	3	78
3	3	7	118
3	3	28	199
3	3	56	277

Fuente: Elaboración propia.

De la anterior tabla se realizan las siguientes representaciones (ver Figura N°36 y Figura N°37)

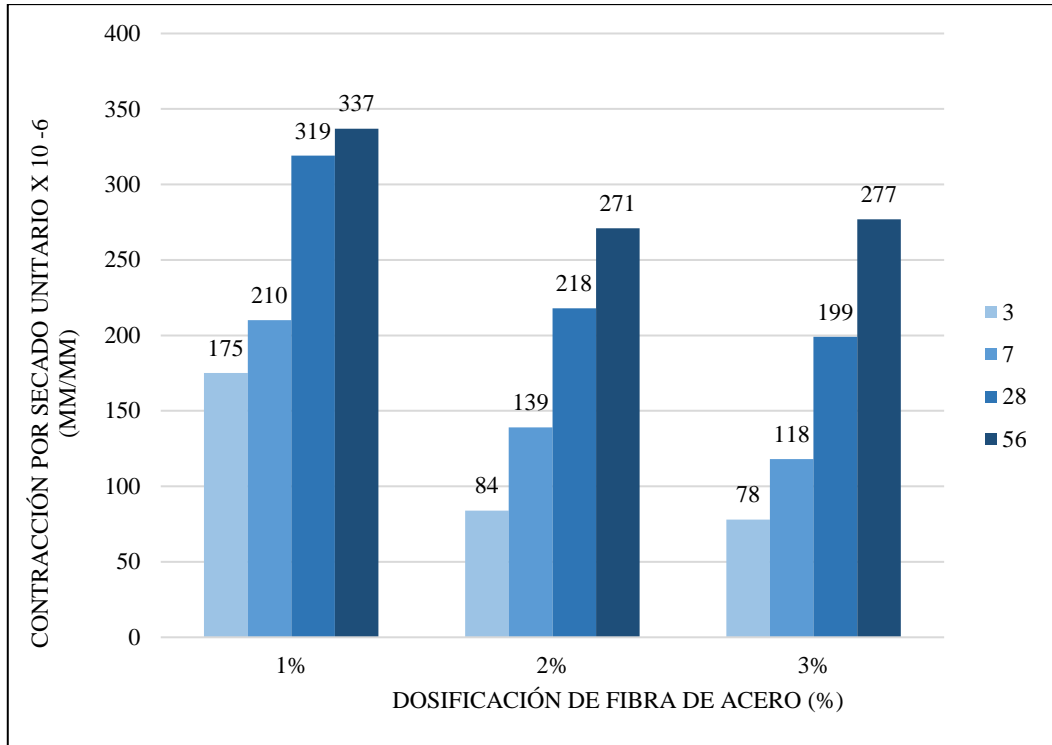


Figura N° 36: Contracción por secado unitario (mm/mm) vs. Dosificación de fibra de acero (%) para 3 muestras a 3, 7, 28 y 56 días.
Fuente: Elaboración propia

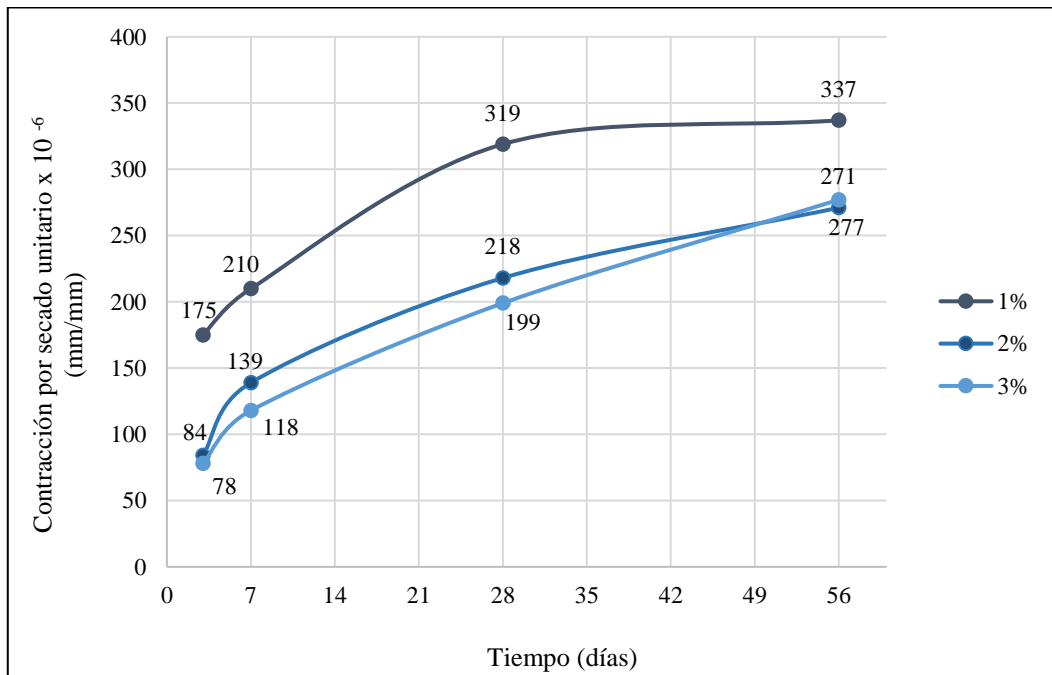


Figura N° 37: Variación de contracción por secado unitario (mm/mm) vs. Tiempo (días) para 3 muestras.
Fuente: Elaboración propia

5.2. Análisis e interpretación de los resultados.

Objetivo a: Determinar el porcentaje de fibras de acero para incrementar la resistencia a la compresión del hormigón de ultra alta resistencia.

Luego de recopilar información de diversos autores, se obtuvo una lista de valores de dosificación de fibras de acero empleados en las mezclas de hormigón de ultra alta resistencia para aumentar su resistencia a la compresión (ver Figura N°38), además de los resultados de la resistencia a la compresión con respecto a los autores (ver Figura N°38 y Figura N°39)

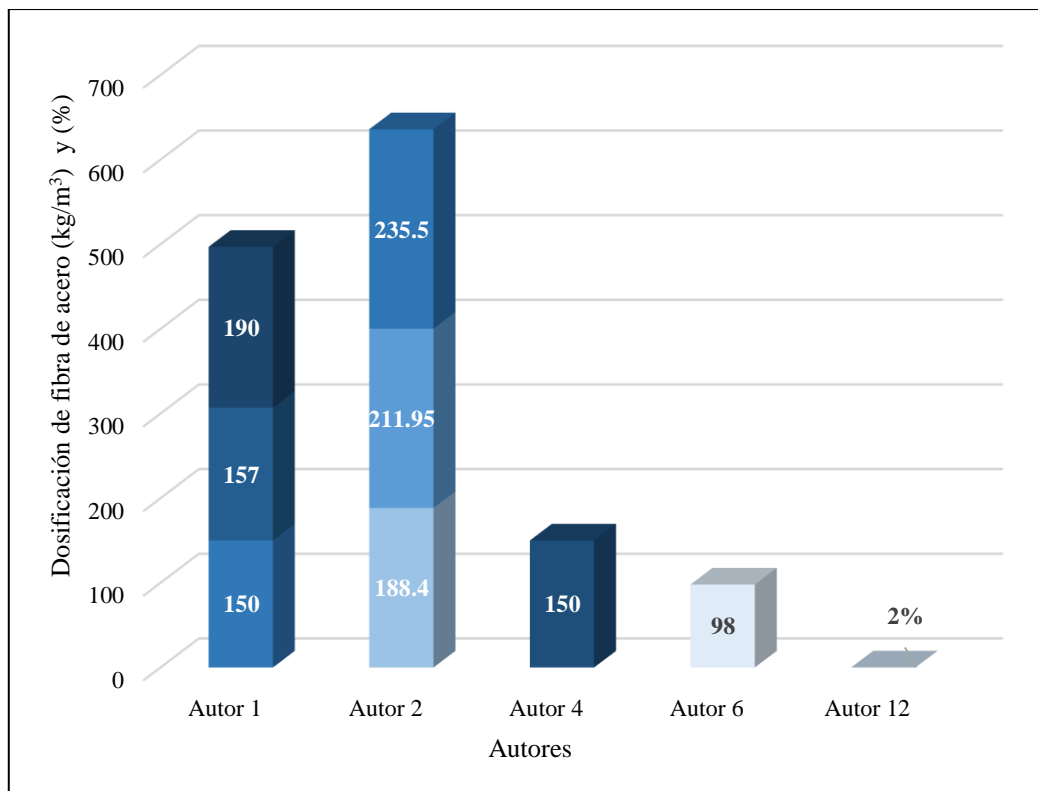


Figura N° 38: Valores de dosificación de fibras de acero en kg/m^3 y % empleados para ensayos de resistencia a la compresión

Fuente: Elaboración propia.

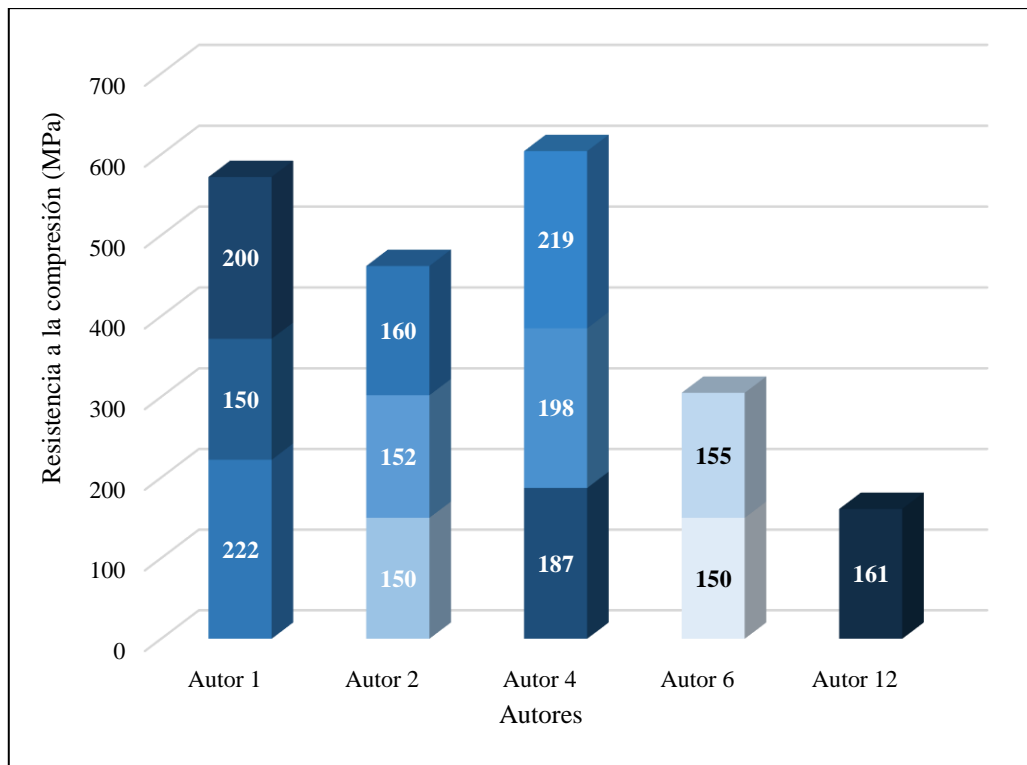


Figura N° 39: Valores de la resistencia a la compresión (MPa), según el porcentaje de fibra de cada autor.

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que mientras se use una mayor dosificación de fibra de acero, la resistencia a la compresión aumenta. Se presentan resultados en los que se obtienen distintos valores aun empleando una misma cantidad de fibras de acero, esto puede deberse a la dosificación de otros materiales como cemento, agua, aditivos, humo de sílice, polvo de cuarzo, entre otros. Otro factor podría encontrarse en las condiciones en las que fueron realizados cada uno de los ensayos.

Sin embargo, a pesar de tener distintos resultados de resistencia a la compresión, estos superan los valores mínimos para ser considerados hormigones de ultra alta resistencia, siendo 150 MPa para resistencia a la compresión.

Objetivo b: Determinar el porcentaje de fibras de acero para incrementar la resistencia a tracción del hormigón de ultra alta resistencia.

Luego de recopilar información de diversos autores, se obtuvo una lista de valores de dosificación de fibras de acero empleados en las mezclas de hormigón de ultra alta resistencia para aumentar su resistencia a la tracción (ver Figura N°40), además de los resultados de la resistencia a la tracción con respecto a los autores (ver Figura N°41)

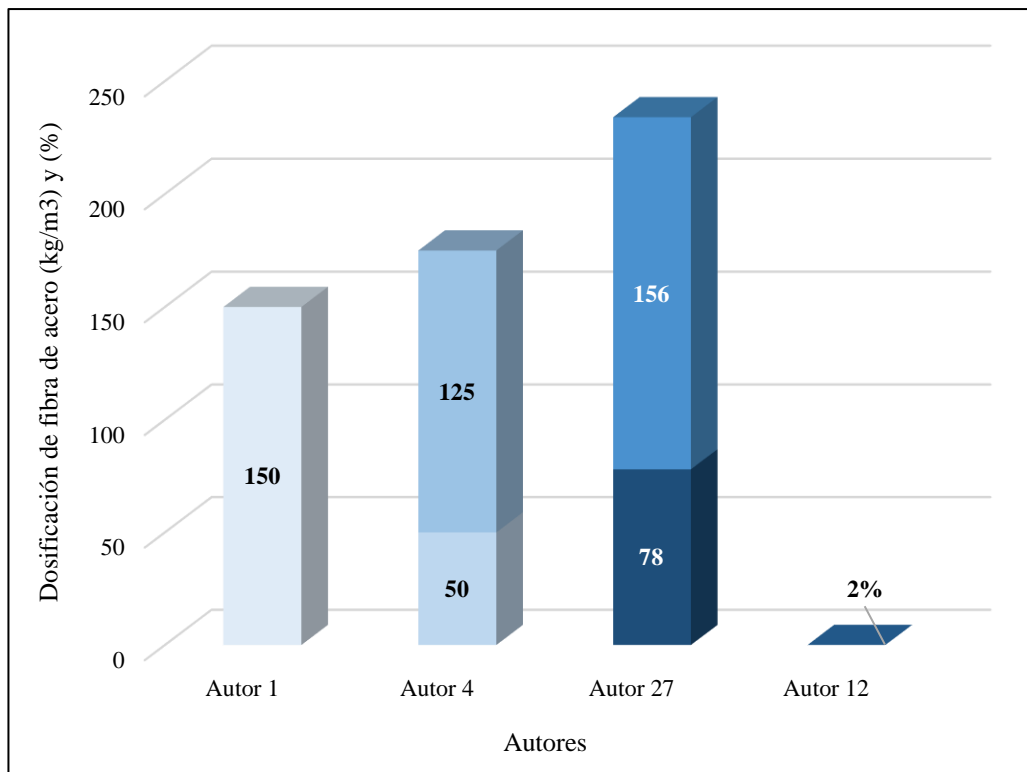


Figura N° 40: Valores de dosificación de fibras de acero en kg/m³ y % empleados para ensayos de resistencia a la tracción.

