

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**INFLUENCIA DE LOS ADITIVOS DE CADENA CORTA Y
CADENA LARGA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL
CONCRETO CON INCORPORACIÓN DE MICROSÍLICE**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

PRESENTADO POR:

Bach. AMEZ FELIX, RAUL MARTIN

Bach. ENRICO HUAMAN, BRUCE NILL

ASESORA: Mg. Ing. CHAVARRÍA REYES, LILIANA JANET

LIMA – PERÚ

2020

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi madre y a mi tío, por apoyarme constantemente en seguir adelante, por hacer de todo para que pueda alcanzar mis metas y no desviarme de mis objetivos. A mis demás familiares, por ser el soporte y motivación de seguir adelante. Gracias por tanta paciencia.

Raul Martin Amez Felix

Dedico esta tesis a mi madre, abuelos y hermanos, por su apoyo constante, por alentarme cada día a seguir adelante para cumplir con mis ideales y hacer de mí una gran persona.

Bruce Nill Enrico Huaman

AGRADECIMIENTO

A nuestra asesora la Mg. Ing. Liliana Chavarría por su paciencia y constante apoyo para lograr con este objetivo más en nuestras vidas.

A nuestro metodólogo el Dr. Ing. Carlos Chavarry por su conocimiento y asesoría constante.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1 Determinación de la realidad problemática	3
1.2 Contextualización y delimitación del problema	4
1.3 Formulación del problema.....	6
1.3.1 Problema general	6
1.3.2 Problemas específicos.....	6
1.4 Objetivos.....	6
1.4.1 Objetivo general.....	6
1.4.2 Objetivos específicos	6
1.5 Justificación de la investigación	7
1.5.1 Conveniencia	7
1.5.2 Relevancia social	7
1.5.3 Aplicaciones prácticas	7
1.5.4 Utilidad metodológica.....	7
1.5.5 Valor teórico	7
1.6 Importancia de la investigación	8
1.7 Alcance de la investigación	8
1.8 Limitaciones de la investigación.....	8
1.9 Delimitación de la investigación.....	8
1.9.1 Delimitación temporal	8
1.9.2 Delimitación temática	9
1.9.3 Delimitación muestral.....	9
1.10 Viabilidad del estudio	9
CAPÍTULO II: ASPECTOS TEÓRICOS	10
2.1 Marco histórico	10
2.2 Antecedentes de investigación.....	11
2.2.1. Antecedentes nacionales	11

2.2.2. Antecedentes internacionales.....	18
2.3 Estructura teórica y científica que sustenta el estudio	84
2.3.1. Aditivos.....	84
2.3.2. Aditivos químicos	85
2.3.3. Aditivo de cadena corta de naftaleno y melamina sulfonada	87
2.3.4. Aditivo de cadena larga de policarboxilato	88
2.3.5. Concreto de alta resistencia	89
2.3.6. Concreto autocompactante.....	89
2.3.7. Concreto de alto rendimiento o desempeño.....	90
2.3.8. Microsílice	91
2.4 Definiciones y términos básicos	91
CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS	94
3.1 Hipótesis	94
3.1.1 Hipótesis General.....	94
3.1.2 Hipótesis Específicas	94
3.2 Variables	94
3.2.1 Definición conceptual de la variable	94
3.2.1.1 Variable Dependiente	94
3.2.1.2 Variable Independiente	94
3.2.2 Definición operacional de la variable	94
3.2.2.1 Definición de la Variable Independiente	94
3.2.2.2 Definición de la Variable Dependiente.....	95
3.2.3 Operacionalización de las variables.....	96
CAPÍTULO IV: MARCO METODOLÓGICO	98
4.1 Método de la investigación	99
4.2 Tipo de la investigación.....	99
4.3 Nivel de la investigación.....	99
4.4 Diseño de la investigación	99
4.5 Población	100
4.6 Muestra	100
4.7 Técnica de la investigación.....	100
4.8 Instrumentos de recolección de datos	101
4.8.1 Método y técnica.....	101

4.8.2	Validez del instrumento	101
4.8.3	Fiabilidad y consistencia del instrumento.....	101
4.9	Procesamiento y análisis estadístico de los datos	101
CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN		102
5.1.	Presentación de resultados	102
5.2.	Interpretación de resultados	125
5.2.1	Hipótesis general.....	125
5.2.2	Hipótesis específicas.....	150
5.3.	Contrastación de hipótesis	173
5.3.1	Contrastación de hipótesis general	173
5.3.2	Contrastación de hipótesis específicas.....	174
DISCUSIÓN		177
CONCLUSIONES		180
RECOMENDACIONES.....		182
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		183
ANEXOS		198
Anexo 1: Matriz de consistencia - Influencia de los aditivos de cadena corta y cadena larga en las propiedades mecánicas del concreto con incorporación de microsílíce		199
Anexo 2: Matriz M1 - Selección documental (1)		201
Anexo 3: Matriz M1 - Selección documental (2)		202
Anexo 4: Matriz M1 - Selección documental (3)		203
Anexo 5: Matriz M1 - Selección documental (4)		204
Anexo 6: Matriz M1 - Selección documental (5)		205
Anexo 7: Matriz M1 - Selección documental (6)		206
Anexo 8: Matriz M1 - Selección documental (7)		207
Anexo 9: Matriz M1 - Selección documental (8)		208
Anexo 10: Matriz M1 - Selección documental (9)		209
Anexo 11: Matriz M1 - Selección documental (10)		210
Anexo 12: Matriz M1 - Selección documental (11)		211
Anexo 13: Matriz M1 - Selección documental (12)		212
Anexo 14: Matriz M1 - Selección documental (13)		213

Anexo 15: Matriz M1 - Selección documental (14)	214
Anexo 16: Matriz M1 - Selección documental (15)	215
Anexo 17: Matriz M2 - Presentación y justificación de subtemas y su conexión con los objetivos de investigación.....	216
Anexo 18: Matriz M3 - Síntesis por subtema (1)	217
Anexo 19: Matriz M3 - Síntesis por subtema (2)	218
Anexo 20: Matriz M3 - Síntesis por subtema (3)	219
Anexo 21: Matriz M3 - Síntesis por subtema (4)	220
Anexo 22: Matriz M3 - Síntesis por subtema (5)	221
Anexo 23: Matriz M3 - Síntesis por subtema (6)	222
Anexo 24: Matriz M3 - Síntesis por subtema (7)	223
Anexo 25: Matriz M3 - Síntesis por subtema (8)	224
Anexo 26: Matriz M3 - Síntesis por subtema (9)	225

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1: Operacionalización de Variable Independiente	96
Tabla N°2: Operacionalización de Variable Dependiente	97
Tabla N°3: Resultados de ensayos de resistencia mecánica con aditivo de cadena corta (1).....	103
Tabla N°4: Resultados de ensayos de resistencia mecánica con aditivo de cadena corta (2).....	104
Tabla N°5: Resultados de ensayos de resistencia mecánica con aditivo de cadena corta (3).....	105
Tabla N°6: Resultados de ensayos de resistencia mecánica con aditivo de cadena corta (4).....	106
Tabla N°7: Resultados de ensayos de resistencia mecánica con aditivo de cadena corta (5).....	108
Tabla N°8: Resultados de ensayos de resistencia mecánica con aditivo de cadena corta (6).....	109
Tabla N°9: Resultados de ensayos de resistencia mecánica con aditivos de cadena corta (7).....	111
Tabla N°10: Resultados de ensayos de resistencia mecánica con aditivos de cadena larga (1).....	112
Tabla N°11: Resultados de ensayos de resistencia mecánica con aditivos de cadena larga (2).....	113
Tabla N°12: Resultados de ensayos de resistencia mecánica con aditivos de cadena larga (3).....	114
Tabla N°13: Resultados de ensayos de resistencia mecánica con aditivos de cadena larga (4).....	115
Tabla N°14: Resultados de ensayos de resistencia mecánica con aditivos de cadena larga (5).....	116
Tabla N°15: Resultados de ensayos de resistencia mecánica con aditivos de cadena larga (6).....	118
Tabla N°16: Resultados de ensayos de resistencia mecánica con aditivos de cadena larga (7).....	119
Tabla N°17: Resultados de ensayos de resistencia mecánica con aditivos de cadena larga (8).....	120

Tabla N°18: Resultados de ensayos de resistencia mecánica con aditivos con cadena larga (9).....	121
Tabla N°19: Resultados de ensayos de resistencia mecánica con aditivos de cadena larga (10).....	122
Tabla N°20: Resultados de ensayos de resistencia mecánica con aditivos de cadena larga (11).....	123
Tabla N°21: Resultados de resistencia a la compresión de aditivos de cadena corta con relación a/c de 0.25	127
Tabla N°22: Resultados de resistencia a la compresión de aditivos de cadena larga con relación a/c de 0.25	129
Tabla N°23: Resultados de resistencia a la compresión de aditivos de cadena corta con relación a/c de 0.30	131
Tabla N°24: Resultados de resistencia a la compresión de aditivos de cadena larga con relación a/c de 0.30	133
Tabla N°25: Resultados de resistencia a la flexión con aditivos de cadena corta	135
Tabla N°26: Resultados de resistencia a la flexión con aditivos de cadena larga	137
Tabla N°27: Resultados de resistencia a la tracción con aditivos de cadena corta.....	139
Tabla N°28: Resultados de resistencia a la tracción con aditivos de cadena larga.....	141
Tabla N°29: Resultados de resistencia a la compresión según tipo de aditivo químico	144
Tabla N°30: Resultados de resistencia a la compresión a los 28 días con aditivos de cadena corta	151
Tabla 31: Resultados de resistencia a la compresión a los 28 días con aditivos de cadena larga	156
Tabla N°32: Resultados de asentamiento a relación a/c de 0.25 y 0.29	160
Tabla N°33: Resultados de asentamiento a relación a/c de 0.30 con aditivos de cadena corta	162
Tabla N°34: Resultados de asentamiento a relación a/c de 0.35 con aditivos de cadena corta	163
Tabla N°35: Resultados de asentamiento a relación a/c de 0.40 con aditivos de cadena corta	164
Tabla N°36: Resultados de asentamiento con relación a/c de 0.32	169
Tabla N°37: Resultados de asentamiento con relaciones de a/c de 0.30 y 0.40	171

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°1: Materiales cementantes suplementarios.....	86
Figura N°2: Composición química del naftaleno sulfonado.....	87
Figura N°3: Composición química del melamina sulfonada	88
Figura N°4: Composición química del policarboxilato modificado.....	89
Figura N°5: Ejemplo de volumen absoluto de los materiales usados en el concreto convencional y en el concreto autocompactante.....	90
Figura N°6: Resistencia a la compresión a los 28 días vs dosis de aditivo de cadena corta con relación a/c de 0.25	128
Figura N°7: Resistencia a la compresión a los 28 días vs dosis de aditivo de cadena larga con relación a/c de 0.25	130
Figura N°8: Resistencia a la compresión a los 28 días vs dosis de aditivo de cadena corta con relación a/c de 0.30	132
Figura N°9: Resistencia a la compresión a los 28 días vs dosis de aditivo de cadena larga con relación a/c de 0.30	134
Figura N°10: Resistencia a la flexión a los 28 días de curado vs dosis de microsílíce a diferentes a/c con aditivos de cadena corta.....	136
Figura N°11: Resistencia a la flexión a los 28 días vs dosis de microsílíce con aditivo de cadena larga y relación a/c 0.25.....	138
Figura N°12: Resistencia a la tracción a los 28 días vs dosis de microsílíce con aditivo de cadena corta al 3.0%	140
Figura N°13: Resistencia a la tracción a los 28 días vs dosis de microsílíce con aditivos de cadena larga.....	142
Figura N°14: Resistencia a la tracción a los 7, 28 y 56 días de curado con 0.5% de aditivo de cadena larga.....	143
Figura N°15: Resistencia a la compresión según tipo de aditivo químico al 5% a relación a/c = 0.15.....	145
Figura N°16: Resistencia a la compresión según tipo de aditivo químico al 4% a relación a/c = 0.20.....	146
Figura N°17: Resistencia a la compresión vs relación a/c con aditivos de cadena corta	152
Figura N°18: Resistencia a la compresión vs relación a/c a diferente dosis de microsílíce con aditivos de cadena corta	153

Figura N°19: Resistencia a la compresión vs relación a/c con aditivos de cadena larga	157
Figura N°20: Resistencia a la compresión vs relación a/c a diferente dosis de microsílíce	158
Figura N°21: Asentamiento vs dosis de microsílíce con 3% de aditivo de cadena corta	161
Figura N°22: Asentamiento vs dosis de microsílíce con aditivo de cadena corta de 1.6%	165
Figura N°23: Asentamiento vs dosis de cadena corta con microsílíce de 8.0% a relación de a/c de 0.30, 0.35 y 0.40	166
Figura N°24: Asentamiento vs dosis de microsílíce con aditivo de cadena larga de 0.5%	170
Figura N°25: Asentamiento vs dosis de microsílíce a relaciones de a/c de 0.30 y 0.40	172

RESUMEN

La presente tesis realizada lleva como título “Influencia de los aditivos de cadena corta y cadena larga en las propiedades mecánicas del concreto con incorporación de microsílíce”, tuvo como objetivo principal evaluar los aditivos en la resistencia mecánica del concreto con microsílíce, donde los aditivos de cadena corta se caracterizan por tener cadenas laterales no muy largas y una potente carga iónica mientras que, los de cadena larga aportan una contribución adicional basada en una dispersión generada por efectos estéricos alcanzando reducciones de agua mayores al 40%. La investigación fue documental/bibliográfica, el método empleado fue deductivo con orientación aplicada y enfoque cuantitativo. Tipo descriptivo, correlacional y nivel descriptivo. El instrumento de recolección de datos fue retrolectivo, descriptivo, correlacional y diseño experimental, longitudinal, retrospectivo y estudio de cohorte. Los resultados obtenidos para el asentamiento con una relación a/c de 0.25, aditivo químico del 3.0% y microsílíce al 10% para la cadena corta y larga fue 225 mm y 266 mm respectivamente. La resistencia a la compresión a los 28 días con una relación a/c de 0.15, aditivo químico al 5.0% y microsílíce al 25.0% para la cadena corta y larga fue 145.00 MPa y 158.90 MPa respectivamente, además en la resistencia a la flexión con una relación a/c de 0.29 y microsílíce al 10%, el aditivo de cadena corta al 3.0% alcanza 9.50 MPa y el de cadena larga con 1.0% obtuvo 13.80 MPa. Concluyéndose que los aditivos químicos proporcionan excelentes beneficios en las propiedades mecánicas de un concreto con microsílíce.

Palabras clave: Aditivo de cadena corta, aditivo de cadena larga, microsílíce, propiedades mecánicas

ABSTRACT

The present thesis carried out as title "Influence of short chain and long chain additives on the mechanical properties of concrete with incorporation of microsilica", had as main objective to evaluate the additives in the mechanical resistance of concrete with microsilica, where chain additives The short chain is characterized by having not very long side chains and a powerful ionic charge, while the long chain ones provide an additional contribution based on a dispersion generated by steric effects, achieving water reductions greater than 40%. The research was documentary / bibliographic, the method used was deductive with applied orientation and a quantitative approach. Descriptive, correlational type and descriptive level. The data collection instrument was retrolective, descriptive, correlational and experimental, longitudinal, retrospective and cohort study design. The results obtained for the settlement with a w/c ratio of 0.25, chemical additive of 3.0% and microsilica at 10% for the short and long chain were 225 mm and 266 mm respectively. The compressive strength at 28 days with a w / c ratio of 0.15, chemical additive at 5.0% and microsilica at 25.0% for the short and long chain was 145.00 MPa and 158.90 MPa respectively, in addition to the flexural strength with a w / c ratio of 0.29 and microsilica at 10%, the short chain additive at 3.0% reaches 9.50 MPa and the long chain additive with 1.0% obtained 13.80 MPa. Concluding that the additives offer excellent benefits in the mechanical properties of a concrete with microsilica.

Keywords: Short chain additive, long chain additive, microsilica, mechanical properties

INTRODUCCIÓN

La eficacia de los aditivos reductores de agua varía según la longitud de la cadena principal, el número y la longitud de la cadena lateral, el peso molecular, la estructura de enlace intermolecular, la composición química, la densidad, la propiedad de adsorción y el orden de adición a la mezcla de hormigón (Altun, Özen y Mardani-Aghabaglou, 2020, p. 2). Además, ésta eficacia de los superplastificantes depende también de diversos factores tecnológicos, tales como: características de los componentes del hormigón (cemento, superplastificantes y aditivos minerales), proporciones de la mezcla (proporción de agua a aglutinante, superplastificante, contenido de cemento y aditivos minerales, presencia de otros aditivos químicos) y los métodos y condiciones de producción del concreto (orden de adición, temperatura de la mezcla, tiempo transcurrido desde el final de la mezcla) (Gołaszewski, 2012, p. 587).