Fuente: Elaboración propia.

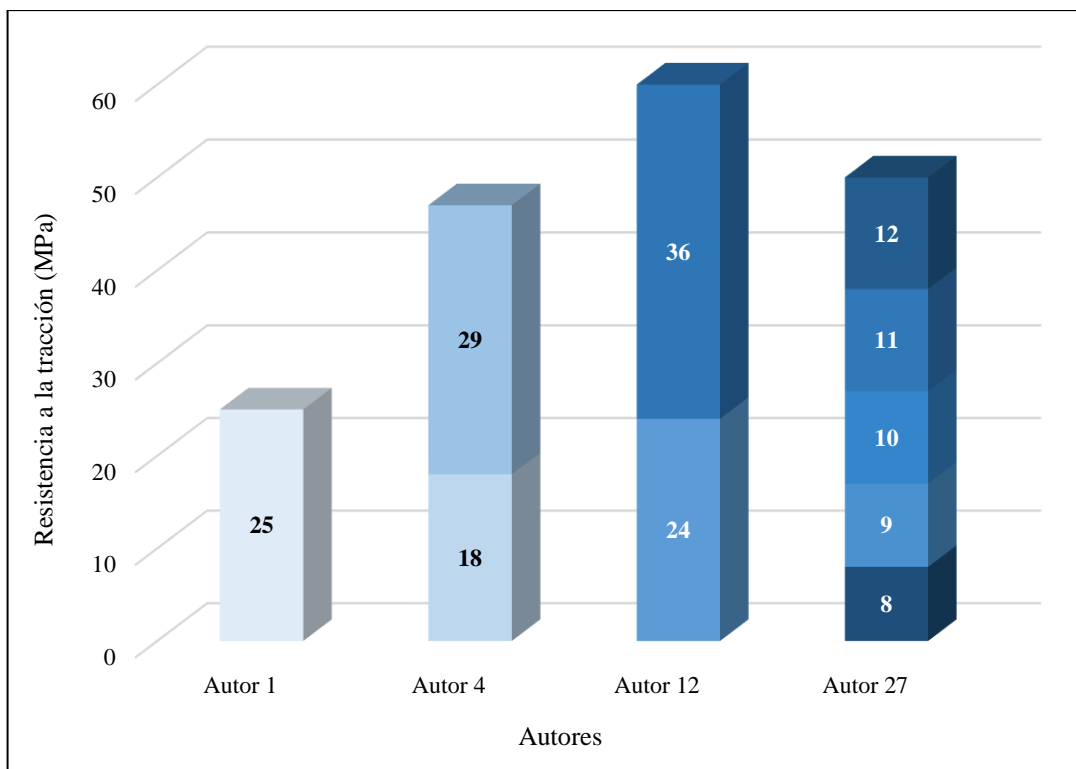


Figura N° 41: Valores de la resistencia a la tracción (MPa), según el porcentaje de fibra de cada autor.

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que mientras se use una mayor dosificación de fibra de acero, la resistencia a la tracción aumenta. Se presentan resultados en los que se obtienen distintos valores aun empleando una misma cantidad de fibras de acero, esto puede deberse a la dosificación de otros componentes del hormigón. Otro factor podría encontrarse en las condiciones en las que fueron realizados cada uno de los ensayos. Sin embargo, a pesar de tener distintos resultados de resistencia a la tracción, estos superan los valores mínimos para ser considerados hormigones de ultra alta resistencia, siendo 8 MPa para resistencia a la tracción.

Objetivo c: Determinar el porcentaje de fibras de acero para incrementar la resistencia a la flexión del hormigón de ultra alta resistencia.

Luego de recopilar información de diversos autores, se obtuvo una lista de valores de dosificación de fibras de acero empleados en las mezclas de hormigón de ultra alta resistencia para aumentar su resistencia a la flexión y los resultados de la resistencia a la flexión con respecto a los autores (ver Figura N°42)

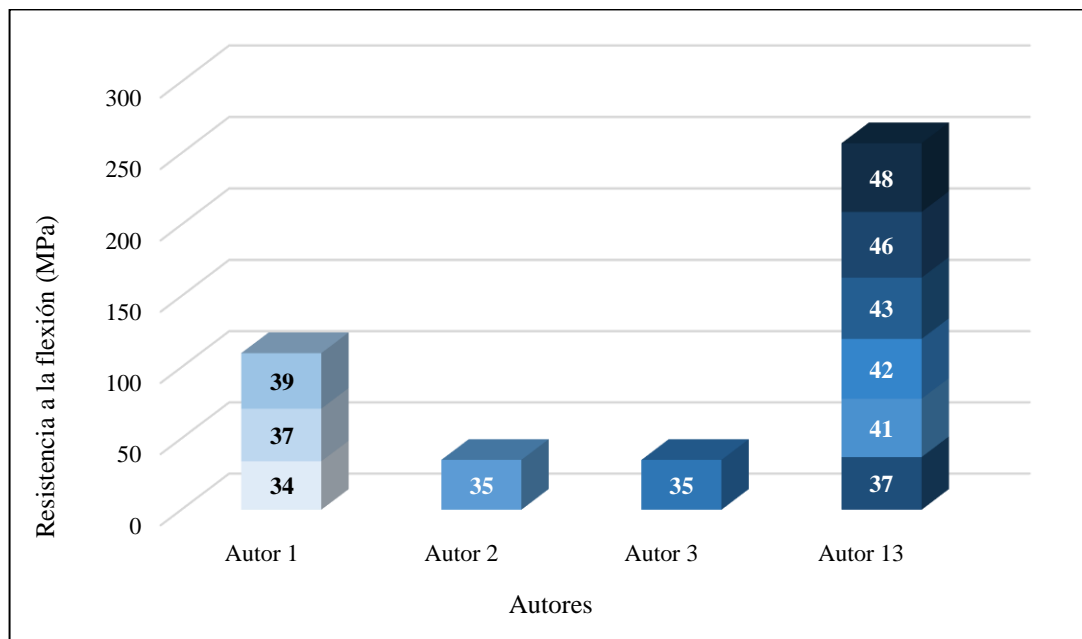


Figura N° 42: Resultados obtenidos de resistencia a la flexión (MPa) de 5 autores
Fuente: Elaboración propia.

En los resultados obtenidos por los presentes autores, se usó una dosificación de fibra de acero distinta, observando que mientras se use una mayor dosificación, la resistencia a la flexión aumenta. El autor 1 usó una dosificación de 150 kg/m^3 y se obtuvo 4 resultados distintos, esto puede deberse a la dosificación de otros materiales como cemento, agua, aditivos, humo de sílice, polvo de cuarzo, entre otros. Otro factor podría encontrarse en las condiciones en las que fueron realizados cada uno de los ensayos.

Sin embargo, a pesar de tener distintos resultados de resistencia a la flexión, estos superan el valor mínimo de 25 MPa para ser considerados hormigones de ultra alta resistencia.

Objetivo d: Determinar el porcentaje de aditivos a base de policarboxilato para incrementar la trabajabilidad del hormigón de ultra alta resistencia.

Luego de recopilar información de diversos autores, se obtuvo una lista de valores de dosificación de aditivos a base policarboxilato empleados en las mezclas de hormigón de ultra alta resistencia (Ver Figura N° 43 y Figura N°44)

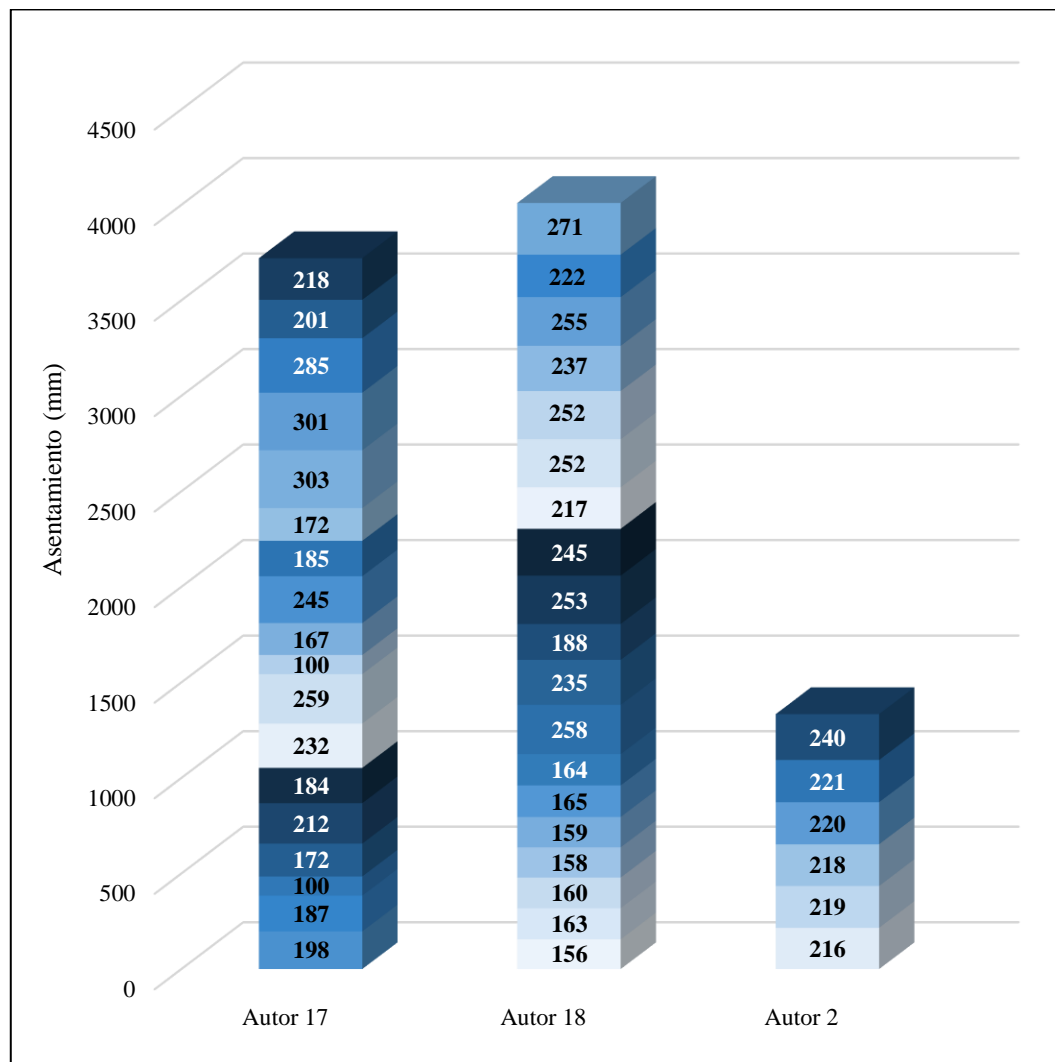


Figura N° 43: Resultados obtenidos de asentamiento (mm) de 3 autores con dosificación de aditivo expresado en porcentaje (%)

Fuente: Elaboración propia.

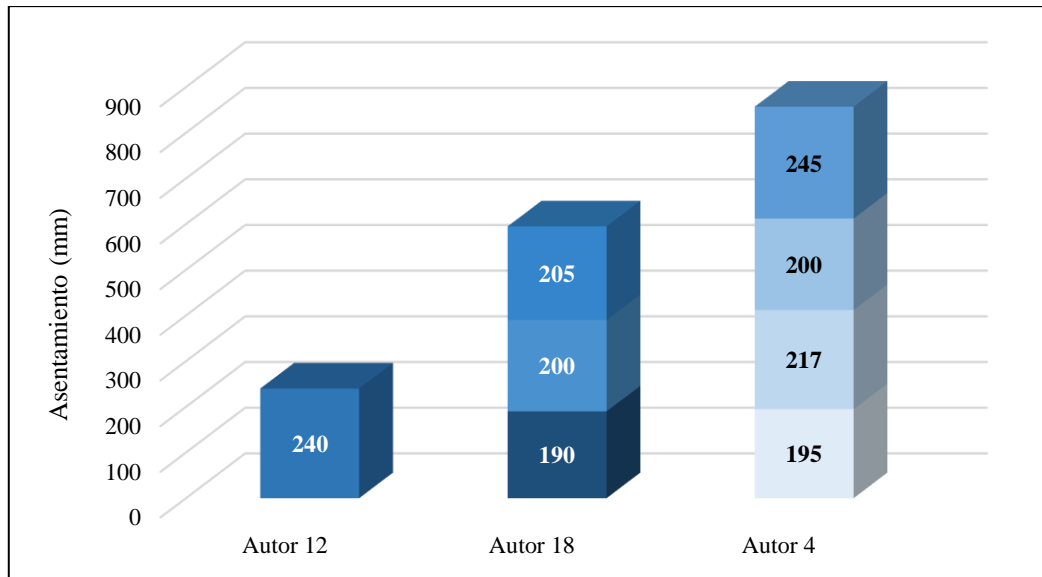


Figura N° 44: Resultados obtenidos de asentamiento (mm) de 3 autores con dosificación de aditivo expresado en kg/m^3

Fuente: Elaboración propia.

En los resultados obtenidos por los presentes autores, se usó distintas dosificaciones de superplastificantes, observando que mientras se use una mayor dosificación del aditivo, el asentamiento obtenido tiende a ser mayor.

En las diversas investigaciones se pudo observar que mientras más porcentaje de fibra de acero se emplee en la mezcla del hormigón, la trabajabilidad de esta suele ser menor debido a la fricción interna y al constante contacto entre las fibras, dificultando su movilidad.

Es por ello que se incorporó el uso de aditivos, en este caso superplastificante a base de policarboxilato, para impactar positivamente en su fluidez y con ello mejorando sus condiciones de trabajabilidad sin generar variaciones en las propiedades de la mezcla matriz.

Cada autor empleó una dosificación distinta, en relación a lo requerido por las dosificaciones que presentaban los otros componentes de la mezcla de hormigón.

Objetivo e: Determinar el porcentaje de fibras de acero para reducir la contracción por secado del hormigón de ultra alta resistencia.

Luego de recopilar información de diversos autores, se obtuvo una lista de valores de dosificación de fibras de acero empleados en las mezclas de hormigón de ultra alta resistencia para reducir la contracción por secado (ver Figura N°45 y Figura N°46), además de una lista resultados de contracción por secado de los autores según el tiempo en días (ver tabla N°29).