La presente tesis plantea evaluar la influencia de los aditivos de cadena corta y cadena larga en las propiedades del concreto con incorporación de microsílíce con el fin de optimizar un concreto de alta resistencia con las mejores características mecánicas, teniendo como público objetivo al sector construcción, clientes y público usuario con el propósito de dar a conocer los aditivos de mayor influencia en las propiedades mecánicas de concretos de alta resistencia, con ello conseguir construcciones de mayor calidad con una adecuada selección de aditivos. Teniendo como valor teórico el incremento de conocimiento sobre las bondades de los aditivos de cadena corta y cadena larga presentando resultados relevantes en las propiedades mecánicas del concreto, que servirán como fuente de información y antecedentes para la realización de otras investigaciones relacionadas al tema.

El Objetivo de la investigación es analizar los aditivos de cadena corta y cadena larga con incorporación de microsílíce para mejorar las propiedades mecánicas del concreto, utilizando la recolección de datos en las publicaciones científicas y tesis de investigación encontrados en las plataformas de datos académicos, conjuntamente se ha planteado cuatro objetivos específicos:

- Analizar la relación agua/cementante en el diseño con aditivos de cadena corta para mejorar las propiedades mecánicas del concreto con microsílíce.

- Analizar la relación agua/cementante en el diseño con aditivos de cadena larga para mejorar las propiedades mecánicas del concreto con microsílíce.
- Analizar los porcentajes de aditivos de cadena corta para mejorar el asentamiento del concreto con microsílíce.
- Analizar los porcentajes de aditivos de cadena larga para mejorar el asentamiento del concreto con microsílíce.

La investigación contiene 5 capítulos, siendo sus temas los siguientes: Capítulo I, Planteamiento del problema, se hace un análisis del problema del área en estudio según la descripción del problema que la afecta, para luego establecer los objetivos a desarrollar según los antecedentes históricos nacionales e internacionales indagados. En el Capítulo II, Aspectos teóricos, se desarrolla el tema de investigación, según las teorías y conceptos que abordarán el tema en estudio, para luego analizar y comparar las diferentes investigaciones o publicaciones desarrolladas por distintos autores, para asegurar la factibilidad del tema de estudio. En el Capítulo III, Hipótesis y variables, se formula la idea que enmarca esta tesis y su tema central, para sentar las bases de soluciones que serían los más factibles para el tema en investigación, además de identificar cada variable y operacionalizarlas. En el Capítulo IV, Metodología de la investigación, se describe el enfoque de investigación, así como también el tipo, nivel y diseño de investigación que se está desarrollando, además de la población, muestra e instrumento que utilizamos. En el Capítulo V, Presentación y análisis de resultados de la investigación, se contrasta la hipótesis general y específicas, además se determina el estadístico de contraste que se utilizará para probar las hipótesis para de esta manera conocer la relación de asociación entre los diversos autores estudiados.

Al final del documento se presentan la discusión, conclusiones de la investigación, así como también las recomendaciones.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Determinación de la realidad problemática

Según algunos autores, la tendencia actual de la tecnología del concreto es:

Aumentar la durabilidad y resistencia del concreto para satisfacer las demandas del mundo de la construcción moderna, además del uso idóneo de aditivos químicos y minerales, llamados superplastificantes, para la sustitución en el concreto con el fin de reducir los problemas ambientales (Priya, 2015).

En el Perú la construcción es una de las actividades económicas más importantes, la cual se encuentra siempre en constante desarrollo. Existen una variedad amplia de construcciones donde el material principal que se utiliza es el concreto, el cual se exige cada vez más que tenga mejores bondades para cumplir con los altos estándares de las personas.

Flores y Blas (2014) describen que el concreto tiene la necesidad de amoldarse a las nuevas exigencias cada vez más puntuales, que al utilizar un concreto de normal dosificación no es la solución con respecto a una mejor durabilidad, resistencia y calidad (pág. 2). Por ello, el concreto está en constante cambio para alcanzar mayores números en resistencia, durabilidad y calidad, en los que se pueda evitar problemas de flexión, tracción y compresión que puedan debilitar la estructura donde, en algunos casos, la mejor solución es la demolición de la estructura trayendo consigo altos costos (Zuñiga y Condori, 2019).

Para obtener estas mejoras se comenzó a incorporar dentro del componente cementicio, el microsílíce, este aditivo mineral que no se utiliza comúnmente debido a que se conoce poco de sus bondades que le brinda al concreto, ya que utilizarlo significa un incremento de costos (Zuñiga y Condori, 2019, p. 20), tiene como característica prevenir la corrosión de armaduras reduciendo la permeabilidad del concreto, también mejorar la reología de concretos previniendo la segregación, además de incrementar considerablemente la resistencia a la compresión pero este aditivo no mejora los tiempos de fraguados en cambio genera un aumento en la demanda de agua por lo que, para mejorar estos aspectos

son utilizados aditivos químicos que dispersan las partículas del cemento para mejorar las propiedades del concreto en su estado fresco y endurecido a cualquier edad, retardar el fraguado, mayor trabajabilidad, entre otros beneficios.

Los superplastificantes ayudan en la dispersión de partículas en la pasta de cemento y aumentan la trabajabilidad para la construcción (Matsuzawa, Shimazaki, Kawakami y Sakai, 2019, p. 218) pese a ello, los aditivos químicos utilizados en la producción de hormigón a veces pueden causar efectos negativos no deseados, así como efectos positivos deseados. Estos efectos negativos pueden producirse como un fraguado retardado, una rápida pérdida de la depresión y un mayor riesgo de contracción. Algunas de estas adversidades surgidas de la interacción cemento-mezcla dependen de las propiedades del cemento, algunas dependen de las propiedades del aditivo reductor de agua y la otra parte depende de las condiciones ambientales. (Altun, Özen y Mardani-Aghabaglou, 2020, p. 3).

El propósito de la investigación es evaluar los aditivos de cadena corta y cadena larga en la resistencia del concreto con incorporación de microsílíce, con el fin de optimizar un concreto de alta resistencia con las mejores características mecánicas.

1.2 Contextualización y delimitación del problema

El propósito de los aditivos químicos, que expanden las partículas del cemento, es reducir el contenido de agua en la mezcla y por consiguiente los poros capilares en la pasta hidratada del concreto endurecido; y mantener la trabajabilidad y fluidez especificada por un periodo razonable de tiempo sobre todo en los concretos de baja relación agua-cemento.

Abellán, Fernández, Torres y Núñez (2020) afirman que optimizar el diseño de la mezcla es un desafío cuando se busca una resistencia a la compresión mínima de 150 MPa y un flujo de asentamiento adecuado (págs. 244-246), pero los aditivos químicos utilizados en la producción de concreto a veces pueden causar efectos negativos o positivos. (Altun, Özen y Mardani-Aghabaglou, 2020, p. 2)

Para aliviar el efecto de la aglomeración de partículas y la imposibilidad de trabajar con el concreto de altas prestaciones, los superplastificantes (por ejemplo, policarboxilato a base de éter), se utilizan como dispersantes en sistemas hechos

con humo de sílice (Meng, Kumar y Khayat, 2019, pp. 181-183). Aunque algunos superplastificantes mejoran el comportamiento reológico general de la pasta, la hidratación del cemento puede suprimirse mediante los superplastificantes que retiene el asentamiento. Como tal, las moléculas retardadoras de PCE también se adsorben en las superficies de SF y ayudan en la dispersión de las partículas de humo de sílice (Meng, Lunkad, Kumar y Khayat, 2016, pp. 26814-26816). Por lo tanto, el efecto adverso (es decir, retardador de la hidratación) de los superplastificantes sobre la hidratación del cemento podría mitigarse agregando humo de sílice, que proporciona superficies adicionales para la absorción del superplastificante y, como tal, reduce la adsorción del superplastificante en las superficies del cemento. Sin embargo, la adsorción del superplastificante en superficies de humo de sílice bloquea los sitios de nucleación proporcionados por las partículas de humo de sílice y, por lo tanto, disminuye su efecto de relleno. Por ello el humo de sílice y superplastificante tienen efectos contrapuestos, donde el reemplazo del cemento por humo de sílice produce una mejora de la reactividad y la adición de superplastificante suprime la hidratación (Hommer, 2009, Meng, Lunkad, Kumar y Khayat, 2016).

Alonso, Martínez-Gaitero, Gismera-Diez y Puertas (2017) señalan que la elección de un superplastificante para el concreto es un proceso complejo, ya que las propiedades del producto final se relacionan con la naturaleza del aditivo y su compatibilidad con los componentes del concreto, aunque la experiencia práctica ha demostrado que los aditivos no siempre tienen el efecto fluidificante esperado, a menudo debido a la incompatibilidad entre el superplastificante y los componentes del hormigón (Borralleras, 2012; Gołaszewski, 2012). Los factores relacionados con la mezcla, como la formulación y la estructura, el peso molecular, la densidad de carga y la longitud de la cadena del éter, junto con las características del cemento, el contenido de sulfatos y álcalis, la finura, la presencia de adiciones y la composición mineralógica, influyen en la compatibilidad (Alonso, Martínez-Gaitero, Gismera-Diez y Puertas, 2017, p. 2).

El conocimiento de los mecanismos fundamentales de hidratación del cemento, propiedades reológicas, fraguado y desarrollo de resistencia en presencia de humo

de sílice y superplastificantes es vital para determinar las cantidades óptimas de éstos para concreto de alta resistencia.

1.3 Formulación del problema

1.3.1 Problema general

¿Cómo los aditivos de cadena corta y cadena larga influyen en las propiedades mecánicas del concreto con microsíllice?

1.3.2 Problemas específicos

- a) ¿Cómo la relación agua/cementante en el diseño con aditivos de cadena corta influyen en las propiedades mecánicas del concreto con microsíllice?
- b) ¿Cómo la relación agua/cementante en el diseño con aditivos de cadena larga influyen en las propiedades mecánicas del concreto con microsíllice?
- c) ¿Cómo los porcentajes de aditivos de cadena corta influyen en el asentamiento del concreto con microsíllice?
- d) ¿Cómo los porcentajes de aditivos de cadena larga influyen en el asentamiento del concreto con microsíllice?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Analizar los aditivos de cadena corta y cadena larga para mejorar las propiedades mecánicas del concreto con microsíllice.

1.4.2 Objetivos específicos

- a) Analizar la relación agua/cementante en el diseño con aditivos de cadena corta para mejorar las propiedades mecánicas del concreto con microsíllice.
- b) Analizar la relación agua/cementante en el diseño con aditivos de cadena larga para mejorar las propiedades mecánicas del concreto con microsíllice.
- c) Analizar los porcentajes de aditivos de cadena corta para mejorar el asentamiento del concreto con microsíllice.
- d) Analizar los porcentajes de aditivos de cadena larga para mejorar el asentamiento del concreto con microsíllice.

1.5 Justificación de la investigación

1.5.1 Conveniencia

El trabajo de investigación busca describir los aditivos de cadena corta y cadena larga en las propiedades mecánicas del concreto con microsílíce, por tanto, esta investigación permitirá determinar el porcentaje óptimo de aditivo respecto al componente cementicio para mejorar las propiedades mecánicas y con ello identificar que aditivo conlleva a un mejor beneficio al concreto.

1.5.2 Relevancia social

Esta investigación tiene como trascendencia de los aditivos de cadena corta y cadena larga en las propiedades mecánicas del concreto con incorporación de microsílíce, teniendo como público objetivo al sector construcción, clientes y público usuario con el propósito de dar a conocer los aditivos de mayor influencia en las propiedades mecánicas de concretos de alta resistencia, con ello conseguir construcciones de mayor calidad con una adecuada selección de aditivos.

1.5.3 Aplicaciones prácticas

Al mejorar las propiedades mecánicas del concreto con aditivos se reduce la probabilidad de falla a compresión, flexión y tracción además que, al reducir el porcentaje de relación agua/cemento y el componente cementicio se mejora la trabajabilidad y minimizan los costos en producción.

1.5.4 Utilidad metodológica

La metodología utilizada en la recolección de datos se realiza mediante la observación indirecta ya que, se utiliza los resultados de: asentamiento, resistencia a la flexión, tracción y compresión a las diferentes edades de curado concluidos en los ensayos realizados de las publicaciones científicas y tesis de investigación.

1.5.5 Valor teórico

La presente investigación sirve para incrementar el conocimiento sobre las bondades de los aditivos de cadena corta y cadena larga presentando resultados

relevantes en las propiedades mecánicas del concreto, que servirán como fuente de información y antecedentes para la realización de otras investigaciones relacionadas al tema.

1.6 Importancia de la investigación

A pesar de los beneficios de utilizar aditivos en el componente cementicio, en algunos casos se producen efectos discrepantes entre el cemento y aditivos reductores de agua tales como, la pérdida de fluidez, retrasos en el fraguado, segregación de las pastas, reducción de resistencia, entre otros. Por ello, la importancia radica en la posibilidad de obtener mezclas óptimas de concreto, además que el desarrollo de las mezclas de concreto en conjunto con los aditivos de última generación sea uno de los materiales de construcción que mejor represente este avance tecnológico, el cual puede presentar diversas posibilidades, altas prestaciones y versatilidad.

1.7 Alcance de la investigación

Esta investigación tiene como alcance describir el efecto que tienen los aditivos de cadena corta y cadena larga sobre las propiedades mecánicas de los concretos con microsílíce para de esta manera obtener su mejor beneficio por la cual, se evalúa sólo hasta aditivos fluidificantes (cuarta generación). Además, que el procesamiento y análisis de datos se da a través de los resultados de resistencia mecánica de las tesis, investigaciones y artículos científicos existentes.

1.8 Limitaciones de la investigación

La limitación encontrada en la investigación es la metodología ya que, durante el lapso de desarrollo de la investigación se encuentra en auge el COVID 19, por ello la tentativa es basarnos a una tesis descriptiva.

1.9 Delimitación de la investigación

1.9.1 Delimitación temporal

La investigación se desarrolla en el año 2020.

1.9.2 Delimitación temática

El tema es la influencia de los aditivos de cadena corta y cadena larga en las propiedades mecánicas del concreto con incorporación de microsílíce.

1.9.3 Delimitación muestral

Las muestras a estudiar son los resultados de las resistencias mecánicas de un concreto con microsílíce con la aplicación de aditivos de cadena corta y cadena larga.

1.10 Viabilidad del estudio

El trabajo presente se basa en una investigación descriptiva sobre los diferentes aditivos de cadena corta y cadena larga en la mezcla del concreto con microsílíce, para completar el proceso de investigación se hizo la recopilación de fuentes tales como artículos, revistas científicas, libros y tesis, por ello el tema de investigación cuenta con el suficiente acceso de información ya que, están analizadas bajo los lineamientos de las normas técnicas peruanas, normas establecidas por la American Society for Testing and Materials (ASTM), American Concrete Institute (ACI), Eurocódigo 2, normativa británica BS y estándar chino GB/T. Además, el presente estudio será beneficiario para el desarrollo y estudio más completo en las siguientes investigaciones relacionados con el tema para un adecuado análisis experimental.

CAPÍTULO II: ASPECTOS TEÓRICOS

2.1 Marco histórico

Ghorab, Kenawi y Abdel All (2012) mencionan que:

Los aditivos superplastificantes, también conocidos como reductores de agua de alto rango, que surgieron en los años sesenta, son aditivos orgánicos cuya incorporación en los sistemas cementicios mejoran las propiedades mecánicas, permitiendo menores relaciones agua/cemento e incrementando la trabajabilidad. A lo largo del siglo XX-XXI se produjo la mejora progresiva de estos aditivos, que han llegado a ser componentes esenciales en la fabricación de hormigón de altas prestaciones. Los superplastificantes más empleados se basan en grupos sulfanados (de poli- β -naftaleno y de polimelamina) y en policarboxilatos. Estos últimos, se desarrollaron en Japón alrededor de los años ochenta. Modificando las estructuras químicas de estos aditivos, se pueden controlar diversas propiedades del cemento, como son la dispersión ejercida sobre las partículas, la duración del asentamiento y el fraguado. (p. 360)

Algunos autores afirman que en la actualidad:

El uso de superplastificantes resulta fundamental para el desarrollo de la tecnología del concreto siendo la compatibilidad del sistema cemento-superplastificante un factor de gran relevancia en este sentido. Se entiende por sistema compatible aquel en que el hormigón resultante tiene una baja relación agua-cemento y es capaz de mantener una viscosidad baja durante un periodo de tiempo determinado. (Bundyra-Oracz & Kurdowski, 2011, p. 228)

La incorporación de adiciones inorgánicas con propiedades puzolánicas o de filler en el cemento Portland ya goza de la aceptación general y su empleo se reglamenta en las instrucciones y normativas europeas. Dichos cementos presentan ventajas técnicas, medioambientales y económicas sobre los correspondientes sin adiciones. El tipo y características de la adición inorgánica determinan la fluidez del sistema. Es importante conocer la compatibilidad entre los cementos

producidos con las materias primas disponibles y los distintos tipos de superplastificantes (Ghorab, Kenawi, & Abdel All, 2012, p. 361).