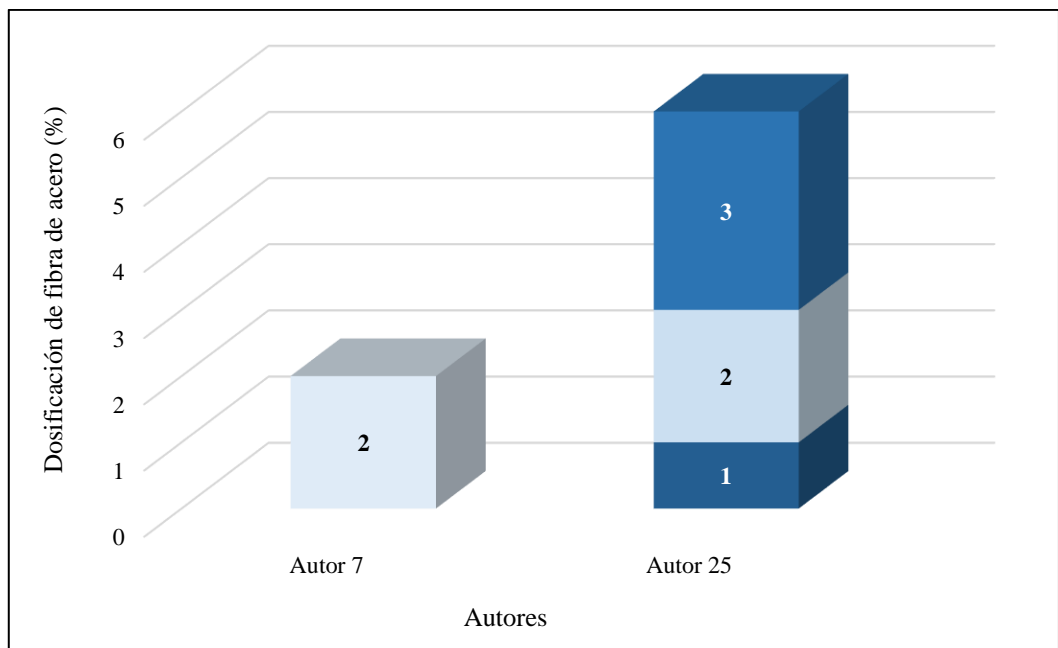


Figura N° 45: Valores de dosificación de fibras de acero (%) empleados para ensayos de resistencia a la flexión

Fuente: Elaboración propia.

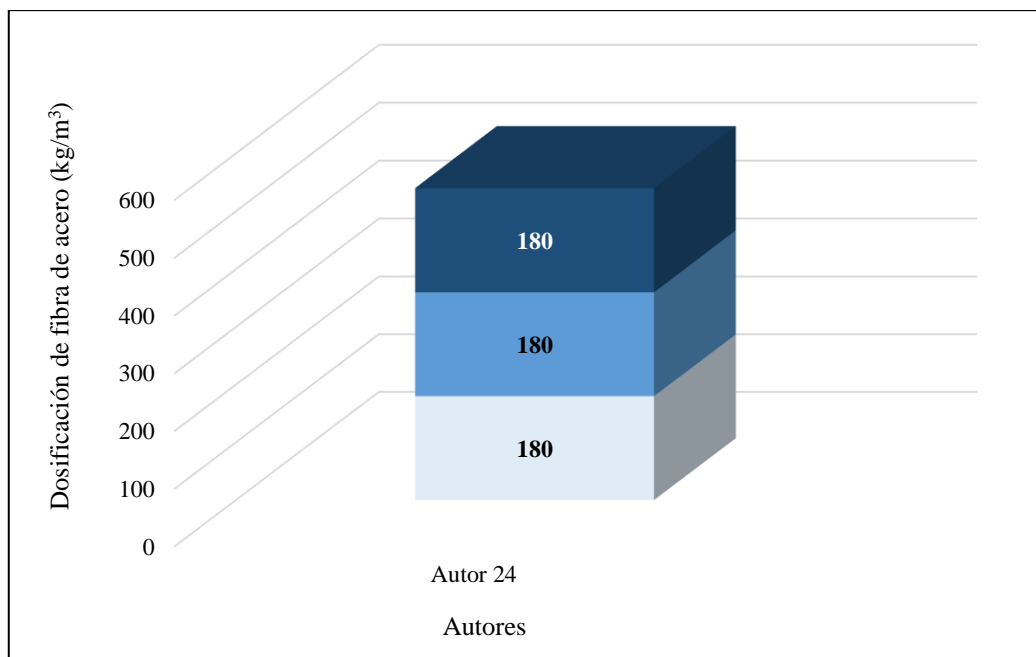


Figura N° 46: Valores de dosificación de fibras de acero (kg/m^3) empleados para ensayos de resistencia a la flexión

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 29: Valores de contracción por secado unitario a los 7, 14 y 28 días

Muestra	Dosificación de fibra (%)	Tiempo (días)	Contracción por secado unitario $\times 10^{-6}$ (mm/mm)
Autor 7-1.a	2	7	397
Autor 7-1.b		14	492
Autor 7-1.c		28	682
Autor 24-1	2	7	360
Autor 24-2		14	470
Autor 24-3		28	555
Autor 25-1	2	7	139
Autor 25-2.1		14	165
Autor 25-3		28	218

Fuente: Elaboración propia.

En los resultados obtenidos por los presentes autores, se usó distintas dosificaciones de fibras de acero, observando una tendencia a que mientras se use una mayor dosificación de fibras de acero, la contracción por secado del hormigón se reduce en un 10% aproximadamente.

Se encontraron resultados obtenidos en ensayos a los 3, 5, 7, 14, 15, 20, 28 y 56 días, donde se comprobó que en los ensayos que se realizaban en un mayor tiempo, la contracción por secado era de mayor valor.

Se realizó además una tabla resumen, en la cual se muestran resultados de contracción por secado, a los 7, 14 y 28 días, para los 3 autores, coincidiendo que este valor aumenta según más días hayan transcurrido

Cada autor empleó una dosificación distinta, en relación a lo requerido por las dosificaciones de los otros componentes de la mezcla de hormigón, y en base a las condiciones que se presentan para la aparición de fisuras.

5.3. Contrastación de hipótesis

Contrastación de la primera hipótesis

Hipótesis a:

El porcentaje de fibras de acero incrementa la resistencia a la compresión del hormigón de ultra alta resistencia.

Para analizar el porcentaje de fibras y su relación con el incremento de la resistencia a la compresión del hormigón de ultra alta resistencia, se requieren los resultados de ensayos de otros estudios e investigaciones.

- Hipótesis auxiliar

H0: El porcentaje de fibras de acero no incrementa la resistencia a la compresión del hormigón de ultra alta resistencia.

H1: El porcentaje de fibras de acero si incrementa la resistencia a la compresión del hormigón de ultra alta resistencia.

- Observación:

Según R. Christ, F. Pacheco, H. Ehrenbring, U. Quinino, M. Mancio, B.F. Tutikian (2019) empleando fibras de acero de diámetro 0.21 mm, longitud 13 mm, para una mezcla de cemento, ceniza fina de carbón, vapores de sílice, arena, polvo de cuarzo, superplastificante a base a polycarboxilato, de las 6 muestras realizadas, se obtuvo un incremento de la resistencia a la compresión, cuyos valores fueron de 150 MPa 152 MPa y 160 MPa, siendo estos, directamente proporcionales a la dosificación de fibras, que fueron 188.4, 211.95 kg/m³, 235.5 kg/m³ respectivamente, los cuales pueden visualizar en la Figura N°47.

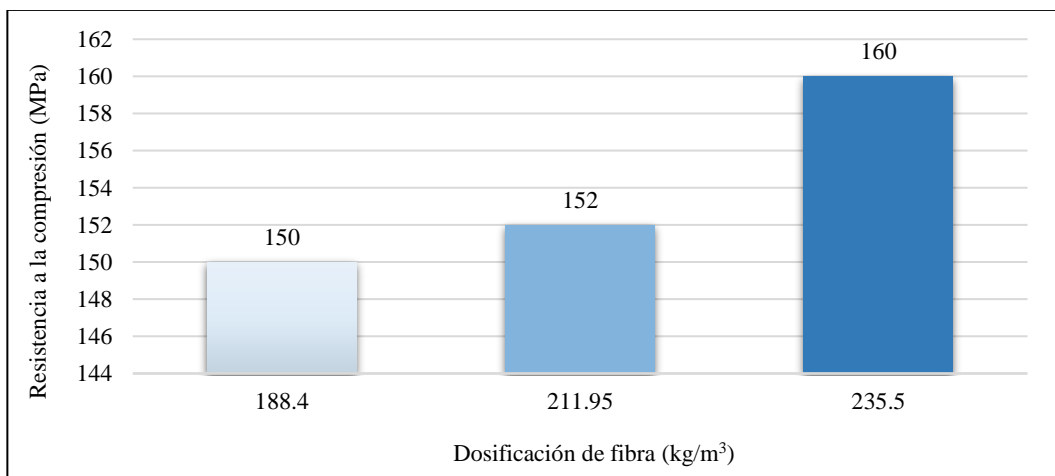


Figura N° 47: Resistencia a la compresión (MPa) vs Dosificación de fibra (kg/m³) de 3 muestras

Fuente: Elaboración propia.

Según Brayan Céspedes (2021) realizando mezclas con cemento, humo de sílice, cuarzo molido, área, fibras metálicas, superplastificantes y agua, obtuvo en sus 3 ensayos resultados de 135 MPa, 150 MPa y 200 MPa para dosificaciones de fibras metálicas de 150 kg/m³, 157 kg/m³, 190 kg/m³, demostrando un incremento del valor de la resistencia a la compresión con respecto al porcentaje de fibras. respectivamente, los cuales pueden visualizar en la Figura N°48.

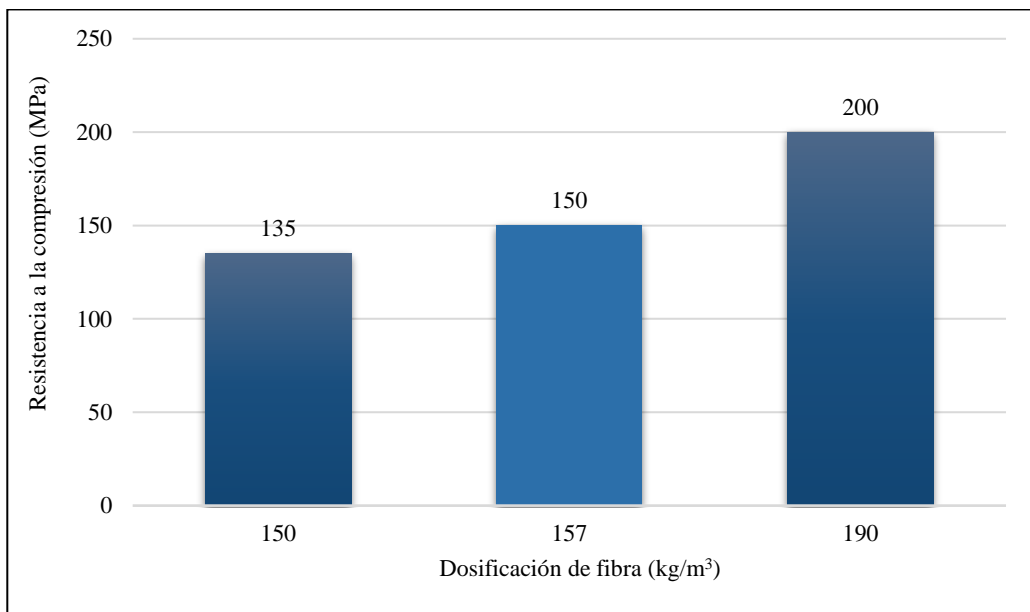


Figura N° 48: Resistencia a la compresión (MPa) vs Dosificación de fibra (kg/m³) de 3 muestras.

Fuente: Elaboración propia.

De lo expuesto, se rechaza la hipótesis nula (H0) y se acepta la hipótesis alterna (H1) ya que se demuestra según las observaciones establecidas, que el porcentaje de fibras de acero incrementa la resistencia a la compresión y tracción del hormigón de ultra alta resistencia.

Contrastación de la segunda hipótesis

Hipótesis b:

El porcentaje de fibras de acero incrementa la resistencia a la tracción del hormigón de ultra alta resistencia.

Para analizar el porcentaje de fibras y su relación con el incremento de la resistencia a la tracción del hormigón de ultra alta resistencia, se requieren los resultados de ensayos de otros estudios e investigaciones.

- Hipótesis auxiliar

H0: El porcentaje de fibras de acero no incrementa la resistencia a la tracción del hormigón de ultra alta resistencia.

H1: El porcentaje de fibras de acero si incrementa la resistencia a la tracción del hormigón de ultra alta resistencia.

- Observación:

Según Zerbino, R., Giaccio, G. y Torrijos M. (2016) aplicó una dosificación de fibra de 150kg/m^3 en 2 muestras, obtuvo resultados de resistencia a la tracción de 18 MPa y 29 MPa, cuyos valores se ven representados en la Figura N°49.

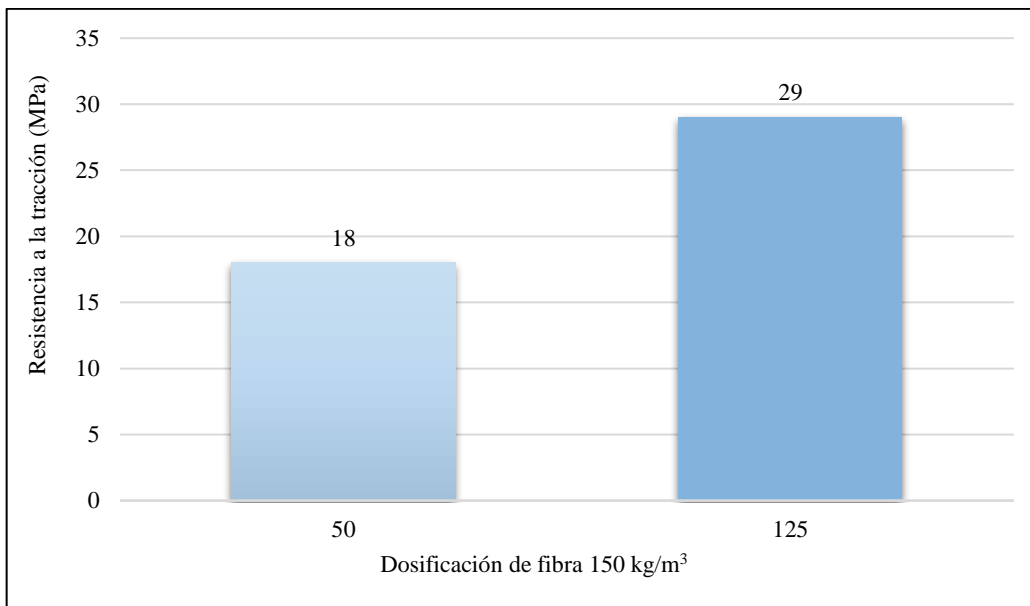


Figura N° 49: Resistencia a la tracción (MPa) vs Dosificación de fibra de 150kg/m^3 de 2 muestras.

Fuente: Elaboración propia.

Según Daniel Bridi Valentim, Sriram Aaleti y Michael Kreger (2022) aplicó una dosificación de fibra de acero de 78 kg/m^3 y 156 kg/m^3 para 2 probetas, de las cuales se realizaron 20 ensayos con la probeta DEWS considerando los que emplearon porcentaje de fibra de acero y 13 ensayos con la probeta 4PB. Dichos valores se ven reflejados en las Figuras N°50 y Figura N°51.

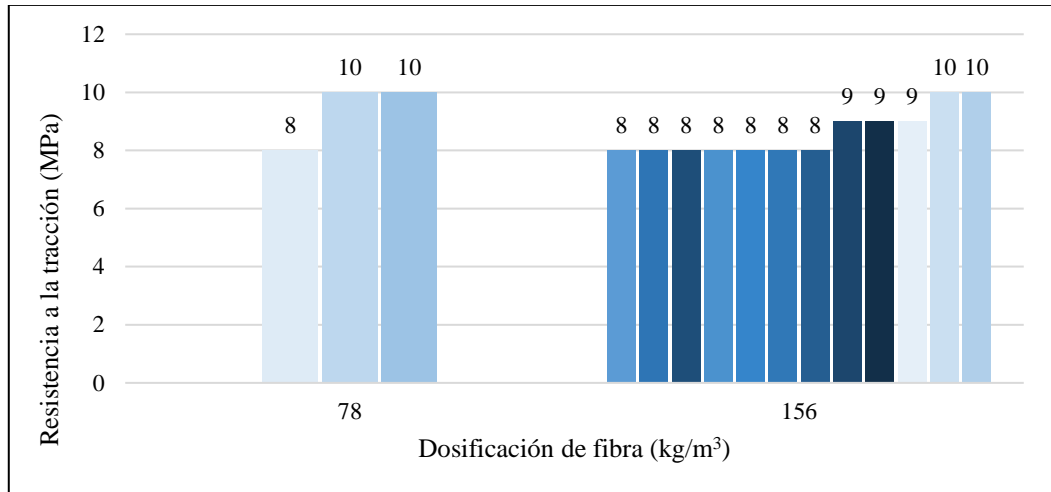


Figura N° 50: Resultados de resistencia a la tracción (MPa) para probetas DEWS.
Fuente: Elaboración propia.

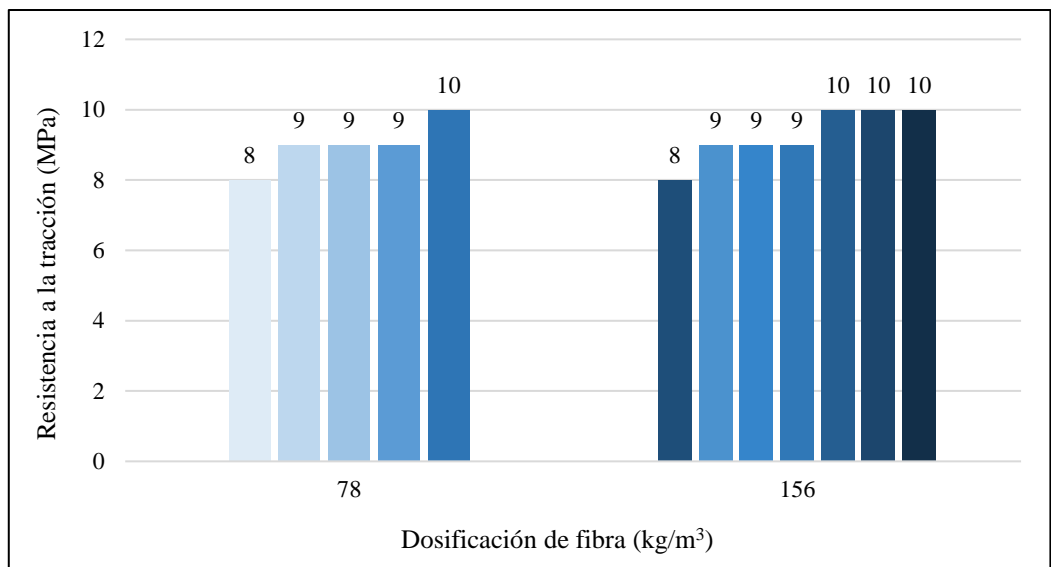


Figura N° 51: Resultados de resistencia a la tracción (MPa) para probetas 4PB.
Fuente: Elaboración propia.

De lo expuesto, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_1) ya que se demuestra según las observaciones establecidas, que el porcentaje de fibras de acero incrementa la resistencia a la compresión y tracción del hormigón de ultra alta resistencia.

Contrastación de la tercera hipótesis

Hipótesis c:

El porcentaje de fibras de acero incrementa la resistencia a la flexión del hormigón de ultra alta resistencia.

Para analizar el porcentaje de fibras y su relación con el incremento de la resistencia a la flexión del hormigón de ultra alta resistencia, se requieren los resultados de ensayos de otros estudios e investigaciones.

- Hipótesis auxiliar

H0: El porcentaje de fibras de acero no incrementa la resistencia a la flexión del hormigón de ultra alta resistencia.

H1: El porcentaje de fibras de acero si incrementa la resistencia a la flexión del hormigón de ultra alta resistencia.

- Observación:

Según Zerbino, R., Giaccio, G. y Torrijos M. (2016) empleando en la mezcla de CPN A, micro sílice, superplastificante y microfibras. Además de una relación agua/cemento + micro sílice de 0.16, de las 4 muestras realizadas, se obtuvo un incremento de la resistencia a la flexión, cuyos valores fueron de 34 MPa, 37 MPa, 39 MPa y 39 MPa, siendo estos utilizados para una dosificación de fibras, que fueron 150kg/m^3 . Los valores se visualizan en la Figura N°52.

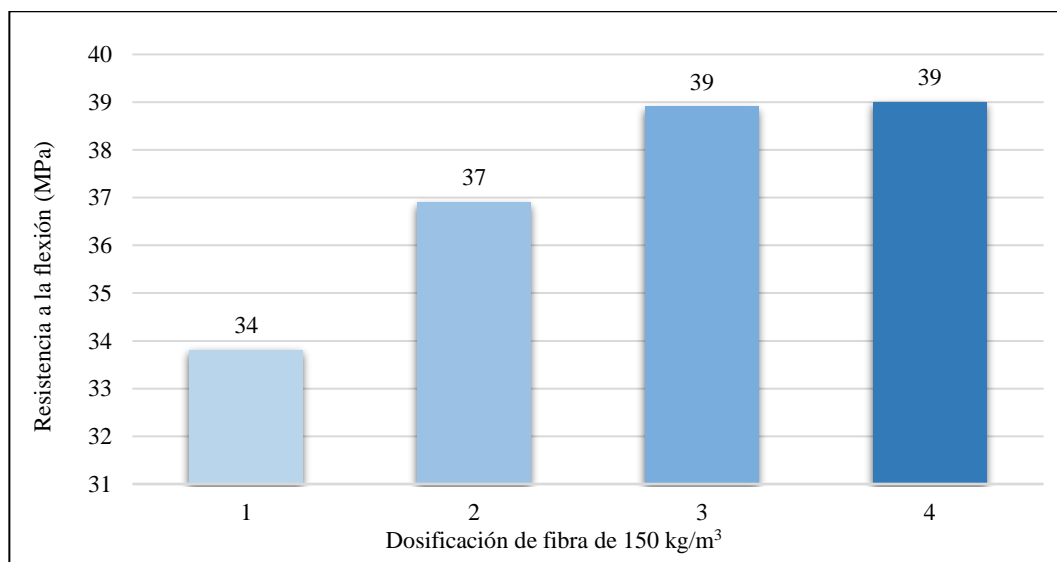


Figura N° 52: Resistencia a la flexión (MPa) vs Dosificación de fibra de 150 kg/m^3 de 4 muestras.

Fuente: Elaboración propia.

De lo expuesto, se rechaza la hipótesis nula (H0) y se acepta la hipótesis alterna (H1) ya que se demuestra según las observaciones establecidas, que el porcentaje de fibras de acero con cualquier combinación de tamaños, si incrementa la resistencia a la flexión del hormigón de ultra alta resistencia.

Contrastación de la cuarta hipótesis

Hipótesis d:

El porcentaje de aditivos a base de policarboxilato incrementa la trabajabilidad del hormigón de ultra alta resistencia.

Para analizar el porcentaje de aditivos a base de policarboxilato y su relación con el incremento de la trabajabilidad del hormigón de ultra alta resistencia, se requieren los resultados de ensayos de otros estudios e investigaciones.

- Hipótesis auxiliar

H0: El porcentaje de aditivos a base de policarboxilato no incrementa la trabajabilidad del hormigón de ultra alta resistencia.

H1: El porcentaje de aditivos a base de policarboxilato si incrementa la trabajabilidad del hormigón de ultra alta resistencia.

- Observación:

Según R. Christ, F. Pacheco, H. Ehrenbring, U. Quinino, M. Mancio, B.F. Tutikian (2021) empleando fibras de acero de diámetro 0.21 mm, longitud 13 mm, para una mezcla de cemento, ceniza fina de carbón, vapores de sílice, arena, polvo de cuarzo, superplastificante a base a policarboxilato, con densidad de 1.12 g/cm^3 , de las 6 muestras realizadas, se obtuvo que para una dosificación de aditivo al 3% y diversa dosificación de fibra, se notó una variación del asentamiento, siendo los resultados 216mm, 219mm, 218mm en las tres primeras muestras con dosificación de fibra ascendente de 117.75 kg/m^3 , 141.3 kg/m^3 , 164.85 kg/m^3 . Lo que nos demuestra que a más contenido de fibra tiende a disminuir el asentamiento, haciendo la mezcla menos trabajable. Ver Figura N°53.

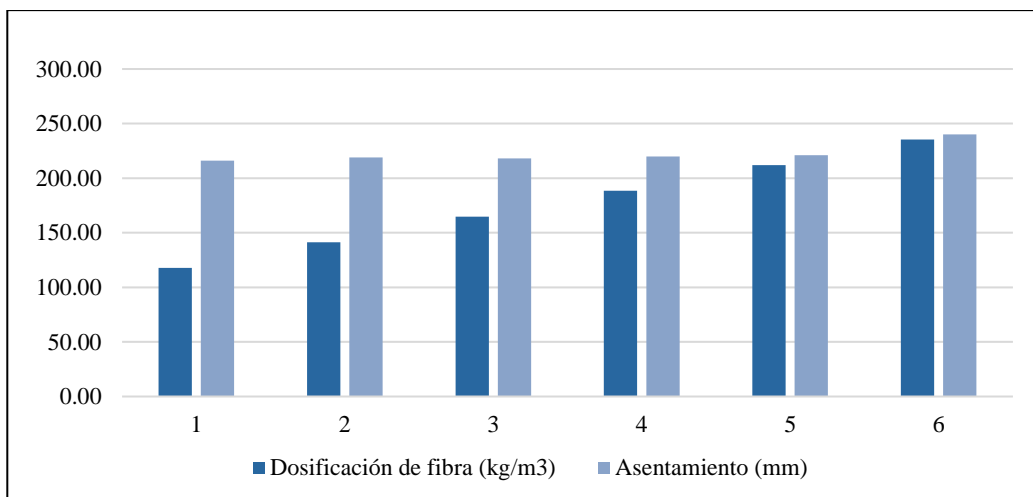


Figura N° 53: Asentamiento (mm) y Dosificación de fibra (kg/m³) de 6 muestras.
Fuente: Elaboración propia.

Según Zerbino, R., Giaccio, G. y Torrijos M. (2016) aplicó una dosificación de fibra de 150kg/m³ en 4 muestras, obtuvo resultados de 245mm, 217mm, 200mm y 195 mm para una dosificación de fibra 150 kg/m³ y dosificación de aditivo de 62 kg/m³ para los tres primeros resultados y 74 kg/m³ para el cuarto y último resultado de asentamiento, dando a entender que, para una misma dosificación de fibra de acero, con mayor dosificación de aditivo superplastificante, el valor asentamiento disminuye. Ver figura N°54.

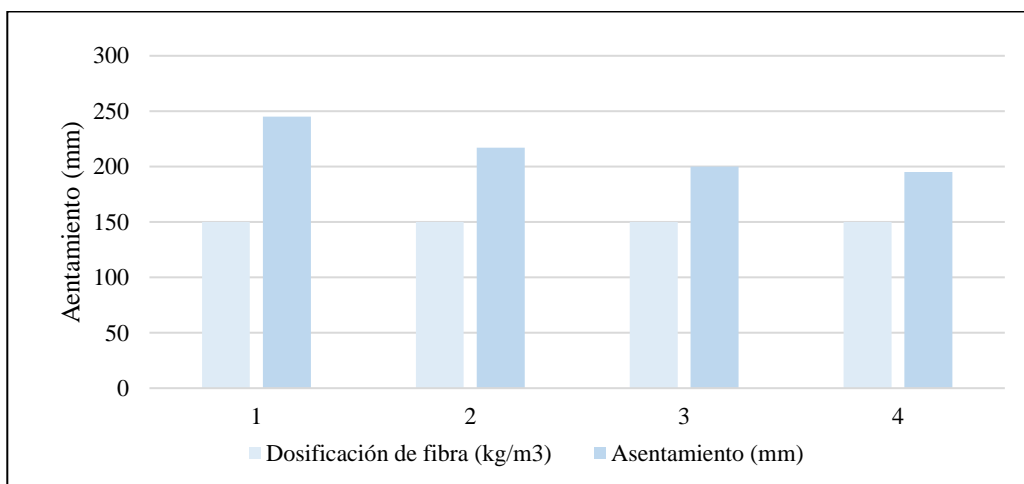


Figura N° 54: Asentamiento (mm) y Dosificación de fibra (kg/m³) de 4 muestras
Fuente: Elaboración propia.

De lo expuesto, se rechaza la hipótesis nula (H0) y se acepta la hipótesis alterna (H1) ya que se demuestra según las observaciones establecidas, que el porcentaje de aditivos a base de policarboxilato si incrementa la trabajabilidad del hormigón de ultra alta resistencia.

Contrastación de la quinta hipótesis

Hipótesis e:

El porcentaje de fibras de acero reduce la contracción del hormigón de ultra alta resistencia.

Para analizar el porcentaje de fibras de acero y su relación con la reducción de la contracción del hormigón de ultra alta resistencia, se requieren los resultados de ensayos de otros estudios e investigaciones.

- Hipótesis auxiliar

H0: El porcentaje de fibras de acero no reduce la contracción del hormigón de ultra alta resistencia.

H1: El porcentaje de fibras de acero si reduce la contracción del hormigón de ultra alta resistencia.

- Observación: Según Saavedra, D. (2020) utilizó para su mezcla cemento estructural Tipo HE, humo de sílice, arena de sílice, polvo de vidrio agua y aditivo superplastificante HRWR, aplicó una dosificación de fibra con 13mm de longitud y 0.12mm de diámetro marca DRAMIX del 2% en 12 muestras de 5x5x30cm, obtuvo resultados de contracción por secado unitario a los 5,15 y 20 días, que luego de un proceso de interpolación se obtuvieron valores a los 7,14 y 28 días, consiguiendo valores de 397×10^{-6} mm/mm, 492×10^{-6} mm/mm y 682×10^{-6} mm/mm respectivamente, haciendo perceptible el aumento de la contracción por secado unitaria para una misma dosificación de fibra de acero pero con mayor cantidad de días transcurridos.