2.2 Antecedentes de investigación

2.2.1 Antecedentes nacionales

- Zúñiga y Condori (2019) en su proyecto de investigación Influencia de adiciones de microsílíce en la resistencia a la compresión del concreto producido con agregados de la cantera de Arunta de la ciudad de Tacna:

Determinan la influencia de la adición o sustitución del cemento Portland en una mezcla de concreto convencional, con la finalidad de evaluar si se produce una mejora en la resistencia del concreto adicionando microsílíce en 4% y 8% con respecto al peso del cemento. Elaboraron 90 probetas, de las cuales 30 probetas contenían Mezcla Patrón (MP), 30 probetas contenían mezcla de 4% de adición de microsílíce (MMS-4) y 30 probetas contenían mezcla de 8% de adición de microsílíce (MMS-8), en los tres diseños incluyeron aditivo plastificante (Chema Plast) en 0.36 l/bolsa. Las probetas fueron sometidas al ensayo de resistencia a la compresión con la finalidad de evaluar que mezcla genera el mayor aumento de la resistencia a la compresión del concreto. La mayor resistencia alcanzada fue 396.69 kg/cm² con la MMS-8.

En la investigación de Zuñiga & Condori nos presenta un plastificante a base de lignosulfonato como el Chema Plast que es capaz de reducir el agua hasta un 10% y una microsílíce como el Chema Fume. Concluyen que al incorporarle microsílíce y plastificante al componente cementicio si influyen de manera beneficiosa en la resistencia del concreto y recomiendan que para posteriores investigaciones se utilice superplastificantes, lo que será materia de esta investigación.

- Cotrina (2018) en su proyecto de Investigación Comportamiento mecánico del concreto de alta resistencia de $f'_c=450$ kg/cm² con aditivo superplastificante Sikament-290N y adición mineral Sika Fume:

Determinó el comportamiento del concreto de alta resistencia compuesto por porcentajes de y superplastificante c, para lograr una resistencia de 450 kg/cm² y cuyos resultados han sido comparados con un CAR sin aditivos ni adición mineral. Elaboró 96 especímenes en total una mezcla patrón, una mezcla con Sikament 290N de 0.9%, una mezcla con Sika Fume de 10% y una mezcla con Sikament 290N de 0.9% + Sika Fume de 10%, cada una se dosifico de diferente manera.

Ensayaron 24 probetas por cada tipo de mezcla, para ensayarlo a compresión a las edades de 7, 14 y 28 días; 20 especímenes para ser ensayados a tracción a los 28 días y 20 especímenes de concreto para ser ensayados a flexión a los 28 días. Finalmente, concluyó que el concreto con superplastificante y microsílíce alcanzo la resistencia a la compresión más alta, siendo 599.70 kg/cm² a los 28 días, mientras que la resistencia a la tracción alcanzo 36.49 kg/cm². Por otro lado, no alcanzó la mayor resistencia a la flexión.

En el proyecto de Cotrina, encontramos que el superplastificante utilizado es un aditivo de cadena corta a base de naftaleno lo cual es materia de nuestra investigación; aprovecharemos la información brindada tanto de los aditivos utilizados, de los ensayos elaborados, y de sus resultados para cada caso.

- Garcia (2018) en su tesis de investigación Concreto de alto desempeño utilizando hormigón con adición de microsílíce y superplastificante en la ciudad de Huancayo para optar el título de Ingeniero Civil:

Tuvo como objetivo de estudiar y analizar las características y el desempeño del microsílíce, así como también la influencia de superplastificantes utilizando el agregado de la Cantera de Rio Huamancaca-Chico. Para tal fin desarrolló diseños con los siguientes componentes: Cemento Portland Andino Tipo I, hormigón, microsílíce y superplastificantes, elaborando diversos diseños de mezclas con adición del microsílíce con diseños patrones de 4%, 6%, y 8% el porcentaje añadido de superplastificantes es de 0.8%, 1.2% y 1.6% y respecto a la

relación del agua y cemento utilizaron porcentajes de 0.30, 0.35 y 0.40, siendo un total de 30 diseños ensayados para el estado fresco y estado endurecido. Del análisis concluye que el porcentaje de adición óptima para el microsílíce es a un 6% y el superplastificantes en 1.2% consiguiendo así elasticidad, manejabilidad, mayor resistencia a la compresión, mayor durabilidad, disminución de la segregación y exudación en su estado fresco del concreto de alto desempeño

En la tesis de investigación de Garcia, el superplastificante Sika Cem utilizado es un aditivo de cadena larga que reduce el agua hasta un 20%, teniendo para su diseño de mezcla un porcentaje óptimo del 1.2%, la cual demuestra que el efecto en el concreto en estado endurecido es de incrementar su resistencia, siendo sus resultados relevantes para la discusión de resultados.

- Bedon (2017) en su tesis de investigación Diseño óptimo para obtener Concreto de Alta Resistencia para obras civiles en zonas Alto Andinas del Perú:

Logró demostrar que es factible usar concretos de alta resistencia en el desarrollo de obras civiles de la ciudad de Huaraz con agregados provenientes de las zonas aledañas. Lo que permitió conocer que con el uso el uso de superplastificante se logra reducir el agua en un 22% en comparación con un diseño convencional (reducción de 0.37 a 0.29 de relación agua cemento). Elaboró 3 mezclas: Concreto Patrón, Concreto Patrón más aditivo al 2% y Concreto Patrón más aditivo al 2.3% más microsílíce al 12%, cada mezcla obtuvo una dosificación de materiales diferentes manteniendo el cemento constante.

Para los tres diseños que fueron ensayados en distintas edades 7, 14, 28 y 90 días, mientras que los diseños con adiciones fueron evaluados con distintas dosificaciones de aditivo superplastificante (1.2%, 1.5% y 2%) y de microsílíce (10%, 11%, 12%, 15%). Obteniendo como porcentaje de adición óptimo 2% de superplastificante para el concreto + aditivo y como porcentaje óptimo 2.3% de superplastificante (se usó más de lo que se

alcanzó como óptimo en el segundo diseño debido a un mayor requerimiento por la adición del microsílíce) y 12% de microsílíce para el concreto + aditivo + microsílíce. Para el concreto patrón usó una relación agua-cemento de 0.37 para obtener un asentamiento de 3.50 pulgadas, para el concreto + aditivo halló una relación de agua – cemento de 0.29 para obtener un asentamiento de 3.40 pulgadas y para el diseño de concreto + aditivo + microsílíce determinó una relación agua – cemento de 0.29 para obtener un asentamiento de 3.60 pulgadas. Queda por decir, que el último diseño (concreto + aditivo + microsílíce) a la edad de 90 días fue el que alcanzó la mayor resistencia de 915 kg/cm², ganando casi la mitad (48.78%) de resistencia con respecto al concreto patrón.

De la investigación de Bedon, la alta resistencia a la compresión en estado endurecido se debe a una buena dosificación y al empleo de un aditivo superplastificante (EUCO 37) más el microsílíce (EUCO MICROSILICA). La adecuada combinación de materiales de buena calidad, con aditivos y adiciones minerales han permitido obtener un buen desempeño para los concreto de alta resistencia, en un ambiente con temperatura baja.

- Caparó (2017) en su tesis de investigación Diseño de mezclas de concreto de alta resistencia para elementos prefabricados y/o pretensados utilizando adiciones minerales y aditivos en edades tempranas mediante curado a vapor y curado adiabático en la ciudad de Arequipa:

Buscó producir concretos de alto desempeño, con reemplazo parcial del concreto por microsílíce en la dosificación del concreto. Realizó diseños de un concreto patrón, con uso de cemento Portland Tipo IP, y porcentajes de agregados, determinados con el ensayo de máxima compacidad. Además de ensayos de resistencia a la compresión realizada a los 7 días, con relación agua-cemento de 0.25. La dosificación del aditivo superplastificante lo obtuvo a partir del concreto patrón adicionando aditivo en diferentes ocasiones dosificación y escogiendo el resultado óptimo, usando como diseño final 1.5% de aditivo.

Los valores de consistencia en los ensayos del concreto en estado fresco fueron de 6" en el concreto patrón, 8 1/2" en el concreto con aditivo y 8" en el concreto de reemplazo parcial de cemento microsílíce y superplastificante. Los resultados en estado endurecidos alcanzaron resistencia a la compresión desde 50 a 70 MPa y resistencia a la flexión de 6 a 7.2 MPa.

Por lo tanto, es posible obtener altas resistencia del concreto de alto desempeño con el reemplazo parcial del cemento por microsílíce, según los objetivos propuestos que se quiera lograr.

- Heredia (2017) en su tesis de investigación Diseño de concreto de alta resistencia $f'_c=900 \text{ kg/cm}^2$, usando agregados del río Huallaga para la ciudad de Tarapoto, provincia de San Martín, región de San Martín:

Estudió el diseño del concreto de alta resistencia de $f'_c \geq 900 \text{ Kg/cm}^2$, usando insumos locales como los agregados, el cemento Portland tipo I (planta de cemento Pacasmayo - Prov. de Rioja) e insumos nacionales como la microsílíce (Sika Fume) y el superplastificante (Sika Viscocrete 20HE); desarrollada con el objetivo de demostrar que usando insumos locales se pueden producir este tipo de concreto; permitiendo así, presentar una nueva alternativa en materiales para la industria de la construcción regional. Esta investigación inició creando un Concreto Patrón (C°P), con relación agua/cemento (a/c) igual a 0.40; a partir de ésta, experimenta un nuevo diseño, usando el aditivo reductor de agua de alto rango (superplastificante) en una dosis del 1.5% del peso del cemento (Wc), logrando reducir la relación a/c a 0.25, mezcla que se la denominó como Concreto más Aditivo Superplastificante (C°AS). Finalmente, procedió a trabajar la mezcla C°AS más la adición del microsílíce, obteniendo así una dosis de superplastificante del 1.4% para una dosis de microsílíce del 9.5%, mezcla denominada como Concreto más aditivo Superplastificante y Microsílíce (MS 9.5), concreto con el cual obtuvo resultados óptimos y alentadores.

Las mezclas trabajadas con relación a/c igual a 0.25, obtuvieron asentamientos del orden de 7” a 9” y una extensibilidad entre 40 cm y 55 cm, considerándolos como concretos de altas resistencias y semi-autocompactantes. La mayor resistencia a la compresión promedio obtenida fue de 1222 Kg/cm² a la edad de 56 días, resultado obtenido con el diseño MS 9.5; superando las expectativas iniciales y demostrando que si es posible estar a la altura de las nuevas tecnologías del concreto usando insumos locales.

De acuerdo a lo mostrado por Heredia, se pueden alcanzar resistencias altas mayores a 1000 kg/cm² con la incorporación de microsílíce y del aditivo superplastificante en dosis adecuadas.

- Villanueva (2015) en su tesis de investigación Obtención de un concreto de alta resistencia para un F’c = 800 kg/cm² usando agregados de la cantera del Chiche – Cajamarca, aditivos y adición mineral:

Tuvo como propósito fundamental determinar la cantidad adecuada de microsílíce, nanosílíce y superplastificante, que se debe agregar a un diseño de mezcla de concreto de alta resistencia. Los porcentajes de microsílíce que adoptó fue de: 5, y 10% del peso de cemento, el 1% y 2% de nanosílíce y el superplastificante con el 1.1% del peso del cemento, para lograr una resistencia especificada de 800 kg/cm², cuyos resultados fueron comparados con las características de un concreto normal solo con aditivo superplastificante, de alta resistencia al que se le ha denominado muestra patrón. Para ello realizó diferentes ensayos de laboratorio que se llevaron a cabo conforme lo establece las normas ACI, ASTM, NTP, que rigen los procedimientos y materiales que se deben utilizar para tener los mejores resultados y así obtener diseños óptimos. Para la elaboración del diseño de mezcla utilizó el método de Módulo de Fineza de la Combinación de Agregados, cuya resistencia a la compresión especificada del Concreto (f’c) es de 800 kg/cm². Establecido su diseño teórico del Concreto de Alta Resistencia, procedió a evaluarlo en laboratorio, realizando los ensayos en estado fresco: Cono de Abrams y de fluidez; además en estado endurecido:

resistencia a la compresión, éste último ensayo realizado a los 7, 14 y 28 días de curado.

De acuerdo a los resultados obtenidos de su ensayo en concreto fresco y en concreto endurecido se puede decir que, a medida en que se aumenta el contenido de microsílíce en la mezcla la trabajabilidad, adherencia y la resistencia a la compresión aumentan hasta alcanzar un máximo contenido luego del cual la segregación y exudación aumentan y la resistencia a la compresión disminuye.

- Flores y Blas (2014) en su tesis de investigación Influencia de la adición de microsílíce y superplastificante en las propiedades de un concreto de alta resistencia en la ciudad de Arequipa:

Utilizaron dos tipos de microsílíce y superplastificantes de la marca Sika y EUCO, elaboraron varios diseños para establecer un asentamiento entre un rango de 1 a 11 pulgadas y a estos diseños les agregaron diferentes dosis de microsílíce y superplastificante, diseñaron 5 mezclas para diferentes resistencias. Ensayaron en estado fresco para el asentamiento y peso unitario, también realizaron ensayos de resistencia a la compresión y tracción a los 3, 7, 14 y 28 días. La mayor resistencia alcanzada a los 28 días fue 135.9 MPa. Todos los ensayos fueron hechos con la meta de determinar el comportamiento de las mezclas con la adición de la microsílíce y superplastificante en las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido.

De esta investigación se tomarán sus resultados de resistencia a la compresión y tracción para ser comparados en la discusión de resultados de aditivos de cadena larga.

- Huincho (2011) en su investigación Concreto de Alta Resistencia usando aditivo superplastificante, microsílíce y nanosílíce con cemento Portland Tipo I:

Estudió los Concreto de Alta Resistencia (CAR) con adiciones de superplastificante, microsílíce y nanosílíce usando relaciones agua cementante menores a 0.25. Obtuvo asentamientos de 8" a 10" y una

extensibilidad entre 56 y 70 centímetros, considerándose concretos de alta resistencia y a la vez autocompactantes. La resistencia a la compresión más alta que obtuvo fue de 1423 kg/cm² a la edad de 90 días. Desarrolló un concreto patrón con relación agua-cementante igual a 0.40 y lo comparó con cada una de las mezclas diseñadas. A la mezcla patrón le adicionó 3% de aditivo superplastificante (VISCOCRETE 20HE), luego 10, 15 y 20% de microsílíce (SIKA FUME) en peso del cemento; usó nanosílíce (SIKA STABILIZER 100) en dosis de 1, 1.5 y 2%, microsílíce y nanosílíce a la vez en dosis de 5% de microsílíce más 0.5% de nanosílíce, 7.5% de microsílíce más 1% de nanosílíce y 10% de microsílíce más 1.5% de nanosílíce

Determinó los asentamientos de las mezclas de concreto según la NTP 339.035, así como también la extensibilidad de las mezclas según la NTP 339.219. También, determinó la capacidad de paso en el ensayo caja de L. Además, señala que las dosis óptimas para resistencia a la compresión son: microsílíce al 10% la cual obtiene la resistencia máxima de 1423 kg/cm², para el caso de la nanosílíce es 1% obteniendo 1130 kg/cm² como resistencia y para el caso de la combinación de ambos aditivos minerales es de microsílíce 10% y 1.5% de nanosílíce alcanzando resistencia de 1298 kg/cm².

De la investigación de Huincho podemos identificar que el superplastificante que utiliza está a base de policarboxilatos (PCE), lo que es un aditivo de cadena larga que tomaremos para esta investigación; se tomará la información de ensayos, procesos de elaboración de mezcla, así como todos los resultados acerca del microsílíce que será materia de nuestra investigación. Encontramos que el solo microsílíce con superplastificante logra alcanzar las mayores resistencias a la compresión.

2.2.2 Antecedentes internacionales

- Cheah, Chow, Oo & Leow (2020) en su artículo The influence of type and combination of polycarboxylate ether superplasticizer on the mechanical

properties and microstructure of slag-silica fume ternary blended self-consolidating concrete:

Llevaron a cabo una investigación experimental para examinar los efectos del tipo y la combinación del superplastificante a base de policarboxilato (PCE) con diferentes estructuras químicas sobre las propiedades del concreto autocompactante de alto rendimiento (HPSCC) utilizando materiales cementosos suplementarios como escoria de alto horno granulada molida (GGBS) y humo de sílice densificado (DSF). Los materiales aglutinantes utilizados en el HPSCC fueron: el cemento Portland ordinario, la escoria de alto horno granulada molida y el humo de sílice densificado. El aditivo químico utilizado en este estudio fueron dos tipos de superplastificantes basados en PCE metoxipolietilenglicol (MPEG) e isoprenil polietilenglicoles (TPEG) de grado comercial como aditivo reductor de agua de alto rango para la fabricación de HPSCC. Diseñaron 3 combinaciones por cada aditivo: Una primera de control, una segunda muestra con adición de GGBS y una tercera muestra con adición de GGBS y DSF, estas tres muestras se elaboraron para superplastificante MPEG, superplastificante TPEG y para la combinación de superplastificante MPEG y TPEG.

Los ensayos que realizaron fueron la evaluación de fluidez, densidad, evaluación de la resistencia a la compresión y a la flexión, contracción por secado y análisis de microscopía electrónica de barrido. Concluyeron que el aditivo superplastificante TPEG PCE mostró una resistencia a la compresión mejor en edades posterior con el aglutinante sistema combinado con microsílíce, logrando alcanzar 86.8 MPa. Mientras que en la resistencia a la flexión con el aditivo superplastificante TPEG PCE alcanzó 15.85 MPa a los 56 días y a los 90 días sufrió una disminución de 5% alcanzando 15.05 MPa, la razón podría deberse al desarrollo de micro grietas internas por la auto-deseccación de la matriz de concreto debido al consumo continuo de agua de poros para la hidratación de partículas de humo de sílice.