De igual manera sucede con Wang y Yail J. Kim (2020) que a diferencia del anterior trabajó con un cemento Tipo III de alta resistencia temprana, emplearon fibras de 13mm de longitud y 0.12 mm de diámetro, además de una relación a/c de 0.22, en probetas prismáticas de dimensiones de 78x100x800mm, se obtuvieron valores de 360×10^{-6} mm/mm, 470×10^{-6} mm/mm y 555×10^{-6} mm/mm a los 7, 14 y 28 días respectivamente.

Según Ying Chen, Peng Liu, Fei Sha, Zhiwu Yu, Sasa He, Wen Xu y Maofeng Lv (2022) trabajaron con una mezcla a base de cemento, ceniza volante, agregado grueso, arena y una relación a/c de 0.20 en probetas de 100x100x515mm empleando fibras de acero de longitud 32 mm, diámetro de 2000 μ m, les

realizaron ensayos a 3, 7, 28 y 56 días, para porcentajes de aditivo superplastificante a base de policarboxilato de 1%, 2% y 3%, dando como resultado de contracción por secado unitario de conclusión de la figura N°55 que si bien es cierto, a mayor tiempo, mayor contracción, a su vez se observó que a mayor porcentaje de fibra, tiende a reducir la contracción por secado unitario que resultó en 175×10^{-6} mm/mm, 210×10^{-6} mm/mm, 319×10^{-6} mm/mm, 337×10^{-6} mm/mm; 139×10^{-6} mm/mm, 218×10^{-6} mm/mm, 271×10^{-6} mm/mm; 78×10^{-6} mm/mm, 118×10^{-6} mm/mm, 199×10^{-6} mm/mm y 277×10^{-6} mm/mm. Ver Figura N°55.

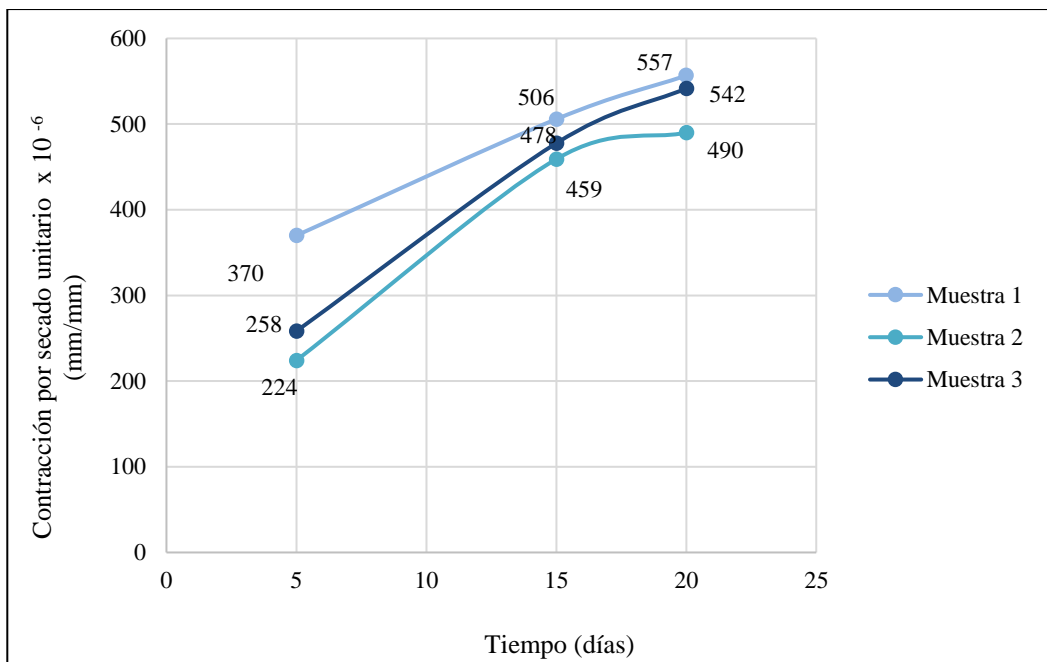


Figura N° 55: Contracción por secado unitario (mm/mm) y Tiempo (días) de 3 muestras.

Fuente: Elaboración propia.

De lo expuesto, se rechaza la hipótesis nula (H0) y se acepta la hipótesis alterna (H1) ya que se demuestra según las observaciones establecidas, que, a mayor porcentaje de fibra, se tiende a reducir la contracción por secado unitario.

DISCUSIÓN

En la investigación realizada se encontró una amplia lista de resultados, debido a los ensayos realizados con diferentes valores de dosificación de los componentes, diferentes condiciones ambientales, métodos de ensayos, características de fibras de acero, calidad de materiales, entre otros.

Con los resultados obtenidos de Muñoz A. (2018), R. Christ, F. Pacheco, H. Ehrenbring, U. Quinino, M. Mancio, B.F. Tutikian (2019), Brayan Cespedes (2021), Zerbino, R., Giaccio, G. y Torrijos M. (2016) y Fiengo, F., Sfer, D., Isla, F. y Gutierrez, S. (2016) se pudo constatar la hipótesis en el que destaca el porcentaje de fibras de acero como factor que incrementa la resistencia a la compresión del hormigón de ultra alta resistencia, los ensayos realizados se trabajaron con una dosificación de 98 kg/m³, 150 kg/m³, 157 kg/m³, 161.47 kg/m³, 188.40 kg/m³, 211.95 kg/m³ y 235.50 kg/m³ de fibras de acero, obteniendo como resultados valores de resistencia a la compresión entre los 150 MPa y 200 MPa, siendo estos, valores considerados dentro del rango acorde para un hormigón de ultra alta resistencia, los cuales se pueden visualizar en la Figura N°17, Figura N°18, Figura N°19, Figura N°20 y Figura N°21 de la presente tesis.

Con los resultados obtenidos de Zerbino, R., Giaccio, G. y Torrijos M. (2016), Cespedes, B. (2021), Fiengo, F., Sfer, D., Isla, F. y Gutierrez, S. (2016) y Daniel Bridi Valentim, Sriram Aaleti y Michael Kreger (2022) se pudo contrastar la ya aceptada hipótesis b. Como se observa en la Figura N° 40 los 4 autores consultados emplean dosificaciones de fibras de acero aproximados como 125 kg/m³, 150 kg/m³ y 156 kg/m³ obteniendo resultados de resistencia a la tracción de 29 MPa, 25 MPa y 12 MPa respectivamente, tal como se observa en la Figura N° 22, Figura N°23, Figura N°24 y Figura N°25. Sin embargo, también emplearon una dosificación más baja como 50 kg/m³ y 78 kg/m³, logrando resistencias óptimas de 18 MPa y 8 MPa, 9 MPa y 10 MPa respectivamente.

Con los resultados obtenidos de Zerbino, R., Giaccio, G. y Torrijos M. (2016), Cespedes, B. (2021), Fiengo, F., Sfer, D., Isla, F. y Gutierrez, S. (2016), Yoo Doo Yeol Kim, Sung Wook & Park Jung Jun (2017) se pudo contrastar la ya aceptada hipótesis c. Los 4 autores consultados emplean dosificaciones de fibras de acero aproximados como 150 kg/m³ y 190 kg/m³ obteniendo resultados de resistencia a la flexión de 34 MPa, 37 MPa, 39 MPa

y 35 MPa respectivamente, tal como se observa en la Figura N° 26, Figura N°27 y Figura N°28. También emplearon dosificaciones en porcentajes como 2%, incluyendo distintas dimensiones de fibra y obteniendo resultados de 35 MPa, 37 MPa, 41 MPa, 42 MPa, 43 MPa, 46 MPa y 48 MPa. Sin embargo, al emplear un valor de dosificación más baja como 98 kg/m³ se obtuvo una resistencia a la flexión de 15 MPa, el cual no cumple con el mínimo establecido.

Con los resultados obtenidos R. Christ, F. Pacheco, H. Ehrenbring, U. Quinino, M. Mancio, B.F. Tutikian (2019), Zerbino, R., Giaccio, G. y Torrijos M. (2016), Fiengo, F., Sfer, D., Isla, F. y Gutierrez, S. (2016), Abellán, J., Torres, N., Nuñez, A. y Fernández, J. (2018) y Narrea, J. y Roncal, D. (2020) se pudo contrastar la ya aceptada hipótesis d, los autores mencionados trabajaron con diversas dosificaciones de aditivo a base policarboxilato, el primer autor trabajó con un 3% de aditivo y obtuvo valores de asentamiento que alcanzaron los 240mm, el cuarto autor mencionado trabajó con 1%, 1.40% y 1.80% de aditivo, obteniendo valores promedios de 146 mm, 211 mm y 242mm respectivamente, cada autor empleó una dosificación distinta, en relación a lo requerido por las dosificaciones que presentaban los otros componentes de la mezcla de hormigón, sin embargo se logra observar el incremento del asentamiento en función al aditivo a base policarboxilato, este mejora las condiciones de trabajabilidad sin generar alguna variación en la relación a/c.

Con los resultados obtenidos de Saavedra, D. (2020), Jun Wang y Yail J. Kim (2020) y Chen et al. (2022) se pudo contrastar la ya aceptada hipótesis e. El primer autor empleó una dosificación de fibra de acero de 2% y obtuvo resultados desde 224.17×10^{-6} hasta 556.67×10^{-6} mm/mm. Los segundos autores emplearon dosificaciones de 180 kg/m³ donde se obtuvo resultados desde 360×10^{-6} , 470×10^{-6} y 555×10^{-6} mm/mm a las edades de curado de 7, 14 y 28 días, respectivamente. Los tres autores, emplearon dosificaciones de fibras de acero aproximados como 1%, 2% y 3% obteniendo resultados de contracción por secado unitario desde 78×10^{-6} hasta 277×10^{-6} mm/mm, tal como se observa en la Figura N° 35, Figura N°36 y Figura N° 37, siendo los resultados mayores en donde se empleó una menor dosificación de fibra de acero y se realizó el ensayo en un mayor tiempo.

CONCLUSIONES

1. Se obtuvieron como resultados valores de resistencia a la compresión de 150, 152, 155, 160, 161, 187, 198, 200, 219 y 222 MPa; de 8, 9, 10, 11, 12, 18, 24, 25, 29 y 36 MPa para resistencia a la tracción; de 34, 35, 37, 39, 41, 42, 43, 46 y 48 MPa para la resistencia a la flexión; desde 100 mm hasta los 303 mm de asentamiento para mejorar la trabajabilidad y 139×10^{-6} , 165×10^{-6} , 218×10^{-6} , 360×10^{-6} , 397×10^{-6} , 470×10^{-6} , 492×10^{-6} , 555×10^{-6} , 682×10^{-6} mm/mm en valores de contracción por secado unitario, dichos resultados nos brindan el soporte ideal para el diseño de un hormigón ultra alta resistencia reforzado con fibras de acero para evitar el agrietamiento plástico, ya que la resistencia de este hormigón en general es muy superior a un hormigón convencional o a uno de alta resistencia reforzado con fibras.
2. De acuerdo a los resultados obtenidos de los 5 autores, se concluye que el porcentaje de fibras de acero si incrementa la resistencia a la compresión del hormigón de ultra alta resistencia, ya que según R. Christ, F. Pacheco, H. Ehrenbring, U. Quinino, M. Mancio, B.F. Tutikian (2019) se obtuvieron valores de 130 MPa, 140 MPa, 148 MPa, 150 MPa 152 MPa y 160 MPa, para las dosificaciones de fibras 117.75 kg/m^3 , 141.3 kg/m^3 , 164.85 kg/m^3 , 188.4 kg/m^3 , 211.95 kg/m^3 , 235.5 kg/m^3 respectivamente y según Brayan Cespedes (2021) de 135 MPa, 150 MPa y 200 MPa para dosificaciones de fibras metálicas de 150 kg/m^3 , 157 kg/m^3 , 190 kg/m^3 .
3. De acuerdo a los resultados obtenidos de 4 autores se determinó que las fibras de acero en un hormigón de ultra alta resistencia incrementan su resistencia a la tracción, llegando a alcanzar valores desde el mínimo aceptado de 8 MPa hasta valores de 18 MPa, 25 MPa, 29 MPa y 36 MPa, con una dosificación de fibra de acero desde 50 kg/m^3 hasta 156 kg/m^3 , mostrando una tendencia de que a mayor porcentaje de fibra contenga el hormigón, mayor será su resistencia a la tracción. Con el promedio de resultados encontrados se determinó que el óptimo valor de dosificación de fibra de acero es 120 kg/m^3 , permitiendo lograr una resistencia a la tracción de 20 MPa.

4. En base a los resultados obtenidos por los 4 autores se determinó que las fibras de acero en un hormigón de ultra alta resistencia incrementan su resistencia a la flexión, alcanzando valores desde 34 MPa hasta 48 MPa, con una dosificación de fibra de acero desde 150 kg/m³ hasta 190 kg/m³ y con porcentajes del 2% con la combinación de fibras de diferente longitud. Con los resultados obtenidos se determinó que el óptimo valor de dosificación de fibra de acero es 150 kg/m³ o 2% (1% de fibra corta y 1% de fibra larga) para lograr una resistencia a la flexión de 40 MPa.

5. En base a los resultados obtenidos por los 5 autores, se concluye que para un hormigón de ultra alta resistencia reforzado con fibras de acero, a mayor porcentaje de aditivo a base polycarboxilato, mayor será el incremento de la trabajabilidad, esto sin afectar la relación a/c. Esto se pudo reflejar en mayor medida en los resultados del autor N°17, ya que posee diversos porcentajes de dosificación, que va desde 1% al 1.8%, con valores promedio de 146 mm y 242 mm respectivamente, con el autor N°18 también se puede visualizar dosificaciones desde los 0.03% hasta 6.12% de aditivo, obteniendo valores de 156 mm y 190 mm respectivamente.

6. En base a los resultados obtenidos por los 3 autores se determinó que las fibras de acero en un hormigón de ultra alta resistencia disminuyeron su contracción por secado, alcanzando valores desde 78x10⁻⁶ hasta 555x10⁻⁶ mm/mm, con la dosificación de fibra de acero desde 1% hasta 3% y 180 kg/m³. Con los resultados obtenidos se determinó que el óptimo valor de dosificación de fibra de acero es 2% para lograr disminuir la contracción a un mínimo valor de 84x10⁻⁶ mm/mm a los 3 días de curado, tomando en cuenta que para un menor resultado se puede considerar mayor fibra, pero esto afecta la trabajabilidad de la mezcla.

RECOMENDACIONES

1. Para el estudio del hormigón de ultra alta resistencia reforzado con fibras, tener en cuenta un valor mínimo de resistencia a la compresión de 150 MPa, así mismo trabajar con valores de dosificación de fibras iguales o similares para obtener valores coherentes en cuanto a los resultados obtenidos de los ensayos realizados.
2. Tomar en cuenta la influencia de la dosificación de otros componentes del hormigón como cemento, agregados y aditivos, debido a que en la búsqueda de información se encontraron resultados menores al mínimo permitido de 8 MPa, a pesar de tener el mismo porcentaje de fibra de acero que otras mezclas que si alcanzaron valores superiores.
3. En la mezcla de hormigón considerar el empleo de la combinación de fibras con diferentes dimensiones para incrementar la resistencia a la flexión, debido a que la microfibra protege eficazmente al hormigón de una microfisura y la fibra larga es más eficaz en las macrofisuras, y se puede obtener un resultado óptimo con la combinación de ambos.
4. Se debe tener en cuenta que al trabajar con el hormigón de ultra alta resistencia reforzado con fibras, estos tienden a incrementar la resistencia del hormigón, sin embargo a su vez se reduce la trabajabilidad del mismo, esto debido a que las fibras de acero dificultan la movilidad de los agregados de la mezcla al disminuir el efecto lubricante que posee la pasta de cemento, para esto se utiliza superplastificante a base de policarboxilato, que mejora visiblemente la trabajabilidad e incrementa el asentamiento.
5. Para realizar un mejor análisis de resultados de contracción por secado, es ideal observar sus valores a distintas edades de curado, desde lo más mínimo como 24 horas hasta por lo menos 28 días. Esto permite controlar la aparición de fisuras de acuerdo al porcentaje de fibra de acero que se emplea, y evaluar si son perceptibles a simple vista.

6. Para un buen desarrollo de la investigación, se deben realizar las mezclas y ensayos del hormigón de ultra alta resistencia en laboratorio, de no ser posible por la coyuntura mundial actual, tener en cuenta las tesis o artículos cuya información haya sido realizada de manera experimental. Además, tener en cuenta que la realización ensayos para medir el índice de tenacidad, son escasos, por lo que se recomienda la ejecución de esta en caso se desee considerar como un punto específico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbass, A., Abid, S. y Özakça, M. (2019). Experimental Investigation on the Effect of Steel Fibers on the Flexural Behavior and Ductility of High-Strength Concrete Hollow Beams. *Advances in Civil Engineering*, 1-13. doi: 10.1155/2019/8390345
- Abellan, J., Torres, N., Nuñez, A. y Fernandez, J. (2018). Influencia del exponente Fuller, la relación agua conglomerante y el contenido en policarboxilato en las propiedades de concretos de muy altas prestaciones. Obtenido de: https://www.researchgate.net/publication/332393532_PROPIEDADES_DE_CONCRETOS_DE_MUY_ALTAS_PRESTACIONES_INFLUENCE_OF_FULLER_EXPONENT_ULTRA_HIGH-PERFORMANCE_CONCRETE
- Afán, A. (2018). *Análisis experimental del comportamiento de hormigones de ultra-altas prestaciones a temperatura elevada* (tesis de pregrado). Universidad de Sevilla, España. Obtenido de: <https://hdl.handle.net/11441/82273>
- Afán, A. (2020). *Estudio numérico del comportamiento a flexión de una viga de hormigón de ultra altas prestaciones y pretensado* (tesis posgrado). Universidad de Sevilla, España. Obtenido de: <https://hdl.handle.net/11441/102931>
- Agudelo, A. y Espinosa, B. (2017). *Análisis de la resistencia a la compresión de mezclas de concreto con adición de ceniza volante de Termopaipa* (tesis pregrado). Universidad Católica de Colombia, Colombia. Obtenido de: <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/14479>
- Anónimo. (2011). *La relación agua cemento*. Obtenido de: <https://www.arquitectogustavo.com.ar/Archs/relacion%20agua%20cemento-ICPA.pdf>
- Azmee, N. y Shafiq, N. (2018). Ultra-high performance concrete: From fundamental to applications. *Case Studies in Construction Materials*, 9. doi: 10.1016/j.cscm.2018.e00197
- Benstley De Van Holden Loor, W. (2021). *Efecto del agrietamiento del hormigón en el comportamiento sismorresistente de un edificio residencial aporticado*, tesis para obtener el título de Ingeniería civil en la Universidad de Guayaquil, Ecuador. Obtenido de: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/56509>

- Cacoango, G. y Millingalli, M. (2019). *Eficiencia del Control de Fisuramiento por Contracción Plástica del Hormigón mediante el uso de Fibra de Acero 4D* (tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador. Obtenido de: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/19164>
- Carné, I. (2014). Caracterización de hormigón con fibras sintéticas recicladas. *Ingeniería del agua*, 18(1). doi: 10.4995/ia.2014.3293
- Cao, P., Sluijsmans, M., Brouwers, H. y Yu, Q. (2021). Synergistic effect of steel fibres and coarse aggregates on impact properties of ultra-high performance fibre reinforced concrete. *Cement and Concrete Composites*, 115. doi: 10.1016/j.cemconcomp.2020.103866
- Cespedes, B. (2021). *Aplicación de concretos de ultra altas prestaciones (UHPFRC) a la construcción de puentes* (tesis pregrado). Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Colombia. Obtenido de: <https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/1628>
- Chen, Y., Liu, P., Sha, F., Yu, Z., He, S., Xu, W. y Lv, M. (2022). Effects of Type and Content of Fibers, Water-to-Cement Ratio, and Cementitious Materials on the Shrinkage and Creep of Ultra-High Performance Concrete. *Polymers*, 14(10). doi: 10.3390/polym14101956
- Christ, R., Pacheco, F., Ehrenbring, H., Quinino, U., Mancio, M. y Tutikian, B. (2019). Estudio del comportamiento mecánico del hormigón de ultra-altas prestaciones (UHPC) reforzado con fibras híbridas y con consumo reducido de cemento. *Revista ingeniería de construcción*, 34(2), 159-168. doi: 10.4067/S0718-50732019000200159
- Christ, R., Pacheco, F., Ehrenbring, H., Quinino, U., Mancio, M y Tutikian, B. (2019). *Estudio del comportamiento mecánico del hormigón de ultra-altas prestaciones (UHPC) reforzado con fibras híbridas y con consumo reducido de cemento*. Obtenido de: https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-50732019000200159&script=sci_arttext
- Dificonsa. (2017). Microsílica. *Dificonsa*. Obtenido de: <https://www.dificonsa.com/portfolio/microsilica/>

- Doo-Yeol, Y., Sung-Wook, K. y Jung-Jun, P. (2017). Comparative flexural behavior of ultra-high-performance concrete reinforced with hybrid straight steel fibers. *Construction and Building Materials*, 132(2), 219-229. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.11.104
- Echeverry, V. (2014). *Protección y curado del concreto*, Obtenido de: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/proteccion-y-curado-del-concreto>
- Espinoza, A. (2010). *Estudio de dosificación de hormigón de ultra-alta resistencia, basado en el empaquetamiento de los áridos*. Universidad politécnica de Madrid, España. Obtenido de: https://oa.upm.es/4511/1/TESIS_MASTER_ANA_ARGENTINA_ESPINOZA_MONTENEGRO.pdf
- Fanzo, M. (2019). *Influencia de las virutas de acero en la fisuración asociada a la contracción plástica en pavimentos de concreto simple para un módulo de rotura de 34 kg/cm² en la provincia de Chiclayo, Lambayeque 2019* (tesis de pregrado). Universidad Católica Santo Toribio De Mogrovejo, Perú. Obtenido de: <https://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/3420>
- Fiengo, F. (2020). *Hormigón de alta resistencia reforzado con fibras bajo cargas de impacto*. Universidad Nacional de Tucumán, Argentina. Obtenido de: <https://www.facet.unt.edu.ar/iest/wp-content/uploads/sites/22/2021/02/TESIS-DOCTORAL-FABIAN-FIENGO-PEREZ-VERSION-FINAL.pdf>
- Fiengo, F., Sfer, D., Isla, F. y Gutierrez, S. (2016). Caracterización de hormigones de ultra altas prestaciones. Obtenido de: <https://jornadasaie.org.ar/jornadas-aie-antiores/2016/contenidos/trabajos/018.pdf>
- García, C. (2012). ¿Resistencia a la flexión del concreto? Obtenido de: <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/57040729/Resistencia-Concreto-FLEXION-ACI-version-web-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1665464149&Signature=Xt0IfJ~phIFIG9BfJLEwOIMepOR-PXavSiJP5qFdSqHXJQtHhwT54ONShRmiDviXZVkbzvRvlie4bY9MhzwZSdv4zp-BLRySmm1DTjra7Fb8amuE8lircAl4KNBOQFQs-eGQVPLTxcRceUMAn9eXGSee5NI54SIu3PgQTelvCNTL972Fphtf238yfQi7fyKNSuO~A25bCpgEKUEpYzD~ptM1CnVgLUgnFSH5py0PdxhR8T46lOkuk7>

Xkb0kIof~f~KIPj3s5MoFj3OQiPvH5QRh-

IODD00LbsveEy3lDq5tK~dUXrmQjhXJUO~YRQHZODhhV4fupZJE2cqSCph
NVHg__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

- García, G. (2018). *Adición de fibras de acero en mezclas de hormigón* (tesis de pregrado). Universidad Mayor de San Andrés. Obtenido de: <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/28005>
- Guenois, K. (2019). *Estudio microestructural de hormigones de ultraaltas prestaciones reforzado con fibras de acero mediante tomografía axial computarizada* (tesis de posgrado). Universidad de Sevilla, España. Obtenido de: <https://hdl.handle.net/11441/99850>
- Guevara, J. (2008). *Análisis comparativo del comportamiento del concreto simple con el concreto reforzado con fibras de acero Wirand* (tesis de pregrado). Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú. Obtenido de: <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/urp/158>
- Guevara, G., Hidalgo, C., Pizarro, M., Rodríguez, I., Rojas, L. y Segura, G. (2012). Efecto de la variación agua/cemento en el concreto. *Tecnología en marcha*, 25(2), 80-86. Obtenido de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4835626>
- Haozhen, F., Mingen, G., Shufeng, Z., Haibo, J. y Zhuangcheng, F. (2022). Effects of Steel Fiber and Specimen Geometric Dimensions on the Mechanical Properties of Ultra-High-Performance Concrete. *Materials*, 15(9). doi: 10.3390/ma15093027
- Lande, I. y Terje, R. (2020). The influence of steel fibres on compressive and tensile strength of ultra high performance concrete: A review. *Construction and Building Materials*, 256. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.119459
- Lanwer, J. y Empelmann, M. (2021). Fundamental Investigations on the Performance of Micro Steel Fibres in Ultra-High-Performance Concrete under Monotonic and Cyclic Tensile Loading. *Applied Sciences*, 11(20). doi: 10.3390/app11209377
- López, L. y Sepúlveda, D. (2014). *Caracterización física de diferentes muestras de agregados pétreos para el concreto - Zona Norte de Bogotá* (tesis de pregrado). Universidad Católica de Colombia, Colombia. Obtenido de: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1801/1/Documento-Characterizacion%20fisica%20de%20los%20agregados%20petreos.pdf>
- López, J. y Tufino, W. (2020). *Relación agua/cementante para mejorar las propiedades de los concretos fluidos premezclados de alta resistencia* (tesis pregrado).

- Universidad Ricardo Palma, Perú. Obtenido de:
<https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/3659>
- Madera, P. (2020). Refuerzo de estructuras con morteros de ultra-alta resistencia, reforzados con fibras, en capa delgada. *Hormigón y Acero*. doi: 10.33586/hya.2020.2624
- Miranda, C. y Rado, M. (2019). *Propuesta de concretos reforzados con fibras de acero y cemento puzolánico para la construcción de pavimentos rígidos en la región de Apurímac* (tesis de pregrado). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Obtenido de: <http://hdl.handle.net/10757/628106>
- Morán, F y Huerta, E. (2020). *Propuesta de mejora del comportamiento mecánico en pavimentos rígidos mediante la aplicación de fibra de acero en la Vía Av. Los héroes: Tramo Av. Miguel Iglesias y Av. 26 de noviembre* (tesis de pregrado). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Obtenido de: <http://hdl.handle.net/10757/655071>
- Mukul, C. (2019). *Fibras de acero*. Láminas de acero. Obtenido de: <https://blog.laminasyaceros.com/blog/hormigon-armado>
- Muñoz, A. (2018). *Estudio del comportamiento a altas temperaturas de elementos de hormigones de ultra-altas prestaciones reforzados con fibras de acero y polipropileno* (tesis de posgrado). Universidad de Sevilla. Obtenido de: <https://hdl.handle.net/11441/84580>
- Narrea, J. y Roncal, D. (2020). *Aditivo superplastificante basado en copolímero para mejorar las propiedades del concreto de alta resistencia* (tesis de pregrado). Universidad Ricardo Palma, Perú. Obtenido de: <https://hdl.handle.net/20.500.14138/3853>
- NRMCA. (2020). *CIP 5 - Agrietamiento por Contracción Plástica*. Obtenido de: <https://www.nrmca.org/wp-content/uploads/2020/04/CIP5es.pdf>
- Ñaupas, D. y Sosa, D. (2019). *Comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibra de acero en el análisis estructural de placas en el proyecto de ampliación del Centro Médico San Conrado en Los Olivos, Lima - Perú* (tesis de pregrado). Universidad San Martín de Porres. Obtenido de: <https://repositorio.usmp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12727/5288/%C3%B1a-upas-sosa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Perles, P. (2006). *Hormigón armado*. Buenos Aires, Argentina: Nobuko. Obtenido de: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=4fLpxffkb90C&oi=fnd&pg=PA6>

&dq=que+es+el+hormigon+armado&ots=iAgIqjcuGP&sig=WT67HapGzkHiQ
MZI33Ip2PhH5r0#v=onepage&q&f=false

- Orozco, M., Avila, Y., Restrepo, S. y Parody, A. (2018). Factores influyentes en la calidad del concreto: una encuesta a los actores relevantes de la industria del hormigón. *Revista Ingeniería de Construcción*, 33(3), 161-163. doi: 10.4067/S0718-50732018000200161
- Ortiz, J. y Vélez, E. (2021). *Implementación de nanomateriales como Material Cementicio Suplementario (SCM) en el desarrollo de Hormigones de Ultra Alta Resistencia (UHPC)* (tesis de pregrado). Universidad de Cuenca, Ecuador. Obtenido de: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/35988>
- Ramos, J. (2021). *Estudio del comportamiento de vigas de concreto reforzadas y con refuerzo secundario adicional de fibras de acero que presentan aberturas horizontales transversales* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Obtenido de: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/20.500.12773/12498>
- Rincón, S. y Villafuerte, L. (2018). *Efectos de la retracción por secado y cargas térmicas en el comportamiento deformacional de losas de un concreto de ultra alto desempeño (UHPC) empleadas como pavimento rígido* (tesis de posgrado). Pontificia Universidad Javeriana, Colombia. Obtenido de: <http://hdl.handle.net/10554/40812>
- RNE. (2020). Norma E.060 Concreto Armado. Obtenido de: <https://www.gob.pe/institucion/sencico/informes-publicaciones/887225-normas-del-reglamento-nacional-de-edificaciones-rne>
- Rogontino, F. (2018). *Diseño de mezclas de morteros cementicios de ultra alta prestaciones* (tesis de posgrado). Universidad Politécnica de Madrid, España. Obtenido de: <https://oa.upm.es/53180/>
- Rojales, A., Gómez, L., Farroñan, M., Chuzón, N. y Muñoz, S. (2021). Adiciones de fibras de acero para mejorar las propiedades mecánicas del concreto: Una revisión literaria. *Epistemia*, 5(1). doi:10.26495/re.v5i1.1838
- Toxement. (2021). *Fisuras por retracción plástica*. Euclid Group. Obtenido de: https://www.toxement.com.co/media/3443/retraccio-n_pla-stica.pdf
- Saavedra, D. (2020). *Evaluación de la contracción por secado de concretos de ultra-altas prestaciones con y sin fibras* (tesis de pregrado). Escuela Colombiana de