Por lo tanto, se puede resumir que el concreto mejora sus propiedades mecánicas y reológicas al incluir en el diseño el uso de aditivos superplastificantes y aditivos minerales como el microsílíce.

- Chen, Ng, Chu, Guan & Kwan (2020) en su artículo científico Ternary blending with metakaolin and silica fume to improve packing density and performance of binder paste:

Buscaban verificar y revelar cómo y por qué la mezcla ternaria de cemento, Metacaolín (MK) y Humo de sílice (SF) mejoran las propiedades frescas y endurecidas en el concreto, produjeron 21 pastas de cemento con varios contenidos de MK y SF y una relación agua/cemento (a/c) constante para fluidez, adhesividad, resistencia de 0.60 (equivalente a 0.193 en masa cuando el aglutinante está compuesto únicamente de cemento), además agregaron un superplastificante (SP) a base de policarboxilato en estado de solución acuosa a todas las muestras de pasta de cemento y mezcla de cemento.

El cemento, MK y SF cumplían respectivamente con la Norma Europea EN 197-1: 2000, la Norma China GB 53/T 843: 2017 y la Norma Americana ASTM C 1240-15. Para la prueba de resistencia a la compresión lo realizaron a los 28 días, con referencia a ASTM C39 / C39M-18. El resultado de la resistencia a la compresión de la mezcla de pasta de cemento se tomó como la resistencia promedio de las tres probetas probadas al mismo tiempo.

Los resultados experimentales revelaron que la adición combinada de MK y SF puede mejorar la densidad de empaquetamiento (PD) de manera más efectiva que la única adición de MK o SF, además que teniendo en cuenta el rendimiento concurrente de fluidez-resistencia-durabilidad, las mezclas de cemento que brindan la mayor fluidez con los más altos estándares de resistencia y durabilidad son (10% a 15% MK más 10% a 15% SF).

Del artículo de Chen, Ng, Chu, Guan & Kwan se puede afirmar que las mezclas ternarias son más efectivas que las mezclas de una única adición puzolánica pese a ello, para nuestra tesis se tomarán los resultados de sus ensayos de resistencia a la compresión a los 28 días, siendo los requeridos solamente los evaluados para el concreto con adición de microsílíce e

incorporación de superplastificante mas no con el matacaolín, que serán utilizados para la discusión de resultados.

- Altun, Özen & Mardani-Aghabaglou (2020) en su artículo Effect of side chain length change of polycarboxylate-ether based high range water reducing admixture on properties of self-compacting concrete:

Investigaron el efecto de la longitud de la cadena lateral, los cambios de peso molecular y la cantidad de adsorción de aditivos a base de policarboxilato éter que tienen una longitud de cadena principal constante, una cantidad no iónica libre y una relación aniónica/no iónica en las propiedades frescas, la resistencia a la compresión de edad avanzada, la capacidad de absorción de agua y el valor de la velocidad del pulso ultrasónico de los hormigones autocompactantes (SCC).

En este estudio utilizaron tres aditivos a base de policarboxilatos con relación molar aniónica/no iónica constante, el contenido no iónico libre y la longitud de la cadena principal constante, además que produjeron nuevas mezclas cambiando solo la longitud de la cadena lateral y el peso molecular. Utilizaron cemento Portland Tipo CEM I 42.5R de acuerdo a la normativa TS EN 197-1 y agregado de caliza triturada. La relación agua/cemento (a/c), dosis de cemento y los valores de asentamiento se mantuvieron constantes en 0.35, 480 kg/m³ y 600 ± 30 mm, respectivamente.

Las resistencias a la compresión de 1 a 28 días de las mezclas de SCC, lo midieron casi de la misma manera para todas las mezclas. Esta similitud se debe al hecho de que el efecto de la mezcla química sobre el proceso de hidratación disminuye con el tiempo. Por otro lado, el aumento en la longitud de la cadena lateral de las mezclas tuvo un efecto positivo sobre el comportamiento en estado fresco dependiente del tiempo de las mezclas. Se cree que este efecto positivo se debe a la baja cantidad de adsorción de la mezcla, al aumento de la longitud de la cadena lateral ay al aumento del contenido de polímero libre no adsorbido en la mezcla. Mientras que el cambio en la longitud de la cadena lateral del aditivo reductor de agua afectó los valores de resistencia a la compresión a 1 y 2 días de las mezclas de SCC, las resistencias a la compresión a los 3, 7 y 28 días y los valores

del módulo de elasticidad dinámica, ultrasonido y de absorción de agua a 28 días no lo hicieron afectar significativamente.

Del artículo de Altun, Özen & Mardani-Aghabaglou se puede concluir que una mezcla que contiene aditivo con cadena lateral más corta afecta significativamente la resistencia en los primeros días, pero mas no a la resistencia en edades posteriores, también que a medida que se aumenta la longitud de la cadena lateral del aditivo en una mezcla las propiedades en estado fresco dependientes del tiempo de las mezclas de SCC se ven afectadas positivamente, creyendo que este efecto positivo se debe a la cantidad de polímero libre que no interactúa con el cemento en la mezcla con el debilitamiento de la capacidad de adsorción de la mezcla a medida que aumenta la longitud de la cadena lateral.

- Abu El-Hassan, Kamh, Fahmy & Bashandy (2020) en su artículo Investigation of Using Nano-silica, Silica Fume and Fly Ash in High Strength Concret:

Tuvieron como objetivo investigar el rendimiento del hormigón endurecido de alta resistencia utilizando nano-sílice, humo de sílice y cenizas volantes. Los experimentos lo realizaron sustituyendo el cemento en peso con nanosílice, humo de sílice o cenizas volantes con proporciones de 5%, 10% y 15% y se comparó con una mezcla de control. En general, este estudio propone una solución sostenible para producir hormigón duradero que podría tener una aplicación útil en la industria de la construcción. Con base en los resultados obtenidos, las propiedades de endurecimiento del hormigón mejoraron según el tipo de material cementante suplementario. Los resultados de las pruebas mostraron que la adición de nano-sílice tiene una gran influencia en las propiedades del hormigón, que aumentar la dosis sobre 5.0% afecta negativamente a la resistencia a la compresión.

Se concluyó que los valores de asentamiento disminuyen con el aumento de materiales cementantes suplementarios. Los valores de asentamiento disminuyen en las mezclas de hormigón con nanosílice que en las de humo

de sílice y cenizas volantes debido a su gran superficie. Además, el uso de humo de sílice y nanosílice mejora las propiedades principales del hormigón de alta resistencia. Finalmente, la adición de estos químicos mejoro considerablemente todas las resistencias.

- Hou et al. (2020) en su artículo científico *Effects of mixing sequences of nanosilica on the hydration and hardening properties of cement-based materials*:

Tuvieron como objetivo estudiar las influencias de las secuencias de mezcla de materias primas sobre la dispersión de NS y las propiedades de los materiales a base de cemento. Midieron la distribución del tamaño de las partículas, el calor de hidratación, el tiempo de fraguado y la resistencia a la compresión para determinar la secuencia de mezcla óptima de NS en materiales a base de cemento.

Los materiales utilizados fueron Cemento Portland Tipo I (P-I) que cumple con la norma estándar china GB/ T 175-2007, nano-SiO₂, agua desionizada (Agua DI) en todas las pruebas y dos PCE comerciales en forma de polvo, donde el PCE-2 contiene más grupos -COO- que el PCE-1. Prepararon las pastas de cemento con relación a/c de 0.50 para explorar los efectos de las secuencias de mezcla sobre la modificación de materiales cementosos.

Los resultados mostraron que para muestras con PCE-1, la resistencia a la compresión para 1 y 3 días de P1 es obviamente menor que la de la muestra de control, lo que muestra el efecto negativo del PCE-1 para el desarrollo de la resistencia a la compresión de las pastas de cemento a edades tempranas. Mientras que, en 3 días todas las muestras con PCE-1 son más bajas que las de NS, lo que podría atribuirse a la menor eficiencia de dispersión del PCE-1 y su efecto retardador sobre la hidratación del cemento. El hecho de que las resistencias a la compresión en 1 y 3 días de las muestras A2, B2, C2 y D2 fueran superiores a las de la muestra NS demuestra la eficacia del PCE-2 para la dispersión de NS en materiales a base de cemento.

El tamaño medio de partícula más pequeño de NS en la solución de cemento y el período de inducción avanzado de hidratación del cemento sugirieron que la secuencia de mezcla de la adición de PCE después de NS fue la mejor para las características de ganancia de propiedad de los materiales a base de cemento, y la mejora de la resistencia a la compresión a 3 días podría alcanzar el 42.5%. El protocolo de mezcla combinada de NS bajo ultrasonidos con PCE fue mejor, pero esto podría depender del tipo de PCE.

Por todo ello, de acuerdo a las influencias de las secuencias de mezcla en la dispersión de NS se puede deducir que la resistencia a la compresión está estrechamente relacionada con la secuencia de mezcla de las materias primas y el tipo de PCE. La secuencia de mezcla de la adición de PCE después de NS tiene un efecto positivo apreciable. Además, encontraron un período de inducción avanzado y un pico de liberación de calor de hidratación principal más alto en la muestra con la secuencia de mezcla de la adición de PCE después de NS. El tiempo de fraguado extendido también muestra la superioridad de la secuencia de mezcla de la adición de PCE después de NS.

- Zeyad & Almalki (2020) en su artículo Influence of mixing time and superplasticizer dosage on self-consolidating concrete properties:

Investigaron el efecto de diferentes períodos de mezcla (15, 30, 60 y 90 min desde la adición de agua a la mezcla) y dosis aumentadas de superplastificante (SP) (1,5%, 2%, 2.5% y 3.0% de la masa de cemento) sobre las propiedades de las mezclas de concreto autocompactante (SCC). Las propiedades del hormigón fresco fueron evaluadas mediante siete pruebas, a saber, flujo de asentamiento, embudo en V, flujo de asentamiento T50, embudo en V T5, caja en L, exudación y segregación. El hormigón endurecido lo evaluaron sobre la base de las resistencias a la compresión, tracción indirecta y a la flexión.

Utilizaron Cemento Portland Ordinario de acuerdo ASTM C150, humo de sílice, agregados gruesos de caliza triturada, agregados finos de arena

natural en conformidad con ASTM C33 y superplastificante de nueva generación (a base de copolímero - Viscocret 1050 HE) de gravedad específica 1.07 (1070 kg/m³).

Los resultados mostraron que, en comparación con el asentamiento bajo un tiempo de mezcla de 15 minutos, el aumento de 30, 60 y 90 minutos en el tiempo de mezclado redujo el asentamiento en un 6%, 19% y 27%, respectivamente. El aumento de la dosis de SP del 1.5% al 3.0% con un tiempo de mezcla constante de 90 min condujo a un aumento de los porcentajes de sangrado y segregación en un 135% y un 220%, respectivamente. Las pruebas de resistencia a la compresión, tracción indirecta y flexión lo realizaron de acuerdo con ASTM C39, ASTM C496 y ASTM C78, respectivamente, durante 7, 14, 28 y 90 días. Registraron el valor medio de las tres muestras para cada edad de prueba.

Las propiedades del hormigón endurecido se vieron afectadas negativamente por el aumento del tiempo de mezclado. El aumento en el tiempo de mezcla de 15 min a 90 min con SP constante de 1.5% en 28 días disminuyó las resistencias a la compresión, tracción indirecta y flexión en un 6%, 7% y 4%, respectivamente. Cuando la dosis de SP de 1.5% aumentó a 2.0%, 2.5% y 3.0% en el tiempo de mezclado de 90 min, la resistencia a la compresión mejoró ligeramente. Mientras que el aumento del tiempo de mezcla de 15 min a 90 min con SP constante de 1.5% a los 90 días, la resistencia a la compresión se redujo ligeramente en un 3%.

De acuerdo al análisis de resultados presentados en el artículo de Zeyad & Almalki, se puede decir que el aumento de la dosis de superplastificante mitiga el efecto negativo de largos períodos de mezclado sobre las propiedades del hormigón.

- Zhao, Sun, Wu & Gao (2020) en su artículo Influence of Addition of Polycarboxylate-Based Superplasticizer on Properties of High Performance Concrete:

Mencionan que, en la actualidad el superplastificante (SP) a base de policarboxilato (PCA) se ha convertido en el ingrediente básico para

preparar hormigón de alto rendimiento (HPC). Prepararon PCA-SP con grupos carboxílicos sulfónicos y cadena lateral larga de poli (óxido de etileno). Investigaron los comportamientos y economías del concreto mezclado con PCA SP. La inclusión de PCA-SP mejora la fluidez inicial y la preservación de la fluidez del hormigón. El uso de PCA-SP aumentó el contenido de aire y la tasa de exudación de agua y prolongó los tiempos de fraguado del concreto, lo que tiene un efecto negativo en las propiedades de edad temprana del concreto. De acuerdo a los resultados a la edad de curado temprana (7 días), las mezclas de concreto con 0.20% y 0.24% de PCA SP tienen propiedades mecánicas ligeramente más bajas y mayor porosidad en agua que el concreto de control. Más allá de una cierta cantidad de PCA SP (0.24%), En el hormigón se puede encontrar una gran reducción de las propiedades mecánicas y un rápido aumento de la porosidad del agua. El período de curado prolongado es un método eficaz para mejorar las propiedades a largo plazo del hormigón de la serie PCA-SP. Sobre la base de la consideración de las propiedades de edad temprana y las economías del hormigón, a la fluidez dada, se debe elegir una cantidad óptima de PCA SP en la producción de hormigón.

Zhao, Sun, Wu & Gao concluyen que el período de curado prolongado es un método eficaz para mejorar las propiedades a largo plazo del hormigón de la serie PCA-SP. Sobre la base de la consideración de las propiedades de edad temprana y las economías del hormigón, a la fluidez dada, se debe elegir una cantidad óptima de PCA SP en la producción de hormigón.

- Arend, Wetzel & Middendorf (2020) en su artículo *Fluorescence Microscopic Investigations of the Retarding Effect of Superplasticizers in Cementitious Systems of UHPC*:

La adsorción de moléculas superplastificantes a superficies de partículas en sistemas cementosos es un aspecto muy importante para la licuefacción deseada de pastas y hormigones. De esta manera, los polímeros en forma de peine protegen las fuerzas de atracción entre las partículas e inducen una suspensión homogénea bien dispersa. Estos aditivos permiten el uso de cargas finas incluso en combinación con bajas cantidades de agua-

cemento y, por lo tanto, son la base para los hormigones modernos de alto desempeño. Sin embargo, la adsorción no solo produce efectos beneficiosos: las superficies de partículas cubiertas de polímero, especialmente el clínker, no pueden interactuar con el agua, por lo que se retarda la hidratación. Esta es la razón de la resistencia inicial más baja y es muy desventajosa para ciertas aplicaciones. Hoy en día se sabe que la estructura molecular de los polímeros, por ejemplo, la longitud de la cadena y la densidad de carga, afecta fuertemente al retardo. Para investigar la adsorción de superplastificantes en varios sistemas in situ, aplicaron un enfoque microscópico de fluorescencia: al teñir los polímeros con colorante fluorescente, se vuelven localizables y la adsorción cuantificable. Este trabajo muestra la influencia de la estructura molecular en la característica de adsorción de diferentes polímeros y la correlación con el efecto retardante de los superplastificantes, especialmente en lo que respecta a la presencia de humo de sílice, indispensable para el hormigón de ultra alto rendimiento (UHPC).

De acuerdo a lo estudiado por Arend, Wetzel, & Middendorf se puede afirmar que, en cuanto a las características y requisitos especiales de la mezcla de concreto de ultra-alto desempeño (UHPC), es fundamental utilizar aditivos optimizados y equilibrados para afrontar determinados retos como es el humo de sílice ya que puede causar fuertes incompatibilidades con los superplastificantes siendo a menudo requerir cantidades elevadas y caras de los aditivos.

- Tai, El-Tawil, Meng & Hansen (2020) en su artículo Parameters Influencing Fluidity of UHPC and Their Effect on Mechanical and Durability Properties:

Señalan que varios parámetros pueden influir en la fluidez de una mezcla de hormigón de ultra alto rendimiento (UHPC) y, por tanto, en su viabilidad para su uso en la construcción. Estos parámetros incluyen el contenido de carbono del humo de sílice, la dosis de reductor de agua de alto rango (HRWR), la relación agua-cemento y la proporción de arenas finas utilizadas en la mezcla. Utilizando el esparcimiento como medida de

fluidez, investigaron experimentalmente los efectos de estas variables sobre la resistencia a la compresión y la resistencia a la tracción directa.