- Ingeniería Julio Garavito. Obtenido de:
<https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/1322>
- Sanchís, C. (2019). *Análisis del comportamiento frente a cargas de impacto térmico de elementos de hormigón de ultraalta resistencia* (tesis de pregrado). Universidad de Sevilla, España. Obtenido de: <https://hdl.handle.net/11441/90926>
- Sarta, H y Silva, José (2017). Análisis comparativo entre el concreto simple y el concreto con adición de fibra de acero al 4% y 6%. Obtenido de: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14513/1/AN%C3%81LISIS%20COMPARATIVO%20ENTRE%20EL%20CONCRETO%20SIMPLE%20Y%20EL%20CONCRETO%20CON%20ADICI%C3%93N%20DE%20FIBRA%20DE%20ACERO%20AL%204%25%20Y.pdf>
- Shen, D., Liu, X., Li, Q., Sun, L. y Wang, W. (2019). Early-age behavior and cracking resistance of high-strength concrete reinforced with Dramix 3D steel fiber. *Construction and Building Materials*, 196, 307-316. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.10.125
- Sika (s.f.). Concreto; Concreto reforzado con fibras. Obtenido de: <https://col.sika.com/content/dam/dms/co01/6/Concreto%20reforzado%20con%20fibras.pdf>
- Sosa, M. (2018). *Estudio de la contracción por secado en morteros y hormigones con agregados finos reciclados* (tesis de doctorado). Universidad Nacional de la Plata, Argentina. Obtenido de: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/68757>
- Srishti, B. y Venkatesh, K. (2022). Effect of temperature on mechanical properties of ultra-high performance concrete. *Fire and Materials*, 46(1), 287-301. doi: 10.1002/fam.2979
- Valentim, D., Aaleti, S. y Kreger, M. (2022). Evaluation of Test Methods to Characterize Tensile Strength of Ultra-High-Performance Concrete. *ACI Materials Journal*, 119(4), 165-176. doi: 10.14359/51734835
- Wang, J. y Yail, K. (2020). Functional Characteristics of Ultra-High-Performance Concrete Comprising Various Fibers. *ACI Materials Journal*, 117(5), 179-191. doi: 10.14359/51725978
- Yu, R., Spiesz, P. y Brouwers, H. (2015). Development of Ultra-High Performance Fibre Reinforced Concrete (UHPFRC): Towards an efficient utilization of binders and

fibres. *Construction and Building Materials*, 79(15), 273-285. doi:
10.1016/j.conbuildmat.2015.01.050

Zerbino, R., Giaccio, G. y Torrijos M. (2016). Hormigones de ultra alta resistencia reforzados con fibras. *VII Congreso Internacional - 21ª Reunión Técnica de la AATH*. Obtenido de: <https://digital.cic.gba.gob.ar/items/5f64cee4-fa50-4550-b61f-96d9acf7fdec>

ANEXOS

Anexo N° 1: Matriz de consistencia	101
Anexo N° 2: Matriz de generalidades de investigaciones consultadas.....	103
Anexo N° 3: Matriz de Subtemas – Justificación – Objetivos específicos.....	119

Anexo N° 1: Matriz de consistencia

TÍTULO: Hormigón de ultra alta resistencia reforzado con fibras de acero para evitar el agrietamiento plástico

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variable	Indicadores
Problema general	Objetivo general	Hipótesis principal	Variable independiente	
¿De qué manera el diseño de un hormigón de ultra alta resistencia reforzada con fibras de acero evita el agrietamiento plástico?	Determinar el diseño de un hormigón de ultra alta resistencia reforzada con fibras de acero para evitar el agrietamiento plástico.	Al diseñar un hormigón de ultra alta resistencia reforzado con fibras de acero, se evita el agrietamiento plástico.	Fibras de acero.	Porcentaje de fibras de acero. Porcentaje de aditivos a base de polycarboxilato
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis secundarias	Variable dependiente	
a. ¿De qué manera el porcentaje de fibras de acero influye en la resistencia a la compresión del hormigón de ultra alta resistencia?	a. Determinar el porcentaje de fibras de acero para incrementar la resistencia a la compresión del hormigón de ultra alta resistencia.	a. El porcentaje de fibras de acero incrementa la resistencia a la compresión del hormigón de ultra alta resistencia.		Resistencia a la compresión del UHPC.
b. ¿De qué manera el porcentaje de fibras de acero influye en la resistencia a la tracción del hormigón de ultra alta resistencia?	b. Determinar el porcentaje de fibras de acero para incrementar la resistencia a la tracción del hormigón de ultra alta resistencia.	b. El porcentaje de fibras de acero incrementa la resistencia a la tracción del hormigón de ultra alta resistencia.	Agrietamiento plástico.	Resistencia a la tracción del UHPC.
c. ¿De qué manera el porcentaje de fibras de acero influye en la resistencia a la flexión del hormigón de ultra alta resistencia?	c. Determinar el porcentaje de fibras de acero para incrementar la resistencia a la flexión del hormigón de ultra alta resistencia.	c. El porcentaje de fibras de acero incrementa la resistencia a la flexión del hormigón de ultra alta resistencia.		Resistencia a la flexión del UHPC.

d. ¿De qué manera el porcentaje de aditivos a base de policarboxilato influye en la trabajabilidad del hormigón de ultra alta resistencia?	d. Determinar el porcentaje de aditivos a base de policarboxilato para incrementar la trabajabilidad del hormigón de ultra alta resistencia.	d. El porcentaje de aditivos a base de policarboxilato incrementa la trabajabilidad del hormigón de ultra alta resistencia.	Trabajabilidad del UHPC
e. ¿De qué manera el porcentaje de fibras de acero influye en la contracción del hormigón de ultra alta resistencia?	e. Determinar el porcentaje de fibras de acero para reducir la contracción del hormigón de ultra alta resistencia.	e. El porcentaje de fibras de acero reduce la contracción del hormigón de ultra alta resistencia.	Contracción del UHPC

Fuente: Elaboración propia.

Anexo N° 2: Matriz de generalidades de investigaciones consultadas

N°	Título	Autor	Año	Tipo de investigación	Resumen	Conclusiones	Fuente
1	Aplicación de concretos de ultra altas prestaciones (UHPFRC) a la construcción de puentes.	Brayan Alexande Cespedes Herrera	2021	Tesis de pregrado	Evaluó el uso y ventajas del UHPFRC en la construcción de puentes, con el análisis de diversos ejemplos en Colombia. También detalla los obstáculos de su uso tales como su alto costo y la falta de normas.	Se obtuvieron diseños con alta resistencia a la compresión, mayores a 150 MPa, permitiendo reducir los espesores de secciones transversales.	Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito
2	Estudio del comportamiento mecánico del hormigón de ultra altas prestaciones (UHPC) reforzado con fibras híbridas y con consumo reducido de cemento.	R. Christ, F. Pacheco, H. Ehrenbring, U. Quinino, M. Mancio, B.F. Tutikian	2019	Artículo	Se evaluó el UHPC reforzados con fibras de acero y polipropileno, su consistencia, resistencias a la compresión y flexión, y tenacidad. Se obtuvo una resistencia a la compresión de 180 MPa, con 80% de fibras de acero y 20% de fibras de polipropileno. Además, la combinación de fibras aumentó la tenacidad.	La presencia de fibras de acero en la mezcla mejora el comportamiento del UHPC, su resistencia a la compresión sin comprometer las propiedades de la matriz.	Revista de ingeniería de construcción

3	Estudio numérico del comportamiento a flexión de una viga de hormigón de ultra altas prestaciones y pretensado.	Alicia Afán	2020	Tesis de posgrado	Se realizó un estudio numérico del comportamiento mecánico y en fractura de hormigones de ultra altas prestaciones reforzados con fibras de acero y pretensado. Se modeló una viga biapoyada con una carga uniformemente aplicada hasta llegar a su rotura. Se obtuvo un mejor comportamiento mecánico frente a la acción de las cargas externas gracias al efecto del pretensado.	El empleo de un hormigón de ultra altas prestaciones mejora el comportamiento general de la estructura frente a la acción de las cargas, aumentando un 129% la carga máxima de rotura y, un 102% más, la flecha correspondiente a dicha carga máxima.	Universidad de Sevilla
4	Hormigones de ultra alta resistencia reforzados con fibras.	Raúl Zerbino, Graciela Giaccio, María Celeste Torrijos	2016	Artículo	Se evaluaron los criterios de diseño y propiedades del hormigón de alta resistencia y se muestran resultados que evidencian el efecto de la incorporación de microfibras en la respuesta mecánica de losas y placas de 20 mm de espesor.	El HUARRF posee gran potencialidad para refuerzo, rehabilitación o construcción de estructuras expuestas a cargas extremas.	Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica

5	Refuerzo de estructuras con morteros de ultra alta resistencia, reforzados con fibras, en capa delgada.	Pedro Madera	2020	Artículo	La investigación evalúa el refuerzo de elementos de hormigón con morteros de ultra alta resistencia con fibras metálicas. Los morteros cuentan con alta resistencia a la tracción y compresión, permitiendo obtener una sección reforzada de mayor capacidad resistente.	Se obtuvo resultados de resistencia a la compresión entre 90 y 130 MPa, se realizaron ensayos de resistencia a la tracción por flexión y de resistencia al corte por rasante.	Hormigón y Acero
6	Estudio del comportamiento a altas temperaturas de elementos de hormigones de ultra altas prestaciones reforzados con fibras de acero y polipropileno.	Andres Muñoz	2018	Máster	Se ensayaron probetas de hormigones de ultra altas prestaciones reforzados con fibras a temperatura ambiente para compararlo a distintas temperaturas, evaluar su comportamiento y daño causado. Entre sus resultados obtuvo que es un material con buenas propiedades mecánicas y trabajabilidad in situ.	Se produce un aumento de la resistencia a compresión desde los 100°C hasta los 200°C, a 300°C disminuye a un 87% de la resistencia tomada a temperatura ambiente.	Universidad de Sevilla

7	Evaluación de la contracción por secado de concretos de ultra altas prestaciones con y sin fibras.	David Mauricio Saavedra Ríos	2020	Pregrado	La investigación evaluó el UHPC adicionando fibras de acero y otros materiales cementantes, buscando reducir la contracción por secado del concreto. La adición de un 2% de microfibra metálica disminuyó la contracción seca de un 10.8% en los 5 primeros días.	El reforzamiento del concreto UHPC con fibras de acero dosificadas al 2% de volumen de concreto reduce la contracción por secado del concreto.	Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito
8	Experimental Investigation on the Effect of Steel Fibers on the Flexural Behavior and Ductility of High-Strength Concrete Hollow Beams	Ahmmad Abbass, Sallal Abid, Mustafa O' zakça	2019	Artículo	Se comparó el comportamiento a flexión de vigas de hormigón con fibras de acero sólidas y huecas. Se prepararon ocho probetas de vigas, cuatro macizas y cuatro huecas. Se utilizó fibra de acero de 0, 0,5, 1,0 y 1,5%. Obtuvieron índices de ductilidad superiores a 3.7, las vigas huecas tuvieron mejor ductilidad que las sólidas.	El comportamiento a la flexión de las vigas con fibras fue mayor al de las vigas sin fibra debido a la acción de puenteo de grietas de las fibras.	Advances in Civil Engineering

9	Early-age behavior and cracking resistance of high-strength concrete reinforced with Dramix 3D steel fiber	Dejian Shen, Xingzuo Liu, Qiyao Li, Lei Sun, Wenting Wang	2019	Artículo	Se estudió las propiedades del HSC reforzado con fibra de acero Dramix 3D a una edad temprana. Obteniendo resultados como la disminución del valor absoluto de la contracción de HSC con el aumento de la fibra de acero Dramix 3D y la mejora en la resistencia al agrietamiento de HSC.	La adición de fibra de acero Dramix 3D fue más efectiva para mejorar la resistencia al agrietamiento que la fibra de acero ordinaria cuando sus cantidades eran las mismas.	Construction and Building Materials
10	Implementación de nanomateriales como Material Cementicio Suplementario (SCM) en el desarrollo de Hormigones de Ultra Alta Resistencia (UHPC)	Jonnathan Fabricio Ortiz Navos y Efraín Mateo Vélez Hernández	2021	Tesis de pregrado	Se estudió los resultados de incorporar Nanosílice, Nanotubos de Carbono en la mezcla de UHPC. Se elaboraron 389 muestras cúbicas. Se realizó el curado a 18°C y 60 °C. Además, se estudió la resistencia a compresión simple, tracción por compresión indirecta y módulo de elasticidad.	La trabajabilidad disminuyó y la densidad aumentó con un mayor porcentaje de incorporación del nanomaterial. Los mejores resultados se obtuvieron con la adición de NS al 2% y CNT al 0.25%	Universidad de Cuenca

11	Estudio microestructural de hormigones de ultra altas prestaciones reforzado con fibras de acero mediante tomografía axial computarizada	Kevin Guenois	2019	Máster	Este trabajo consiste en el estudio a microescalas de dos matrices de hormigón de ultra altas prestaciones, utilizando la composición y dosificación prescrita en el trabajo realizado, añadiéndoles un volumen distinto de micro y macro fibras de aceros (la primera un 0.5% y segunda 1.5%).	A mayores cantidades de fibras añadidas, el volumen de porosidad disminuía linealmente. Las microfibras actúan como mezcladores durante el amasado, ayudando a controlar y disminuir la porosidad	Universidad de Sevilla
12	Caracterización de hormigón de ultra altas prestaciones	Fiengo Pérez, Fabián; Sfer, Domingo; Isla, Facundo; Gutiérrez, Sergio E.	2016	Artículo	El Hormigón de Ultra-Altas Prestaciones (HUAP) surge como alternativa válida para la construcción de estructuras capaces de soportar cargas extremas provenientes de accidentes (explosiones, fuego) y desastres naturales (terremotos, inundaciones, huracanes). Su resistencia y durabilidad hacen de este material el más indicado para la construcción o refuerzo de este tipo de estructuras.	El procedimiento de elaboración y curado descrito en el apartado 2.4, es efectivo y ha permitido obtener un HUAP de 150 MPa de resistencia a compresión uniaxial o más	Universidad Nacional de Tucumán

13	Comparative flexural behavior of ultra-high-performance concrete reinforced with hybrid straight steel fibers	Yoo Doo-Yeol, Kim Sung-Wook & Park Jung-Jun	2017	Artículo	Este artículo investiga la influencia de las fibras en el comportamiento a flexión del hormigón de ultra alto rendimiento, empleando fibras de 3 dimensiones y en diferente dosificación. Para su evaluación se realizó un análisis micro mecánico para obtener la curva de puenteo de fibras.	El empleo de fibras medianas mejoró el comportamiento a flexión del hormigón. Sin embargo, las fibras largas y cortas disminuyeron su rendimiento. Las fibras medianas mejoraron la tenacidad y el comportamiento de agrietamiento.	Construction and Building Materials
----	---	---	------	----------	--	---	-------------------------------------

14	Ultra-high performance concrete: From fundamental to applications	N.M. Azmee, N Shafiq.	2018	Artículo	Esta investigación trata acerca de la descripción del UHPC, las ventajas que presenta sobre el concreto convencional y las limitaciones que enfrenta como el alto costo inicial. Definen el UHPC como un hormigón con una resistencia a la compresión mínima de 150 MPa con el uso de fibra de acero para asegurar un comportamiento dúctil bajo tensión.	Se determinó que para realizar la mezcla del UHPC se debe minimizar la porosidad, mejorar la microestructura con tratamiento térmico luego del fraguado, eliminar agregado grueso y aumentar el comportamiento dúctil añadiendo fibras de acero.	Case Studies in Construction Materials
15	Development of Ultra-High Performance Fibre Reinforced Concrete (UHPRFC): Towards an efficient utilization of binders and fibres	R. Yu, P Spiesz, H.J.H. Brouwers	2015	Artículo	El artículo presenta un método para desarrollar UHPRFC, el modelo de empaquetamiento de partículas. Se analiza y determina la fluidez, propiedades mecánicas y tenacidad a la flexión. Con ello se requiere de una cantidad de aglomerante baja y bajo contenido en fibra, obteniéndose una mejor fluidez y mejores propiedades mecánicas.	La combinación de tipo y dimensiones de fibras mejora la trabajabilidad del hormigón. Las fibras cortas mejoran la resistencia a la compresión, y las fibras rectas son menos efectivas para mejorar la tenacidad a la flexión.	Construction and Building Materials

16	The influence of steel fibres on compressive and tensile strength of ultra high performance concrete: A review	Ingrid Lande Larsen, Rein Terje Thorstensen	2020	Artículo	El artículo presenta una revisión bibliográfica sobre la influencia de las fibras de acero en la resistencia a la compresión y a la tracción del UHPC. Esta influencia está ligada al contenido de fibra, el tipo y las combinaciones de distintos tipos. Se realizó una revisión de 37 investigaciones, con resultados a los 28 días de curado y distintas características y dosificación de fibra.	La geometría de las fibras influye en la resistencia del hormigón. Las fibras rectas en menor volumen favorecen más a la resistencia a la tracción y compresión.	Construction and Building Materials
17	Influencia del exponente Fuller, la relación agua conglomerante y el contenido en policarboxilato en las propiedades de concretos de muy altas prestaciones	Joaquín Abellán, Nancy Torres, Andrés Nuñez y Jaime Fernández	2018	Artículo	Este artículo estudia la influencia del exponente de Fuller y el desarrollo de un diseño factorial para reducir el número de ensayos necesarios. Este componente determina la proporción de contenido de pasta de cemento/agregados e influye en las propiedades mecánicas y reológicas del hormigón. Se logró obtener un valor óptimo para la resistencia, fluidez, costo y sostenibilidad.	Aumentando el exponente se consigue una mayor resistencia inicial del concreto a 24 horas, pero la disminuye a 7 días, siendo el valor óptimo a los 28 días. Además, el superplastificante favorece a la fluidez.	IV Congreso Internacional de Ingeniería Civil (Cuba)

18	Aditivo superplastificante basado en copolímero para mejorar las propiedades del concreto de alta resistencia	Jeffrey Narrea y Dario Roncal	2020	Pregrado	Esta investigación estudió la adición de superplastificantes en el hormigón para mejorar sus propiedades físico-mecánicas. En la revisión bibliográfica se tomaron en cuenta las muestras ensayadas a los 28 días tomando en cuenta la dosificación de aditivo y relación a/c.	La adición de superplastificantes mejoró la trabajabilidad del hormigón, obteniendo valores de Slump Flow de 32.5 cm en dosis entre el 0.25% y 0.40%. También, influye en el aumento de la resistencia a la compresión.	Universidad Ricardo Palma
19	Adiciones de fibras de acero para mejorar las propiedades mecánicas del concreto: Una revisión literaria	Amilkar Rojas, Lucía Gómez, María Del Carmen Farroñan, Nathaly Chuzón y Sócrates Muñoz	2021	Artículo	El artículo realizó una revisión de 50 investigaciones para evaluar la influencia de las fibras de acero en las propiedades mecánicas del concreto. Se revisó los resultados de trabajabilidad, resistencia a la compresión, flexión, tracción, corte, torsión y al agrietamiento.	Se determinó que la influencia dependerá del porcentaje de adición y la forma de la fibra, observando que la corrugada favorece la resistencia, pero afecta la trabajabilidad, la cual disminuye con el aumento del contenido de fibra.	Epistemia

20	Diseño de mezclas de morteros cementicios de ultra alta prestaciones	Francesco Rogentino	2018	Máster	<p>La presente investigación buscaba diseñar una mezcla que alcanzara altas resistencias con métodos convencionales de dosificación y curado, obteniendo valores superiores a 150 MPa con el óptimo empaquetamiento de los áridos. Logrando así incluir esta mezcla de hormigón en las normas actuales, representando mayor confiabilidad.</p>	<p>La resistencia a la compresión aumentó con el incremento de la relación a/c. El humo de sílice influyó positivamente en el incremento de la resistencia. Además, el superplastificante mejoró la trabajabilidad de la mezcla.</p>	Universidad Politécnica de Madrid
21	Análisis experimental del comportamiento de hormigones de ultra-altas prestaciones a temperatura elevada	Alicia Afán Torrijos	2018	Pregrado	<p>Esta investigación analizó el comportamiento mecánico y en fractura de hormigones de ultra alta resistencia reforzados con fibras de acero y polipropileno. Se realizaron ensayos compresión, tracción y flexo tracción, para comparar los resultados con los obtenidos de un hormigón convencional. Además, se realizaron ensayos a temperatura ambiente y a 300 °C</p>	<p>Incorporar en el hormigón las fibras de acero cortas aumenta la resistencia a compresión. Mientras que las fibras largas aumentan las deformaciones antes del momento de la rotura, aumentando la ductilidad.</p>	Universidad de Sevilla

22	Análisis del comportamiento frente a cargas de impacto térmico de elementos de hormigón de ultraalta resistencia	Carla Sanchís	2019	Pregrado	Esta investigación analizó el comportamiento mecánico y en fractura de hormigones de ultra alta resistencia reforzados con fibras de acero y polipropileno sometido a pruebas en temperatura ambiente y a 300°C. Para ello realizan ensayos con este hormigón y el convencional, de esa forma para observar las diferencias, ventajas o desventajas.	Los hormigones sin fibras disminuyen su energía de fractura tras un choque térmico, mientras que los hormigones con fibras lo hacen en todos los casos. Además, se observó que los hormigones con fibra incrementan la resistencia a la compresión	Universidad de Sevilla
23	Efectos de la retracción por secado y cargas térmicas en el comportamiento deformacional de losas de un concreto de ultra alto desempeño (UHPC) empleadas como pavimento rígido	Sara Rincon y Luis Villafuerte	2018	Máster	En esta investigación se centra en las losas para pavimentos rígidos de diferente espesor. Se analizan los métodos y ensayos que caracterizan las propiedades mecánicas y térmicas del UHPC. También el procedimiento para medir las deformaciones unitarias.	El comportamiento deformacional en estado endurecido y bajo temperatura ambiente del UHPC frente a cargas térmicas y retracción por secado se encuentra dentro del rango elástico. Cuando la humedad relativa disminuye, los materiales se contraer; si aumenta, los materiales se expanden.	Pontificia Universidad Javeriana

24	Functional Characteristics of Ultra-High-Performance Concrete Comprising Various Fibers	Jun Wang y Yail J. Kim	2020	Artículo	En el artículo se estudió la influencia del tipo y porcentaje de fibra incorporado, la relación a/c y los otros componentes del UHPC en su retracción y fluencia. Observando que la contracción del hormigón disminuyó con el aumento de la relación a/c y las fibras de acero.	La contracción del UHPC en un primer momento aumentó y luego decreció con el aumento en el contenido de fibras de acero. La esbeltez, forma, rugosidad superficial y módulo de elasticidad de las fibras influyeron en la contracción y la fluencia unitaria del UHPC.	ACI Materials Journal
25	Effects of Type and Content of Fibers, Water-to-Cement Ratio, and Cementitious Materials on the Shrinkage and Creep of Ultra-High Performance Concrete	Ying Chen, Peng Liu, Fei Sha, Zhiwu Yu, Sasa He, Wen Xu y Maofeng Lv	2022	Artículo	En el presente artículo se presentan los beneficios en costo y uso del hormigón de ultra alto rendimiento (UHPC). Para ello se realizaron ensayos usando probetas cilíndricas y prismáticas. Emplearon una dosificación de fibra de 180 kg/m ³ y una relación a/c de 0.22	Con la inclusión de fibras de acero, la contracción en el hormigón se desarrolló lentamente. Además, esta se vio influenciada por la morfología de las fibras.	Polymers

26	Fundamental Investigations on the Performance of Micro Steel Fibres in Ultra-	Jan-Paul Lanwer y Martin Empelmann	2021	Artículo	Este artículo estudio el comportamiento de fatiga por tracción de las fibras de acero de alta resistencia en el UHPFRC, así como el comportamiento de la interacción entre estas. Para los ensayos se emplearon fibras de diferentes longitudes, se realizaron pruebas de tracción de las fibras de acero bajo carga monotónica y cíclica, y con los resultados obtenidos se realizó una curva para su evaluación.	Las fibras de acero fueron extraídas de la matriz del hormigón bajo carga monótona, por lo que no se produjo rotura de fibras. La máxima resistencia a la extracción en el programa de prueba fue un tercio de la resistencia a la tracción de la fibra.	Applied Sciences
27	Evaluation of Test Methods to Characterize Tensile Strength of Ultra-High-Performance Concrete	Daniel Bridi Valentim, Sriram Aaleti y Michael Kreger	2022	Artículo	El presente artículo comparó 3 métodos de pruebas para la evaluación de la respuesta a la tracción de una mezcla de UHPC. Se realizaron ensayos de tensión directa, la prueba de doble filo, prueba de división en cuña y la prueba de flexión de cuatro puntos. Además, se realizó una relación entre la longitud de las fibras y la resistencia a la tracción medida.	No hubo diferencia significativa entre las resistencias a la tracción obtenidas de las muestras y las estimadas utilizando un método de análisis inverso. Además, se observó que los extremos de los especímenes tenían un 60% menos de contenido de fibra.	ACI Materials Journal

28	Effect of temperature on mechanical properties of ultra-high performance concrete	Banerji, Srishti ; Kodur, Venkatesh	2022	Artículo	El artículo estudió el efecto de la temperatura en las propiedades mecánicas de UHPC. Se realizaron 2 mezclas de UHPC, una con fibras y la otra sin fibras, bajo temperaturas entre 20° a 750°C. Se evaluaron la resistencia a la compresión, tracción y el módulo elástico. Los resultados obtenidos se compararon a los de un hormigón convencional.	En el UHPC se disminuye más rápido la resistencia a la compresión y el módulo elástico en comparación con el hormigón convencional. Sin embargo, el UHPC presenta una disminución más lenta de la resistencia a la tracción por las fibras de acero.	Fire and Materials
29	Effects of Steel Fiber and Specimen Geometric Dimensions on the Mechanical Properties of Ultra-High-Performance Concrete	Fang, Haozhen ; Gu, Mingen ; Zhang, Shufeng ; Jiang, Haibo ; Fang, Zhuangcheng	2022	Artículo	En este artículo se analizó las propiedades del UHPC, mediante ensayos realizados a las edades de 3 a 28 días, con mezclas de diferente tipo, dimensión y volumen de fibras, para evaluar también la influencia de su morfología en la mezcla del hormigón.	Se observó que el módulo elástico, la tensión máxima de tracción y la deformación aumentaron a medida que aumentaba el volumen de fibra y la edad de curado. Los especímenes con fibras en forma de gancho presentan un mejor rendimiento a la tracción que las fibras rectas.	Materials

30	Synergistic effect of steel fibres and coarse aggregates on impact properties of ultra-high performance fibre reinforced concrete	PP Li, Y. YY Cao, M. JC Sluijsmans, H. JH Brouwers, Qingliang Yu	2021	Artículo	El artículo estudió el efecto sinérgico de las fibras de acero y los agregados gruesos en UHPFRC. Se empleó un modelo de empaque de partículas. Además, se analizaron 3 tipos de fibras de acero.	Las fibras medianas y largas favorecen al comportamiento de deflexión/endurecimiento por deformación. Además, las fibras más largas son más compatibles con los agregados más gruesos.	Cement and Concrete Composites
----	---	--	------	----------	---	--	--------------------------------

Fuente: Elaboración propia.

Anexo N° 3: Matriz de Subtemas – Justificación – Objetivos específicos

Subtemas (Indicadores)	Definición / Justificación del subtema/ delimitación temporal (si aplica)	Objetivo
Resistencia a la compresión	Esta resistencia es la capacidad que tiene el hormigón de soportar una carga por unidad de área. Es la principal característica mecánica del concreto, las unidades más empleadas son kg/cm ² y MPa.	Determinar el porcentaje de fibras de acero para incrementar la resistencia a la compresión del UHPC
Resistencia a la tracción	Esta resistencia es el máximo esfuerzo de tracción al que pueden ser sometida una probeta, luego de superar esta resistencia se produce su rotura. Las unidades más empleadas son kg/cm ² y MPa.	Determinar el porcentaje de fibras de acero para incrementar la resistencia a la tracción del UHPC
Resistencia a la flexión	Esta resistencia es la capacidad del hormigón para soportar fuerzas que son aplicadas de manera perpendicular al eje longitudinal. Realizar ensayos de flexión permiten determinar las propiedades mecánicas relacionadas a las deformaciones en los puntos máximos y de rotura.	Determinar el porcentaje de fibras de acero para incrementar la resistencia a la flexión del UHPC
Trabajabilidad	Se denomina a la propiedad que otorga la facilidad, en un hormigón recién mezclado, de trabajar. Esto se puede ver afectado por los valores empleados de a/c y la inclusión de fibras o de aditivos.	Determinar el porcentaje de aditivos a base de policarboxilato para incrementar la trabajabilidad del UHPC
Contracción	Es el cambio en el volumen del hormigón. Se puede presentar durante su producción, traslado, vaciado y curado. Uno de los principales signos de que se está produciendo la contracción en el hormigón es con la aparición de fisuras.	Determinar el porcentaje de fibras de acero para reducir la contracción del UHPC.

Fuente: Elaboración propia.