Utilizaron cemento Portland Ordinario según ASTM Tipo I, escoria granulada triturada (GGBS), humo de sílice de tres fabricantes, siendo el tamaño medio de partícula para SF1 aproximadamente 2 - 3 micrones, mientras que el tamaño medio de partícula para SF2 y SF3 aproximadamente 1 micrón, además utilizaron un HRWR a base de policarboxilato con un contenido de sólidos del 40% y un aspecto azul claro, gravedad específica de 1.1 y una tasa de reducción de agua de hasta un 45%. Consideraron un total de 12 mezclas, utilizaron una tabla de flujo de acuerdo con ASTM C1437 (ASTM 2015), mientras que el procedimiento de prueba de compresión fue de acuerdo con ASTM C109 / C109M (ASTM 2016a).

Observaron en sus resultados que las mezclas exhiben una mejor fluidez a medida que aumenta la dosis de HRWR. Por otro lado, el efecto de la dosis de HRWR sobre la resistencia a la compresión de la mezcla no fue claro ni consistente, en donde la resistencia a la compresión tendió a disminuir ligeramente a medida que incrementaron la dosis de HRWR. Se sabe que la sobredosis de HRWR puede dañar el proceso de hidratación. A dosis más altas de HRWR dan como resultado una mayor cobertura de la superficie del polímero, esto significa un aumento en el espesor de capa efectivo alrededor de las partículas, lo que resulta en una menor atracción máxima entre las partículas y un retraso en la reacción entre C_3A y C_3S . Además, indican que cambiar la proporción de las arenas de sílice utilizadas puede conducir a una mejora en la densidad y un correspondiente aumento sustancial en la resistencia a la compresión. Sin embargo, aumentar la dosis más allá de un límite puede provocar la segregación de las fibras, lo que puede afectar negativamente a las propiedades mecánicas. Proponen una superficie de respuesta que vincule la relación agua-cemento y la dosis de HRWR a la resistencia a la compresión y la extensión.

De acuerdo al artículo de Tai, El-Tawil, Meng & Hansen se puede decir que los cambios en la dosis de HRWR provocan variaciones leves en la resistencia a la compresión de las mezclas en donde, a tendencia es negativa en la que un aumento de HRWR conduce a una pequeña disminución de la resistencia a la compresión. Siendo este resultado de gran importancia práctica porque indica que la dosis de HRWR puede aumentarse (con los límites adecuados) para facilitar la mezcla en el campo con poco efecto sobre las propiedades de endurecimiento del UHPC. Además, que el humo de sílice con un mayor contenido de carbono complica la mezcla porque las partículas finas de carbono aumentan la demanda de agua. Estas dificultades pueden aliviarse aumentando la dosis de HRWR.

- Abdalla, Ghafor & Mohammed (2019) en su artículo *Testing and modeling the young age compressive strength for high workability concrete modified with PCE polymers*:

Tuvieron como objetivo centrarse en el impacto de tres tipos de polímero de policarboxilato, siendo la proporción de mezcla para el concreto con los tres tipos de polímeros basado en el ACI-0211, en el tiempo de fraguado del cemento, trabajabilidad, densidad y resistencia a la compresión (CS) del hormigón hasta los 28 días de curado. El porcentaje de polímero osciló entre 0 y 0.25% (en peso seco de cemento). Los resultados de la prueba de asentamiento y CS del concreto modificado con polímeros se compararon con las propiedades plásticas y endurecidas del concreto modificado con humo de sílice. La relación agua/cemento (a/c) fue inicialmente de 0.60 y disminuyó gradualmente a 0.46 al aumentar el contenido de polímero. El CS del concreto modificado con solo 0.25% de polímeros aumentó entre 24% y 97% según los tipos de polímero, contenido de polímero, a/c y tiempo de curado. Utilizó un modelo no lineal (NLM) para modelar la resistencia a la compresión del hormigón modificado con tres tipos de polímero y humo de sílice, el CS del hormigón modificado se modeló en función del contenido de polímero, a/c, y período de curado. Dependiendo de los parámetros NLM, encontraron que los polímeros son más efectivos

que el humo de sílice para mejorar la trabajabilidad y CS del hormigón. (pp. 2-11)

En el artículo de Abdalla, Ghafor & Mohammed, diferentes tipos de polímero afectaron las propiedades plásticas y de endurecimiento del concreto concluyendo que con la adición de polímeros, la relación a/c del hormigón se reduce de 0.60 a 0.46 según los tipos y la cantidad de polímeros, ya que los polímeros superplastificantes de policarboxilato están retrasando la hidratación de C_3A , el tiempo de fraguado inicial y final de la pasta de cemento se extendía al aumentar la cantidad diferente de polímeros, también que la resistencia a la compresión y la trabajabilidad del hormigón modificado con diferentes tipos de polímero (hasta 0.25%) fueron muy superiores a la CS y la trabajabilidad del hormigón modificado con diferente cantidad de SF (hasta 25%).

- Smarzewski (2019) en su artículo científico Influence of silica fume on mechanical and fracture properties of high performance concrete:

Tuvo como objetivo principal determinar la energía de fractura de hormigón de alto rendimiento (HPC) que contiene humo de sílice (SF), presenta su investigación sobre los cambios de las propiedades mecánicas, incluida la resistencia a la compresión, resistencia a la tracción por división, módulo de elasticidad, energía de fractura y la longitud característica de seis HPC causadas por la adición de SF. Las adiciones de SF en la HPC fueron de 0%, 5%, 10%, 15%, 20% y 25% en peso de contenido de cemento, la relación agua/cemento fue de 0.25. Consideraron un superplastificante a base de policarboxilato éter, para producir HPC viable con 0.25 y un contenido máximo de SF del 25%. El uso de SF aumentó todas las propiedades mecánicas probadas del hormigón. El estudio indica que las propiedades mecánicas del HPC mejoraron en gran medida a los 28 días cuando el cemento usado en el concreto fue reemplazado por SF, donde el aumento de la resistencia a la compresión de HPC se observó aumentando el contenido de humo de sílice. Los aumentos se determinaron como: 6.7%, 13.1%, 13.4%, 14.1% y 14.1% para el contenido de humo de sílice del 5%, 10%, 15%, 20%, 25%,

respectivamente. Con un contenido del 10% de humo de sílice dio como resultado un aumento del 26% en la resistencia a la rotura por tracción, un aumento del 13% en la resistencia a la compresión y un aumento del 5% en el módulo de elasticidad estático. Los hallazgos sugieren que SF puede reemplazar eficazmente al cemento. No obstante, se recomienda que la sustitución no supere el 10%. (pp. 5-12)

Del artículo de Smarzewski se puede afirmar que la sustitución ideal en la mezcla de HPC del humo de sílice no debe superar el 10% para una relación de agua/cemento y superplastificante constante por la cual, los resultados de resistencia a la compresión serán utilizados para la discusión de resultados.

- Reem & Abdulhameed (2019) en su artículo científico Investigation on Performance of Concrete Incorporating Silica Fume and Local UAE Materials:

Tuvieron como objetivo principal realizar una investigación sobre el desempeño del concreto de alta resistencia que contiene humo de sílice como reemplazo parcial del cemento Portland ordinario que incorpora superplastificantes y materiales locales de los Emiratos Árabes Unidos (EAU) mediante el estudio de sus propiedades mecánicas y durabilidad. El programa experimental involucró a dos grupos de mezcla (6 mezclas diferentes para cada grupo y 18 probetas por cada mezcla): el primer grupo tenía una proporción de agua a material cementante (a/c) de 0.4, mientras que el segundo de 0.3. Para ambos grupos de mezcla, los porcentajes de reemplazo de humo de sílice fueron 0 (para control), 5%, 7.5%, 10%, 12.5% y 15%, diseñados para lograr una trabajabilidad objetivo de 150 ± 20 mm y tener una resistencia a la compresión a los 28 días superior a 40 MPa, la trabajabilidad deseada fue lograda mediante la ayuda de un superplastificante (SP) aditivo reductor de agua de alto rango que cumple con ASTM C 494 tipo F, siendo un total de 180 muestras analizadas. El asentamiento fue determinado de acuerdo con ASTM C 143 y el vaciado de las probetas de concreto se realizó de acuerdo con BS EN 206-1:2000. Muestran que la dosis de superplastificante para mantener el asentamiento

150 ± 20 mm aumentó con el incremento del porcentaje de reemplazo de humo de sílice usado en la mezcla de concreto. Se requirió menos plastificante para mantener el asentamiento deseado para las mezclas con la relación a/c de 0.4 en comparación con la relación a/c de 0.3.

Las propiedades mecánicas fueron probadas a los 28 y 91 días. Los resultados se compararon con la mezcla de control y mostraron que, para todas las edades de curado estudiadas, el uso de humo de sílice como reemplazo parcial de OPC tiene un efecto favorable sobre los valores de resistencia a la compresión y se encuentran las proporciones óptimas de reemplazo de humo de sílice para las muestras ensayadas entre al 12.5% y al 10% de reemplazo para las relaciones a/c de 0.3 y 0.4.

Del artículo de Reem & Abdulhameed se puede confirmar que la dosis de superplastificante necesaria para mantener un asentamiento inicial aumentó con la adición del porcentaje de humo de sílice usado en las mezclas de concreto; y las mezclas con relación de a/c más altas requieren menos superplastificante para mantener una trabajabilidad inicial asumida.

- Strzalkowski & Garbalinska (2019) en su artículo *The Influence of Silica Fume on the Mechanical and Thermal Parameters of Portland Cement Concretes*:

Analizaron la influencia del humo de sílice sobre los parámetros mecánicos y térmicos básicos del concreto. Llevaron a cabo pruebas exhaustivas sobre tres fórmulas: la primera no contenía aditivos, utilizaron humo de sílice y superplastificante en la segunda fórmula, introducidos en la cantidad de 8% y 0.75% del peso del cemento, respectivamente. La tercera fórmula, a base de agregado de basalto, también contenía humo de sílice y un superplastificante, dosificado en la misma cantidad que en la segunda fórmula. De acuerdo a los resultados, en el caso del hormigón normal, la adición de humo de sílice resultó en un aumento de la resistencia a la compresión. Los valores de resistencia promedio a la compresión de los hormigos de 7 y 28 días de curado mostraron que la adición de microsílíce en el hormigón (la tercera fórmula) resultó en un refuerzo significativo del

hormigón en comparación con la primera fórmula alcanzando a los 65.1 MPa a los 28 días.

En conclusión, se puede afirmar que el microsílíce ha mejorado los parámetros de resistencia del concreto curado a 28 días al utilizar agregado normal de cantos rodados, mientras que en el caso del agregado de basal triturado, ha empeorado significativamente los parámetros de resistencia del concreto resultante.

- Torres, Aguayo, Allena & Ellis (2019) en su artículo científico *The Effect of Various Superplasticizers on Ultra High Strength Concrete*:

Se centró en evaluar el impacto de varios superplastificantes en el rendimiento del hormigón de ultra alta resistencia (UHSC). Utilizaron cuatro tipos diferentes de superplastificantes; dos superplastificantes basados en policarboxilatos éter (PCE) diferentes de un fabricante líder (PCE NB1 y PCE NB 2), un superplastificante polinaftaleno sulfonato (PNS) y un superplastificante PCE local (PCE LP1), ambos proporcionados por un proveedor de productos químicos local, para ello analizaron un promedio de tres muestras por mezcla. Produjeron dos mezclas con dos relaciones de a/c (0.20 y 0.15), que posteriormente aumentarían la cantidad de HRWRA necesaria, de 34.7 a 44.5 l/m³. Las propiedades específicas evaluadas fueron la viscosidad de los superplastificantes, la trabajabilidad del concreto a través de la prueba de aplicación del mortero y las resistencias a la compresión de 7, 14 y 28 días de acuerdo a la normativa británica BS 12390-3-2009.

La resistencia máxima alcanzada fue de 158.9 MPa producida por la mezcla de PCE NB 1 a los 28 días, con una relación a/c de 0.15.

Los resultados muestran que los dos superplastificantes PCE insípidos producen una mayor dispersión y una mayor resistencia a la compresión en todas las edades probadas hasta los 28 días que los dos superplastificantes locales. Además, la prueba de reología demostró que los superplastificantes de marca PCE tenían una viscosidad más baja en todas las velocidades angulares que los superplastificantes locales.

Del artículo de Torres, Aguayo, Allena & Ellis los resultados de su estudio muestran el impacto de cuatro diferentes superplastificantes en la mezcla de concreto de ultra alta resistencia en donde de acuerdo a la composición química (viscosidad) influye en la trabajabilidad del concreto ya que, a mayor viscosidad, lo que produce una menor dispersión del mortero de concreto y menor resistencia a la compresión, haciéndolo menos trabajable.

- Kwon & Wang (2019) en su artículo científico Optimization of the Mixture Design of Low-CO₂ High-Strength Concrete Containing Silica Fume:

Propusieron un procedimiento general para optimizar el diseño de la mezcla de concreto de alta resistencia con bajo CO₂ que contiene humo de sílice. Mediante el uso del algoritmo genético, determinaron las mezclas de concreto con las emisiones de CO₂ más bajas considerando diversas limitaciones. Además, propusieron un método óptimo de Pareto para determinar mezclas con menor CO₂ y menor costo. Utilizaron la caja de herramientas Global MATLAB para resolver la optimización objetiva con restricciones.

Descubrieron que, que para el concreto con resistencias de diseño superiores a 105 MPa, las mezclas con las emisiones de CO₂ más bajas eran diferentes de las de menor costo, a medida que aumentaba la resistencia del hormigón, también aumentaban las emisiones de CO₂ y el coste del hormigón. Mediante la adición de la ecuación de restricción de costo, determinaron las mezclas óptimas de Pareto con emisiones de CO₂ relativamente más bajas y un costo más bajo. En resumen, la técnica propuesta es valiosa para diseñar hormigón de alta resistencia considerando tanto las emisiones de CO₂ como el costo.

Del artículo de Kwon & Wang se puede deducir que, tras un análisis matemático, pero con ciertas restricciones, se puede optimizar la cantidad de agregados y plastificante para el diseño de mezcla con bajas emisiones de CO₂, donde está optimización son de cemento, proporción de agua a

aglutinante, agregado fino, humo de sílice y superplastificante usando una función de deseable combinando redes neuronales y un algoritmo de búsqueda de armonía para encontrar el diseño óptimo de concreto.

- Meng, Kumar, & Khayat (2019) en su artículo Effect of silica fume and slump-retaining polycarboxylate-based dispersant on the development of properties of portland cement paste:

Investigaron el efecto del humo de sílice (SF), un dispersante de policarboxilato éter (PCE) que retiene el asentamiento, y sus combinaciones, sobre las propiedades frescas y endurecidas de la pasta de cemento Portland Ordinario. Las propiedades investigadas incluyen cinética de hidratación, propiedades reológicas, tiempo de fraguado y resistencia a la compresión. El cemento fue reemplazado parcialmente por SF a niveles de sustitución de masa de 0%, 10%, 20% y 30%. Las dosis de PCE incluían 0%, 0.6%, 1.2%, 1.8% y 2.4%, en masa del aglutinante. Utilizaron un cemento Portland ordinario de Tipo I (OPC), un producto SF disponible comercialmente y un dispersante PCE retenedor de asentamiento que tiene un contenido de masa sólida del 23% y una densidad de 1050 kgm^{-3} . La arquitectura molecular del polímero PCE en forma de peine consiste en un esqueleto polimetacrílico (14.1 nm) con cadenas laterales de polímero (óxido de etileno) injertadas (25.1 nm). Todas las pastas se prepararon en una proporción constante de líquido relación a/c de 0.45, en masa. Investigaron el efecto del PCE sobre el valor de extensión del mini asentamiento de la pasta, realizado de acuerdo a la normativa ASTM C 230/C 230M.

Los resultados mostraron que la resistencia a la compresión de 1 día disminuye con el contenido de SF. Sin embargo, a los 7 días, la diferencia entre los sistemas de pasta simple y binaria se reduce significativamente, independientemente del contenido de PCE. Los mecanismos por los cuales el SF produce alteraciones en la ganancia de fuerza de compresión a edades tempranas y posteriores son ligeramente diferentes. Como resultado, la resistencia a la compresión de 1 día de las pastas binarias, incluidas las provisionadas con PCE, es consistentemente más baja que la de las pastas

simples. Sin embargo, a los 7 días, la fracción de la superficie de SF, que aún está expuesta a la solución, puede ejercer efecto de relleno y participar en la reacción puzolánica con portlandita; estos efectos contribuyen al aumento de resistencia de la pasta. Cuando se consolidan estos efectos competitivos de PCE y SF, observaron que, a los 7 días, independientemente de la dosis de PCE, todas las pastas binarias desarrollan resistencias ampliamente similares (es decir, dentro de ± 5 MPa entre sí).

De acuerdo a los resultados se puede afirmar que, el SF acelera las tasas de hidratación del cemento y reduce el tiempo de fraguado inicial/final en relación a su contenido en la pasta. Esto se debe a la provisión de sitios de nucleación C-S-H adicionales en las superficies SF. Sin embargo, cuando el PCE está presente, se suprime tal mejora inducida por SF. Además de mejorar la tasa de hidratación del cemento, SF reduce el espaciado entre partículas, amplificando así las propiedades reológicas. Por el contrario, PCE reduce la viscosidad y el límite elástico. Tanto el SF como el PCE reducen la resistencia a la compresión en 1 día debido a los efectos de la dilución del cemento (causado por SF) y la supresión de la cinética de hidratación del cemento en la edad temprana (causado por el PCE). Sin embargo, la resistencia a la compresión a los 7 días es prácticamente la misma entre las pastas binarias; esto se debe a que los efectos de aceleración y retardo de SF y PCE, respectivamente, son menos pronunciados en edades posteriores.

Respecto al análisis de resultados del artículo de Meng, Kumar & Khayat, finalmente establecen sólidas correlaciones entre la cinética de hidratación, las propiedades reológicas y la evolución de la resistencia a la compresión. Esas correlaciones pueden proporcionar una base para optimizar la formulación del aglomerante y la dosificación de concreto de alto/ultra alto desempeño.

- Djono & Karolina (2019) en su artículo *The Effect of Admixture Type F and Silica Fume on High Early Strength Self Compacting Concrete*:

El hormigón autocompactante de alta resistencia temprana (HESCC) es una nueva invención en el mundo de la tecnología del hormigón que tiene ventajas de trabajabilidad, durabilidad y alta resistencia inicial, por lo que se puede aplicar bien en el mundo del hormigón prefabricado. En esta investigación, el superplastificante utilizado es Viscocrete 8045 y filler de humo de sílice. El propósito de esta investigación es conocer el efecto del Viscocrete 8045 y Silica Fume sobre las propiedades mecánicas del hormigón. Las muestras utilizadas son cilindros de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura con un total de 48 muestras utilizando una variación de humo de sílice del 5%, 10% y 15% y adición de Viscocrete 8045 hasta un 1.5%. A partir de los resultados de las pruebas, obtuvieron que el valor de la resistencia a la compresión del hormigón aumentó debido a la adición del material. Comparado con el hormigón normal, la resistencia a la compresión inicial del hormigón aumenta con un valor máximo en la variación del 15% de humo de sílice de 13.362% mientras que la resistencia a la compresión final del concreto aumenta con el valor máximo en la variación del 15% de humo de sílice de 30.266%. La adición del material no tiene ningún impacto en el valor de la resistencia a la tracción del hormigón. Sin embargo, en el valor de absorción, la adición de humo de sílice provoca una disminución en el valor de absorción del hormigón.

- Matsuzawa, Shimazaki, Kawakami & Sakai (2019) en su artículo Effect of non-adsorbed superplasticizer molecules on fluidity of cement paste at low water-powder ratio:

Utilizaron superplastificantes que tienen diferentes estructuras moleculares para investigar la fluencia de superplastificante no adsorbido en la fluidez de la pasta de cemento. La pasta consistía en cemento Portland de bajo calor (LHC), partículas ultra finas de sílice (UFP) y una solución superplastificante a base de policarboxilato. Primero, añadieron a la pasta un superplastificante que tenía una longitud molecular moderada y se saturó la adsorción. Posteriormente, añadieron otro superplastificante a la pasta. Las adiciones posteriores de superplastificantes más cortos disminuyeron la adsorción del primer superplastificante, pero la fluidez no

cambió. Las adiciones posteriores de superplastificantes moderadamente largos no cambiaron la adsorción, pero aumentaron la fluidez. En contraste, las adiciones posteriores de superplastificantes más largos disminuyeron la fluidez.

Utilizaron ocho superplastificantes basados en policarboxilatos de tipo metacrilato (NIPPON SHOKUBAI CO., LTD., Japón). Para disminuir la influencia del contenido de aire en la fluidez, agregaron un agente antiespumante (LG-299, ADEKA CORPORATION, Japón) a la pasta, y su dosis fue del 1% en masa del superplastificante agregado.

Concluyeron que los superplastificantes que tienen suficientes grupos COO- pueden adsorberse a la fase sólida de la pasta, y las cantidades de superplastificantes adsorbidos se saturaron a una cierta dosis. Dado que la mayor fluidez de la pasta se muestra en una dosis mayor que la dosis de saturación, las moléculas superplastificantes no adsorbidas deberían aumentar la fluidez.

De acuerdo a los resultados obtenidos por Matsuzawa, Shimazaki, Kawakami, & Sakai consideran que el efecto del superplastificante no adsorbido está relacionado con la longitud de las moléculas del superplastificante y la distancia entre partículas. Pequeñas moléculas de superplastificante pueden intercalarse entre las partículas y pueden ayudar en la dispersión de las partículas. Por el contrario, dado que la distancia entre las partículas es demasiado pequeña con una relación agua-polvo baja, se supone que las moléculas superplastificantes grandes pueden interactuar con varias partículas simultáneamente y dar como resultado la unión de las partículas.

- Campos & Geyer (2019) en su artículo *Effects of using chemical admixture with nanosilica in the consistency and mechanical strength of concrete*:

El comportamiento del hormigón depende de su comportamiento en estado fresco y endurecido, dado que la trabajabilidad corrobora los procesos de transporte y aplicación del material, mientras que la resistencia mecánica

garantiza la eficacia y funcionalidad estructural. Generalmente, los estudios de mezclas con nanosílice (nS) tienen como objetivo analizar el comportamiento en estado endurecido y se basan en el uso de adición de minerales en granos secos. Así, este artículo tuvo como objetivo evaluar los efectos del uso de aditivo superplastificante con nanosílice en suspensión coloidal sobre la consistencia y resistencia mecánica del hormigón. Produjeron dos hormigones con los mismos materiales y características idénticas, pero con diferentes aditivos superplastificantes, una mezcla incorporada con aditivo con nanosílice (CnS) y otra sin la adición mineral (CC) utilizada como referencia para analizar los efectos de la presencia de nanosílice, tanto en la evolución de la consistencia como en la resistencia mecánica del. Para evaluar éstas propiedades realizaron pruebas de pérdida de sacrificio en función del tiempo y resistencia a la compresión a los 28 días según ANBT NBR 10342 y NBR 5739, respectivamente. Los resultados, mostraron que el hormigón dosificado con aditivo sin nanosílice tuvo un mayor tiempo disponible para su manipulación, alcanzando los 135 minutos, extendiendo el período de pérdida de asentamiento por quince minutos más allá del hormigón con nanosílice en suspensión coloidal, que alcanzó los 120 minutos; así como presentaron mayores valores de sacrificio a lo largo de la prueba, alcanzando 60.0 mm más de sacrificio a los 75 minutos del inicio de la prueba. Sin embargo, el CnS se comportó mejor en el estado endurecido, superando a la clase C70 de hormigón de alto rendimiento con 70.92 MPa; mientras que el CC alcanzó los 65.57 MPa.

Campos & Geyer nos muestran que al incorporar el nanosílice, las propiedades mecánicas aumentan en comparación a los resultados de la muestra sin nanosílice.

- Brace & Garcia-Taengua (2019) en su artículo Superplasticizer-Nanosilica Compatibility: Assessment and Optimization:

Las nanopartículas pueden producir beneficios significativos en productos a base de cemento, pero pueden plantear problemas con respecto a la dispersión y las dosis óptimas. Este artículo propone una metodología

económica para comparar superplastificantes en términos de su compatibilidad con nanosílice, proporcionando a los tecnólogos del hormigón una herramienta práctica para seleccionar las mejores combinaciones. Produjeron una serie de pastas de cemento que incorporan nanosílice y dos superplastificantes diferentes en diferentes dosis. Su rendimiento en estado fresco se evaluó mediante la prueba de embudo de Marsh y su resistencia a la compresión se determinó a los 28 días. La compatibilidad entre nanosílice y superplastificantes lo definieron y describieron mediante el desarrollo de modelos semi-empíricos. Estos lo utilizaron para identificar combinaciones óptimas que maximizan la fluidez y la resistencia a la compresión y minimizan su variabilidad. Concluyeron que la optimización de las pastas de cemento con nanosílice solo era factible cuando el superplastificante utilizado es altamente compatible.

La selección cuidadosa del superplastificante resulta ser fundamental para garantizar la eficiencia y la rentabilidad de la adición de nanosílice.

- Sadromtazi, Tajasosi & Tahmouresi (2018) en su artículo *Effect of materials proportion on rheology and mechanical strength and microstructure of ultra-high performance concrete (UHPC)*:

Investigan los efectos de las proporciones de los materiales constituyentes sobre la resistencia mecánica y la microestructura del concreto de ultra-alto rendimiento (UHPC) y también intentan evaluar las propiedades reológicas del UHPC utilizando una prueba de flujo por compresión.

El procedimiento de fabricación y moldeado de la mezcla se realizó de acuerdo con ASTM C109/109 M (ASTM, 2016) mediante algunas modificaciones. Utilizaron tres contenidos de ligante (800, 900 y 1000 kg/m³), en este sentido, los efectos del valor de reemplazo del humo de sílice (15%, 20%, 25%), el contenido de superplastificante de ácido policarboxilato modificado (copolímero) de 1%, 1.2% y 1.4% y tres relaciones de agua-cemento (a/c) de 0.18, 0.20 y 0.22 en las propiedades frescas (tiempo de fraguado, flujo de compresión), resistencia mecánica

(resistencia a la compresión o flexión) y microestructura del UHPC. La prueba de resistencia a la compresión realizada de acuerdo con ASTM C109 / C109M (ASTM, 2016a)

Los resultados de resistencia mecánica mostraron que con el aumento de las relaciones a/c, la resistencia a la compresión se redujo hasta un 11.5%, mientras que la alta dosis de superplastificante la mejoró hasta un 10%.

De acuerdo a los resultados mostrados en el artículo de Sadrmomtazi, Tajasosi, & Tahmouresi los porcentajes de reemplazo de SF de 15%, 15% y 20% fueron las cantidades óptimas para las series A, B y C, además que una dosis alta de SP aumenta la resistencia a la compresión y se reduce cuando aumenta la relación a/c bajo una dosis de SP constante.

- Arend, Wetzel & Middenforf (2018) en su artículo In-situ investigation of superplasticizers: From fluorescence microscopy to concrete rheology:

Mencionan que los mecanismos básicos de funcionamiento de los llamados superplastificantes se entienden ampliamente en teoría, pero aún existen fenómenos poco claros como incompatibilidades con ciertos aditivos. Este estudio presentó un método novedoso para investigar la interacción de superplastificantes con partículas minerales. Con la aplicación de microscopía de fluorescencia, es posible por primera vez localizar y cuantificar la adsorción de superplastificantes a partículas y variar los parámetros experimentales durante la medición. Los resultados presentados prueban este método, que permite investigar por primera vez la interacción del superplastificante con superficies minerales in situ. Finalmente, lograron una correlación entre la adsorción medida microscópicamente de dos superplastificantes diferentes con las propiedades reológicas de un mortero de prueba.

Para este estudio utilizaron tres tipos diferentes de PCE: 12PC5, 45PC2 y 45PC6. El primer número en la etiqueta de la muestra representa la longitud promedio de las cadenas laterales en el número de unidades de etilenglicol, el segundo número representa la tasa de carga que lleva grupos carboxilo a la cadena lateral que lleva grupos éster. Estos representantes

difieren en la densidad de carga de la molécula (45PC6 > 12PC5 > 45PC2), la longitud de la cadena y el peso molecular. 12PC5 con un peso molar de aproximadamente 18.000 g/mol obtenida de MC Bauchemie y 45PC2 (~ 25.000 g/mol) y 45PC6 (~ 16.000 g/mol) fueron sintetizados por el grupo del Prof. Plank en el Departamento de Química de TU Munich. Todos los superplastificantes lo obtuvieron en solución acuosa con un contenido de polímero de aproximadamente 40% en peso. En este trabajo, solo 45PC2 y 45PC6 se comparan directamente, porque estos PCE tienen la misma cadena lateral longitud y solo difieren en la densidad de carga.

Utilizaron el parámetro para estimar la fluidez del mortero y su reología la medición del asentamiento según la norma EN DIN 1015-3. Los valores de asentamiento de los morteros mezclados con PCE teñido y sin procesar fueron los mismos. La unión de los colorantes a los grupos carboxilato redujo formalmente la densidad de carga, pero este factor parece ser insignificante, así como el pequeño cambio de masa molecular causado por el acoplamiento. Para comparar el efecto plastificante de 45PC2 y 45PC6, mezclaron un mortero de UHPC y midieron el asentamiento, observando una diferencia considerable entre ambos polímeros. El 45PC6 mejor adsorbente plastifica el mortero modelo hasta un asentamiento de 29 cm, mientras que el hormigón con 45PC2 no presenta fluidez (asentamiento de 11 cm), respecto al diámetro inicial de 10 cm.

Del artículo de Arend, Wetzel & Middenforf se puede rescatar que el enfoque microscópico de fluorescencia proporciona resultados que harán predecible la eficiencia de los superplastificantes desarrollados nuevos y actuales mediante la combinación con las mediciones reológicas de los macro-sistemas correspondientes. Sobre la creciente cantidad de materiales cementantes suplementarios, este método tiene un alto potencial para acelerar la búsqueda o el desarrollo de superplastificantes adecuados puesto que se sabe que la presencia de humo de sílice influye enormemente en el rendimiento del superplastificante.

- Li, Zheng, Zhu & Kwan (2018) en su artículo Combined usage of micro-silica and nano-silica in concrete: SP demand, cementing efficiencies and synergistic effect:

Investigaron los efectos combinados de Microsílice (MS) y Nanosílice (NS) sobre el comportamiento compresivo del hormigón. Para las pruebas se produjeron mezclas de hormigón con relación variable de agua/materiales cementosos (W/CM), contenido de MS y contenido de NS, pero una trabajabilidad similar. Las mezclas de hormigón se controlaron para que tuvieran la misma trabajabilidad requerida ajustando la dosis de superplastificante. El superplastificante (SP) que añadieron fue a base de policarboxilato con un contenido de masa sólida del 20% y una densidad relativa de 1.08.

Los resultados de la resistencia a la compresión a 28 días fueron calculados de acuerdo con la norma estadounidense ASTM C39 / C39M. A partir de estos resultados, es obvio que, en general, la resistencia a la compresión aumentó a medida que disminuyó la relación W/CM. Dicho fenómeno observado es razonable porque se sabe que la resistencia a la compresión del hormigón se rige principalmente por la relación W/CM y, en general, es más alta con una relación W/CM más baja. Aunque a la misma relación W/CM, la adición de MS y/o NS aumentaría sustancialmente la demanda de SP, la adición de MS y/o NS también aumentaría sustancialmente la resistencia a la compresión. Por lo tanto, a la misma fuerza requerida, el aumento en la demanda de SP debido a la adición de MS y/o NS. Aquí sugieren que el efecto de MS y NS en el SP también debe evaluarse la demanda a la misma fuerza. Para tal evaluación, la dosis de SP se representa frente a la resistencia a la compresión para diferentes contenidos de MS + NS. Por lo tanto, la adición de solo NS no cambiaría significativamente la demanda de SP con la misma fuerza, pero la adición combinada de MS y NS reduciría significativamente la demanda de SP con la misma fuerza cuando la fuerza es superior a 60 MPa. Con la cual, NS no debe agregarse solo, sino que debe agregarse junto con MS para minimizar la demanda de SP con la misma potencia.

Del artículo de La adición de Li, Zheng, Zhu & Kwan se puede concluir que las adiciones de MS y NS sin cambiar la relación agua/cemento (a/c) disminuiría la trabajabilidad, pero la disminución de la trabajabilidad podría compensarse aumentando la dosis de SP. Con la misma relación a/c, la adición de 0.5% a 1% de NS aumentaría sustancialmente la demanda de SP. Sin embargo, con la misma fuerza, la adición de NS no aumentaría significativamente la demanda de SP. Además, la adición combinada de 5% MS y 1% NS disminuiría efectivamente la demanda de SP a una resistencia a la compresión superior a 60 MPa, por ello se encontró que NS tiene una demanda de superplastificantes (SP) mucho mayor y una eficiencia de cementación mucho mayor que MS.

- Khodabakhshian, Ghalehnovi, de Brito & Shamsabadi (2018) en su artículo científico Durability performance of structural concrete containing silica fume and marble industry waste powder:

Presentan los resultados de una investigación experimental de las propiedades de durabilidad llevada a cabo en 16 mezclas de concreto que contienen polvo de desecho de mármol (MWP) y humo de sílice (SF) como reemplazo parcial del cemento Portland ordinario. En todas las mezclas de concreto, utilizó una proporción constante de agua/cemento de 0.45 y un superplastificante de policarboxilato-éter, suministrado por Shimi Sakhteman Co. Realizaron ensayos de trabajabilidad y densidad sobre hormigón fresco mientras que, realizaron ensayos de resistencia a la compresión, resistividad eléctrica, absorción de agua, durabilidad al sulfato de sodio, sulfato de magnesio y ataque al ácido sulfúrico para evaluar algunas propiedades relevantes del hormigón en estado endurecido, siendo la proporción de mezcla según el método del ACI 211.1 (1991).

Con el aumento en la tasa de sustitución, el contenido de superplastificante aumenta para alcanzar el rango de asentamiento objetivo. Por otro lado, el efecto negativo de MWP y SF sobre la trabajabilidad disminuyó a medida que aumentaba el contenido de superplastificante. Este comportamiento puede atribuirse a la mayor fineza de MWP y SF en comparación con OPC.

La trabajabilidad de todas las mezclas basadas en la prueba de asentamiento lo mantuvieron en el rango de 80 ± 10 mm calibrando la cantidad del superplastificante a base de éter policarboxílico. El uso de un aditivo superplastificante disminuyó la demanda de agua en la producción de hormigón.

De acuerdo a sus resultados, el uso de un 20% de polvo de desecho de mármol y un 10% de humo de sílice como reemplazo parcial del cemento resultó en una reducción del 30% del cemento que disminuye los efectos nocivos de la industria del cemento en el medio ambiente, además de hacer mención que no hubo necesidad de cambiar significativamente la relación a/c de las diversas mezclas para mantener el nivel de trabajabilidad, ya que el efecto negativo de MWP y SF sobre la trabajabilidad disminuyó a medida que aumentaba el contenido de superplastificante, a base de policarboxilato éter, utilizado.

El artículo científico de Khodabakhshian, Ghalehnovi, de Brito & Shamsabadi es influyente en nuestra investigación ya que, realiza un comparativo entre el humo de sílice y polvo de desecho de mármol con una variación constante de estos materiales en su mezcla así como el uso del aditivo superplastificante a base de policarboxilato éter bajo una relación de agua/cemento constante, resaltando que el efecto negativo de ambos materiales utilizados sobre la trabajabilidad disminuyó a medida que aumentaba el contenido de superplastificante.

- Perumal, Senthilkumar & Sekar (2018) en su artículo *Experimental Investigations on Strength Characteristics of High Performance Concrete Using Silica Fume and Superplasticizer*:

Formularon un procedimiento para diseñar un HPC mediante la combinación de métodos de diseño de mezcla utilizando aditivos superplastificante y aditivos microsílíce. Se han llevado a cabo investigaciones experimentales en las muestras de HPC para determinar la trabajabilidad y las propiedades relacionadas con la resistencia, como la resistencia a la compresión, la resistencia a la tracción dividida, la

resistencia a la flexión y el módulo elástico de las mezclas de prueba diseñadas y también la prueba no destructiva (NDT): velocidad de pulso ultrasónico (UPV) para comprobar la calidad del hormigón. El aditivo superplastificante utilizado es a base de sulfonato de naftalina CONPLAST SP430 y el humo de sílice usado es ELKEM INDIA (P) LTD. Diseñaron 14 mezclas con diferentes dosificaciones de humo de sílice y superplastificantes, las cuales fueron ensayadas en estado fresco y endurecido para encontrar el asentamiento, resistencia a la compresión, resistencia a la tracción, resistencia a la flexión y factor de compactación.

El porcentaje óptimo de reemplazo de cemento por SF es del 10% para las pruebas anteriores para los grados de concreto M80 y M100. Esto puede deberse al hecho de que el aumento de las características de resistencia en el hormigón se debe a la reacción puzolánica y los efectos de relleno del SF y superplastificante. La resistencia a la compresión máxima alcanzada fue de 122.10 MPa a la edad de 56 días, resistencia a la flexión 10.4 MPa.

Perumal, Senthilkumar & Sekar, demuestran que la resistencia a la compresión más alta se logra con 10% de microsílíce y con 3.0% de aditivo, ya que mientras el microsílíce aumenta, la resistencia a la compresión disminuye. Esto quiere decir que si se dosifica adecuadamente los aditivos minerales y químicos se puede lograr grandes beneficios en la mezcla, tanto en estado endurecido como en estado fresco.

- Massana, Reyes, Bernal, León & Sanchez-Espinoza (2018) en su artículo Influence of nano- and micro-silica additions on the durability of a high-performance self-compacting concrete:

Tuvieron como objetivo principal examinar los efectos de las mezclas binarias y ternarias de nanosílíce (nSi) y microsílíce (mSi) sobre la durabilidad de un hormigón autocompactante de alto rendimiento (HPSCC), analizaron la resistencia a la compresión a los 28 días. Fabricaron diez mezclas: una sin adiciones como control, tres con 2.5%, 5% y 7.5% de nSi, tres más con 2.5%, 5% y 7.5% de mSi y tres utilizando ambos aditivos, con 2.5%/2.5%, 5%/2.5% y 2.5%/5%, de nSi y mSi,

respectivamente, siendo un total de 40 probetas ensayadas. Los aditivos empleados fueron los siguientes: como superplastificante (SP), SIKA ViscoCrete® 5720 a base de polímeros de policarboxilato y SIKA Stabilizer® 4R que permite controlar la viscosidad del hormigón, con una cantidad constante en todas las mezclas de 0.15% en peso de cemento (% en peso) según UNE-EN 12390-2: 2009. Las propiedades mecánicas lo evaluaron examinando la prueba de resistencia a la compresión a los 28 días de edad, según UNE-EN-12390-3: 2009.

La mayor resistencia a la compresión fue lograda en la mezcla ternaria con 2.5%/2.5%. Una distribución más amplia del tamaño de partícula crea una baja porosidad, mejora la densidad, disminuye la demanda de agua en comparación con las mezclas con la misma cantidad de adición total usando solo nSi, proporciona una mayor resistencia a la compresión y un rendimiento duradero mejorado. En los hormigones con mSi, hubo una menor porosidad total con un tamaño de poro promedio similar al del hormigón de referencia.

Todas las mezclas que estudiaron cumplieron con los requisitos para ser clasificadas como HPSCC, solo controlando la cantidad de aditivo superplastificante. Además, se dedujo que la cantidad de nSi y la demanda del aditivo superplastificante son proporcionales. Sin embargo, el uso de aditivo superplastificante produce burbujas directamente proporcionales a la cantidad de aditivo incorporada. Estas burbujas son vacíos en el interior de la masa que podrían provocar una concentración de tensiones que provocarían una pérdida de resistencia mecánica. (pp. 93–103)

De acuerdo al artículo de Massana, Reyes, Bernal, León & Sanchez-Espinoza, es posible determinar que la resistencia a la compresión más alta se logra cuando los compuestos autocompactantes tienen una distribución de tamaño de partícula continua desde el tamaño de partícula más pequeño, además, hasta el agregado grueso más grande, en donde debe ser controlado adecuadamente la cantidad de aditivo superplastificante que es proporcional a la cantidad de nSi y mSi.

- Liu et al. (2017) en su artículo Influence of superplasticizer dosage on the viscosity of cement paste with low water-binder ratio:

Investigaron la influencia y el mecanismo subyacente de la dosificación de superplastificantes (SP) sobre la viscosidad de las pastas de cemento con cuatro proporciones agua-aglutinante (a/c). Mostrando los resultados que la viscosidad aparente de las pastas con relación a/c de 0.24 y 0.32 disminuyó con la dosis de SP, considerando que, es inverso para la pasta de cemento con a/c de 0.20 y 0.16. La adición de SP aumentó la densidad de empaquetamiento y el espesor de la película de agua de las pastas con un a/b de 0.32 y 0.24. Sin embargo, el aumento de la dosis de SP tuvo poco efecto sobre la densidad de empaquetamiento y el espesor de la película de agua de las pastas con un a/c muy bajo 0.16. Para las pastas de cemento con relación a/c muy bajo los pequeños espacios entre las partículas de aglutinante y la alta concentración de SP no adsorbido en la solución intersticial pueden ser los principales factores responsables del aumento de la viscosidad de las pastas.

- Tebbal, Rahmouni & Mazza (2017) en su artículo científico Combined effect of silica fume and additive on the behavior of high performance concretes subjected to high temperatures:

Tuvieron como objetivo examinar el efecto de las adiciones de humo de sílice y superplastificante reductor de agua (Medaplast SP40) sobre el comportamiento mecánico de concreto de alto desempeño a altas temperaturas. Los hormigones que ensayaron estaban formulados con 5% de humo de sílice y dos dosis de superplastificantes en la proporción de 2% y 2.5% del peso del cemento. Los valores de asentamiento para las tres mezclas fueron de acuerdo con NF EN 12390-4 EN 12390-5. Todas las muestras lo someten a altas temperaturas: 200 °C, 400 °C, 600 °C y 900 °C de acuerdo con el programa de tiempo-temperatura de ASTM E 119-00. Después de enfriar, fueron sometidos a pruebas de compresión. Los resultados mostraron que la resistencia mecánica a los 28 días aumenta con el grado de temperatura en comparación con la medida a 20 °C. Por el contrario, se observa una clara disminución entre 600 °C y 900 °C. Sin

embargo, la composición del material parece tener una gran influencia en la resistencia mecánica.

A partir del estudio de Tebbal, Rahmouni & Mazza se puede comprobar que los hormigones con superplastificante se ven afectados por altas temperaturas, especialmente a 600 °C y más, en comparación con una dosis inferior a superplastificante además que la disminución de la resistencia estimada es de 78% para HPC con 2% de superplastificante expuesto a una temperatura de 900 °C mientras que, por otro lado, es cero para el concreto ordinario.

Alonso, Martínez-Gaitero, Gismera-Diez & Puertas (2017) en su artículo científico PCE and BNS admixture adsorption in sands with different composition and particle size distribution:

Analizaron las isothermas de adsorción para superplastificantes de tipo policarboxilato (PCE) y naftaleno condensado (BNS) en cuatro arenas de diferente finura y composición comúnmente utilizado para preparar morteros y hormigones. El aditivo BNS no se adsorbe en las arenas, mientras que los PCE mostraron adsorción variable. Las curvas de adsorción revelaron que cuanto mayor es la finura de arena, menor la distribución del tamaño de partícula y mayor el contenido de arcilla mayor era adsorción/intercalación de aditivos PCE en las arenas. (pp. 1)

En el artículo científico de Alonso, Martínez-Gaitero, Gismera-Diez, & Puertas se rescata la influencia que tiene los aditivos convencionales a base de BNS y PCE en las mezclas donde la composición química y mineralógica de los agregados influyen en la adsorción además que, la fluidez se ve afectado por el tipo de aditivo y su dosificación.

- Motahari, Ramezaniapour, Ebadi, Isapour & Karakouzian (2017) en su artículo A new approach for application of silica fume in concrete: Wet granulation:

Evaluaron cómo mejorar las propiedades del hormigón endurecido y cómo una aplicación facilita el proceso si se utiliza la técnica de granulación húmeda para aumentar la densidad del humo de sílice que se mezcla con

superplastificante sólido. El uso de humo de sílice como reemplazo parcial del cemento disminuiría la fluidez de las mezclas de concreto. Si esta reducción de la fluidez se compensa con un aumento de agua, entonces, debido a un aumento en la proporción de agua-aglutinante, no se producirá ninguna mejora al reemplazar parcialmente el cemento con humo de sílice. El uso de aditivos reductores de agua, podría permitir mejoras mediante el uso de humo de sílice. El objetivo de este estudio fue producir un producto mejorado mediante el uso de ciertas combinaciones de superplastificante (en forma sólida) y un humo de sílice durante el proceso de granulación; esto compensaría parcialmente la posible reducción de la trabajabilidad debido a la adición de humo de sílice.

Usaron un superplastificante de un sólido basado en sulfonato de formaldeide de naftaleno para preparar la suspensión de sílice de humo y los gránulos. Tanto para el humo de sílice en suspensión como para el humo de sílice granulado, utilizaron un superplastificante líquido con la misma base además del superplastificante sólido con el fin de retener la trabajabilidad de las mezclas en el intervalo de 70 y 100 mm. La prueba de asentamiento en concreto fresco lo realizaron de acuerdo con el método de prueba ASTM C143. La cantidad de superplastificante aplicable aumentó con la cantidad de humos de sílice. Las pruebas de fuerza de compresión lo realizaron a las edades de 7, 28 y 90 días en 12 mezclas, incluidas muestras de control, muestras de GSF y muestras de SSF.

Los resultados de este artículo indicaron un aumento en la resistencia mecánica y una disminución en la permeabilidad tanto para el humo de sílice en suspensión como para los gránulos, en comparación con la muestra de control, por lo que el humo de sílice granular podría ser un sustituto confiable del humo de sílice en suspensión en varias aplicaciones de construcción debido a la conveniencia de su transporte, mantenimiento y aplicación.

- Khaloo, Asadollahi & Dehestani (2017) en su artículo científico A New Mixture Design Method for Ultra-High-Strength Concrete:

Tuvieron como objetivo desarrollar un nuevo método de diseño de mezclas para hormigón de ultra alta resistencia (UHSC) que incorpore humo de sílice. Al principio, el estudio se ocupa de los procedimientos, ventajas y desventajas de los métodos comunes de diseño de mezclas para producir UHSC, y luego presentan los procedimientos de diseño de mezclas del método propuesto seguidos de experimentos de validación. Finalmente, analizan los efectos de diferentes parámetros sobre la fuerza de UHSC en una amplia gama de relaciones agua-cemento (a/c) y porcentajes de sustitución de humo de sílice.

Utilizaron cuatro HRWRA disponibles comercialmente: PCE1 y PCE2 basados en policarboxilato éter (PCE) y NSF1 y NSF2 basados en naftaleno sulfonato formaldehído (NSF), para encontrar el HRWRA compatible con el cemento considerado de acuerdo a la prueba del cono Marsh según el ASTM D6910. La pasta con PCE1 HRWRA tiene la dosis de saturación más baja de aproximadamente 0.7% (porcentaje de los sólidos contenidos en HRWRA con respecto a la masa de cemento) y la mejor fluidez a la misma dosis de HRWRA del 1% entre todas las demás. Así, encontraron que la combinación del cemento y PCE1 HRWRA presenta una muy buena compatibilidad y fue utilizada en la dosificación de la mezcla.

Indican que UHSC se puede producir con éxito utilizando este método utilizando la menor cantidad de agua entre los otros métodos. Además, se encontró que el UHSC obedece a la llamada ley de Abrams y su resistencia a la compresión se puede optimizar utilizando un 15% de humo de sílice por masa de cemento. Además, evaluaron la capacidad de tres modelos para predecir la resistencia a la compresión de UHSC a los 28 días. Estos modelos proporcionan guías útiles para la estimación de la resistencia a la compresión UHSC.

Del artículo de Khaloo, Asadollahi & Dehestani se puede concluir que el hormigón de ultra alta resistencia se puede obtener con éxito con su método propuesto, además la resistencia a la compresión disminuyó con un aumento en el contenido de agua en cualquier nivel de reemplazo de

humo de sílice, siendo un papel importante del requerimiento inicial de agua para lograr la resistencia a la compresión superior a 100 MPa objetiva, no obstante, la resistencia a la compresión aumentó con el porcentaje de reemplazo de humo de sílice hasta un 15% y, a partir de entonces, hubo una tendencia de reducción a medida que aumentaba el contenido de humo de sílice y, por lo tanto, la resistencia a la compresión de UHSC se puede optimizar utilizando un 15% de reemplazo de humo de sílice por peso de cemento.

- Vidya, Blessy Zion, & Rao (2017) en su artículo científico A Study on Development of High Strength Concrete (95 MPa):

Investigaron la influencia del tiempo de mezclado en las propiedades del hormigón fresco del concreto de alta resistencia (HSC) a través del efecto de CONPLAST SP-430 durante 3 (C-3) y 5 minutos de mezcla (C-5), por ello observaron el efecto del período de mezcla para conocer el efecto de los parámetros sobre el hormigón fresco. Lograron un HSC de 95 MPa usando un 10% de reemplazo de cemento con microsílice. Los resultados mostraron que la trabajabilidad y la resistencia a la compresión de la mezcla se pueden mejorar con un aumento en el tiempo de mezcla.

Para HSC, debido a la baja relación agua-cemento, utilizaron un superplastificante como CONPLAST SP 430 conforme a IS 9103 (1999) para aumentar la trabajabilidad para una relación agua-cemento de 0.25, la dosis del aditivo utilizado en la presente mezcla fue fijado en 1.5% de material cementoso. Todos los componentes lo mezclaron en seco durante un período de 1 minuto y 2 minutos respectivamente, para dos mezclas de concreto diferentes (C-3 y C-5). El efecto plastificante y la reducción de agua fueron mayores si el aditivo se agregaba al concreto húmedo después de haber agregado el 60% del agua de mezclado y se alimentó CONPLAST SP 430 con el 40% restante del agua. La mezcla húmeda de los ingredientes fue de 2 minutos y 3 minutos, respectivamente, para las dos mezclas, las mezclas se obtuvieron usando ACI 211.4R-08. Las muestras para el ensayo de resistencia a la compresión se realizaron según la norma IS:516.1959. Concluyendo que cuanto mayor sea el tiempo de mezcla,

mejor será la trabajabilidad de la mezcla de hormigón. El aumento del tiempo de mezcla puede resultar en una distribución más uniforme del producto de hidratación, lo que resulta en una mayor resistencia a la compresión.

Del artículo de Vidya, Blessy Zion & Rao se puede extraer que, el aumento del tiempo de mezcla da como resultado una distribución más uniforme del producto de hidratación, lo que da como resultado una mayor resistencia a la compresión también que, con el aumento en el tiempo de mezcla, la resistencia a la compresión aumenta con una menor dosis de CONPLAST SP 430.

- Alsalman, Dang & Hale (2017) en su artículo científico Development of ultra-high performance concrete with locally available materials:

Examinaron el efecto de la gradación de la arena, el tipo y contenido de cemento y los regímenes de curado sobre la resistencia a la compresión del concreto, con el uso de materiales locales de Vietnam para ahorrar materiales y energía y reducir el costo del concreto.

Mezclaron cemento, tres tipos de arena, humo de sílice y/o cenizas volantes durante 10 minutos y luego agregaron gradualmente agua y la mezcla de aditivo HRWR basado en carboxilato. La reología de las mezclas de UHPC lo evaluaron mediante la fluidez de las mezclas de UHPC frescas. Midieron la resistencia a la compresión del hormigón a las edades de los 7, 28, 56 y 90 días de edad, lo realizaron de acuerdo con la normativa ASTM C109/C109M.

En general, el uso de humo de sílice aumentó la resistencia en todas las edades, independientemente de la tasa de reemplazo. La mezcla. La resistencia a la compresión de 90 días de UHPC-4 fue mayor que las resistencias de UHPC-1, UHPC-3, UHPC-5 y UHPC-6 en 12, 2, 6 y 8%, respectivamente. Sin embargo, la resistencia a la compresión de UHPC-4 fue ligeramente mayor que la resistencia de UHPC-3 a los 1, 28, 56 y 90 días. Dado que los resultados mostraron una ligera diferencia en la

resistencia a la compresión de las mezclas que contienen 5% o 10% de humo de sílice.

Sobre el artículo científico de Alsalman, Dang & Hale los resultados de sus ensayos de resistencia a la compresión a las edades de 28, 56 y 90 días son relevantes para nuestra investigación, siendo los requeridos solamente los evaluados para el concreto con adición de microsílíce con incorporación de superplastificante mas no con las cenizas volantes y/o fibra de acero, que serán utilizados para la discusión de resultados.

- Ženíšek, Vlach & Laiblová, (2017) en su artículo *Mixing of Concretes with Extremely Low Water-Cement Ratio*:

Presentan las formas de método de mezclado para hormigón con una relación agua-cemento (a/c) extremadamente baja típica de los hormigones de rendimiento ultra alto. Para ello, se utilizó la mezcla con una relación agua/cemento (a/c) de 0.2 y una cantidad de superplastificantes del 6% en peso de cemento. En total probaron 6 métodos de mezcla diferentes, que diferían en la aplicación de superplastificantes, el orden de mezcla o la longitud de mezcla. Se examinaron la trabajabilidad, la resistencia a la compresión y a la flexión después de 28 días. Los experimentos realizados mostraron que la trabajabilidad se puede incrementar, por ejemplo, mediante dosis separadas de superplastificantes y agua u otros métodos de mezcla. La resistencia del hormigón fue idéntica para todas las mezclas producidas (110 MPa de media), aunque el tiempo total de mezcla se redujo en dos casos.

- Li, Yu & Brouwers (2017) en su artículo *Effect of PCE-type superplasticizer on early-age behaviour of ultra-high performance concrete (UHPC)*:

Investigaron el efecto y comprensión del mecanismo del superplastificante (SP) de tipo PCE sobre las pastas de concreto ultra-alto desempeño (UHPC) en edades tempranas, así como el flujo de propagación, la vida de asentamiento y el desarrollo de la resistencia a una edad temprana del UHPC. Además, analizaron la capacidad de dispersión y retención de

fluidos del SP, el efecto retardador del SP, los efectos del proceso físico y químico.

En las pastas y UHP utilizaron cuatro superplastificantes tipo PCE con diferentes capacidades dispersantes y retardantes, los cuales fueron provistos por diferentes productores. SP1 se sintetiza con cadenas laterales largas. SP2 tiene una rápida absorción de las partículas de cemento y cubre menos superficie, lo que asegura una gran superficie de partículas de cemento para reaccionar con el agua y luego acelera la hidratación del cemento. SP3 se puede utilizar para conseguir una fluidez muy alta y una retención prolongada de la reología, incluso con una relación agua-cemento baja. SP4 es adecuado para UHPC, que se adsorbe sobre la partícula de cemento con largas cadenas laterales flexibles. Describieron el flujo de difusión de las pastas que incorporan diferentes tipos y dosis de SP, observaron que la relación entre la capacidad de flujo de las pastas y las dosis de SP muestra una tendencia exponencial en este estudio, lo que significa que los diámetros de flujo de dispersión aumentan rápidamente con dosis relativamente bajas de SP, y luego se producen mesetas típicas después de las dosis de saturación. Además, muestran que la demanda de agua de la pasta UHPC se reduce de 1.07 (sin SP) a 0.45 (con suficiente SP), lo que significa que la reducción de agua de la demanda de agua es de aproximadamente 58%.

La resistencia a la compresión y a la flexión de las muestras de UHPC se probaron después de 1, 3 y 7 días respectivamente, según la norma EN 196-1: 2005. Para investigar el efecto de tipo SP sobre la fuerza de la edad temprana, los UHPC se moldearon con todos los SP en dosis de 2.2% (dosis cercanas a la saturación). Luego, también se prepararon los UHPC utilizando SP3 con una dosis de 1.8%, 2.6% y 3.0%, respectivamente. Donde concluyeron que los diferentes tipos y dosis de SP contribuyen a un desarrollo de fuerza muy diferente en las edades tempranas, especialmente para la fuerza de 1 día. Las diferencias se reducen después de 3 días y las resistencias comparativas se obtienen después de 7 días.

La capacidad de dispersión del SP tipo PCE depende en gran medida de su estructura química y capacidad de adsorción de partículas. La fluidez de la

pasta aumenta continuamente desde la dosis crítica hasta la dosis de saturación y permanece constante después de obtener una cobertura superficial completa de partículas por encima de la dosis de saturación.

Del artículo de Li, Yu & Brouwers se puede indicar que, se deben seleccionar cuidadosamente los tipos y dosis apropiados de SP de tipo PCE para el diseño de UHPC ya que la capacidad de dispersión del SP tipo PCE depende en gran medida de su estructura química y capacidad de adsorción de partículas.

- Khaloo, Mobino & Hosseini (2016) en su artículo Influence of different types of nano-SiO₂ particles on properties of high-performance concrete: Tuvieron como objetivo evaluar los efectos de aplicar ratios de reposición bajos de nano-SiO₂ con diferentes superficies específicas (200 y 380 m²/g) sobre las propiedades del hormigón de alto rendimiento (HPC). Realizaron pruebas mecánicas (resistencias a la tracción por compresión y tracción). El cemento utilizado fue cemento Portland Tipo II que cumple con los requisitos de ASTM C 150, nanosílicas pirogénicas, emplearon un superplastificante a base de policarboxilato (con 40 ± 1% de contenido de sólidos, pH de 7 ± 1 y gravedad específica de 1.12 ± 0.05 a 20.4 °C) para ayudar a la dispersión de las nanopartículas y lograr una buena fluidez en las mezclas de HPC y también tanto los agregados gruesos como los finos cumplían con los requisitos de ASTM C 33. El cemento Portland se reemplazó parcialmente con nanosílicas pirogénicas en las dos proporciones de adición de 0.75% y 1.50% en peso. Para lograr un nivel de asentamiento constante (26 ± 1 cm), utilizaron un superplastificante en diferentes dosis para todas las mezclas.

Observaron que a una relación a/c especificada, aumentando el área de superficie específica de nano-SiO₂ partículas se reduce el diámetro de flujo de la mezcla de HPC. Entonces, los aglomerados de nanopartículas de nano-SiO₂ poseen una alta adsorción de agua y una significativa capacidad de retención de agua debido a su alta superficie específica y alta porosidad a nanoescala, en consecuencia, se requieren dosis más altas de superplastificante para mantener el asentamiento e inhibir la reducción del flujo en las mezclas de HPC aumentando las proporciones de reemplazo y

las áreas superficiales específicas de las partículas de nano-SiO₂. Tanto en los resultados de resistencia a la compresión y resistencia a la tracción, la nanosílice pirogénica más gruesa (NS200) fue más eficaz que la más fina (NS380) en diferentes proporciones a/c.

De acuerdo a los resultados presentados indican que el rendimiento de las partículas de nano-SiO₂ dependía significativamente de sus áreas de superficie específicas y de la proporción de agua/aglutinante (a/c) de las mezclas. Al disminuir la relación de a/c de 0.35 a 0.25, las partículas de nano-SiO₂ con menor área de superficie específica se desempeñaron mejor que las más finas (mayor área de superficie específica). Sin embargo, la influencia sobre las resistencias a la compresión y tracción varió debido a las diferencias en el rendimiento de las partículas de nano-SiO₂ que afectaron las propiedades mecánicas y de durabilidad.

- Gesoglu, Güneyisi, Sabah Asaad & Muhyaddin (2016) en su artículo Properties of low binder ultra-high performance cementitious composites: Comparison of nanosilica and microsilica:

Presentaron el efecto del uso de mezclas binarias y ternarias de nanosílice (NS) y microsílice (SF) sobre las propiedades mecánicas de compuestos cementosos de bajo aglutinante de ultra-alto rendimiento (UHPC). Para ello, diseñaron dos grupos de hormigón con y sin humo de sílice por peso de cemento con una relación agua/ligante constante y contenido total de ligante. Utilizaron NS comercialmente disponible en sustitución parcial de cemento al 0%, 0.5%, 1%, 2% y 3% y humo de sílice al 0% y 10% en peso, además utilizaron un superplastificante en cantidades variables para ajustar la trabajabilidad suficiente para las mezclas. Realizaron pruebas de compresión a 1, 3, 7, 14, 28, 56 y 90 días según la normativa ASTM C39 y resistencia a la tracción a los 28, 56 y 90 días con respecto a la normativa ASTM C496.

Los resultados muestran que entre los diferentes contenidos de NS, UHPC que contenía 2% de NS exhibió los mejores resultados de resistencia a la compresión, resistencia a la tracción por división a los 90

días. Concluyeron que las muestras de UHPC que contienen materiales cementosos binarios (NS y SF) dieron mejores resultados que los hormigones que contienen solo NS. Adicionalmente, el efecto de 1% NS es casi igual al 10% de SF a los 90 días.

- Lei et al. (2016) en su artículo A new dispersing method on silica fume and its influence on the performance of cement-based materials:

Investigaron la influencia de las propiedades físicas y químicas del humo de sílice modificado sobre el rendimiento de los materiales a base de cemento.

El cemento Portland utilizado fue P II42.5 de acuerdo con la norma china correspondiente. El polvo de humo de sílice seco se obtuvo de Elkem Carbon Co., Ltd, China. El superplastificante de policarboxilato fue de Sika Co., Ltd, China, la proporción de reducción de agua era superior al 20%. El agua utilizada en los experimentos fue agua del grifo. Diseñaron dos mezclas, el material a base de cemento que contenía el humo de sílice comercial se denominó S1, otro que contenía el humo de sílice modificado se denominó S2. El cemento fue reemplazado en parte por SF, la relación agua cemento (a/c) fue 0.29, la dosis de superplastificante fue del 1% (incorporado adicionalmente) del aglutinante total a base de cemento. Para determinar la cantidad de adsorción de superplastificante de policarboxilato en la superficie del humo de sílice, prepararon una nueva pasta SF con una relación de masa de 1:10 entre el humo de sílice y el agua. Probaron la fluidez de S1 y S2 de acuerdo con el Estándar GB/T 8077-2000 de China, la resistencia a la flexión y a la compresión se probaron de acuerdo con BS EN 196-1.

Las resistencias a la compresión y a la flexión muestran que las resistencias a la compresión y la flexión de S2 crecen más rápidamente con las edades de curado que las de la muestra S1. Aunque sus propiedades mecánicas son similares a la edad a 1 día, las resistencias a la compresión y la flexión de S2 son levemente mayores a la edad de 7 días. Sin embargo, el S2 mostró resistencias considerablemente más altas a la edad de 28 días,

entonces la resistencia a la compresión de S2 es 114.05% de la de S1, así como la resistencia a la flexión de S2 es 115.41% de la de S1 a la edad de 28 días.

De acuerdo a los resultados de Lei et al. se puede concluir que la distribución del tamaño de partículas y morfología de partículas de los aditivos minerales influyen en la fluidez de la pasta de concreto, además que el contenido de gel C-S-H en el humo de sílice es mayor si los tamaños de poros son más finos lo que hace que generen más productos de hidratación como C-S-H.

- Constantinescu, Gherman, Negrutiu & Ioan (2016) en su artículo Mechanical Properties of Hardened High Strength Concrete:

Presentan un estudio experimental realizado en hormigón de alta resistencia que tiene una resistencia a la compresión media determinada al a edad de 28 días de 100 MPa. Realizaron ensayos con el fin de determinar las principales características del hormigón endurecido necesarias para el diseño, tales como resistencia a la compresión, módulo de elasticidad longitudinal de resistencia a la tracción, módulo de elasticidad transversal o módulo de corte y relación de Poisson. Todas las muestras y pruebas lo moldearon y probaron de acuerdo con las disposiciones contenidas en las normas vigentes. La resistencia a la tracción media alcanzo los 8.23 MPa, mientras que la resistencia a la flexión alcanzó 13.66 MPa.

El HSC estudiado en este artículo contiene microsíllice (Elkem Microsilica Grado 940 EE UU) y superplastificante (Glenium ACE 30), así como una relación agua cemento de 0.31 y una relación agua aglutinante 0.29.

- Sanchez, Bernal, León & Moragues (2016) en su artículo Propiedades reológicas y mecánicas de un hormigón autocompactante con adición de nano-síllice y micro-síllice señalan que:

El hormigón autocompactante es el resultado de diseñar mezclas de calidad con capacidad para asegurar su correcta colocación en estructuras fuertemente armadas en las cuales el proceso del vibrado resulta muy complicado y con riesgo de alterar la posición de las armaduras. Unido a

las ventajas de este hormigón y debido a la mayor demanda de hormigones de altas prestaciones, se utiliza humo de sílice y, más recientemente, nanomateriales como adiciones. Principalmente nano-sílice. El objetivo de este trabajo fue de obtener hormigones autocompactantes con nano-sílice, humo de sílice y mezclas binarias de ambas adiciones que satisfagan la demanda de altas resistencias mecánicas y durables. En esta investigación estudiaron la influencia de la nanosílice, de la microsílice o humo de sílice (Elkem Microsilica MS 940 U) así como adiciones de mezclas ternarias sobre las propiedades reológicas y mecánicas de hormigones autocompactantes con el fin de establecer las diferencias entre las distintas dosificaciones y poder determinar la mezcla con el mejor comportamiento frente a estas propiedades, tanto en estado fresco como en estado endurecido.

Todas las muestras mantuvieron una relación agua/material cementante de 0.36. Las dosificaciones fueron: tres con 2.5%, 5% y 7.5% de nanoSiO₂ ([nSi]-2.5; [nSi]-5; [nSi]-7.5), tres con 2.5%, 5% y 7.5% de micro-SiO₂ ([mSi]-2.5; [mSi]-5; [mSi]-7.5), y tres con mezclas de ambas con los porcentajes de cada adición de 2.5%/2.5%, 5%/2.5% y 2.5%/5% de nano-SiO₂ y micro-SiO₂ respectivamente ([nmSi]-2.5/2.5; [nmSi]-5/2.5; [nmSi]-2.5/5) respecto al peso del cemento. Se diseñó una décima mezcla, sin ningún tipo de adición considerada como hormigón de referencia. Para evaluar las características de autocompactabilidad de los hormigones diseñados realizaron, en estado fresco, los ensayos normalizados de acuerdo con la instrucción EHE-08 (2010). Dichos ensayos son el de escurrimiento o extensión de flujo (UNE-EN 12350-8), ensayo del embudo en V (UNE-EN 12350-9), ensayo de la caja en L (UNE-EN 12350-10) y el ensayo de escurrimiento con anillo japonés (UNE-EN 12350-12). Además, hicieron ensayos por resistencia a la compresión, resistencia a la tracción, entre otros. De acuerdo a los resultados de los ensayos, la mezcla de aditivo con humo de sílice alcanzó a los 90 días 68 MPa en resistencia a la compresión y en resistencia a la tracción alcanzó 6.70 MPa.

Para esta investigación se utilizó superplastificante Sika Viscocrete 5720 a diferentes dosis, esto nos deja ver cómo influye el aditivo químico en las propiedades mecánicas del concreto y que no siempre a mayor superplastificante y mayor microsílíce se alcanzan resultados óptimos.

- Kostrzanowska-Siedlarz & Golaszewski (2016) en su artículo Rheological properties of High Performance Self-Compacting Concrete: Effects of composition and time:

Utilizando reometría, investigan los vínculos entre el asentamiento (límite elástico g), el tiempo de asentamiento (viscosidad plástica h) y la composición de la mezcla de HPSCC y el tiempo. Proponen un modelo estadístico que destaca los roles relativos de los elementos del diseño de la mezcla, concluyendo que el contenido de pasta de cemento y la relación a/c son solo dos parámetros significativos del diseño de la mezcla debido a las propiedades reológicas adecuadas.

La mezcla de cemento debía tener una fluidez adecuada. Por lo tanto, la suposición de que incluso la adición mínima de superplastificante debe ser relativamente grande, y su aumento puede tener una menor influencia en la fluidez de la mezcla.

Las propiedades reológicas de los hormigones frescos se describen mediante el modelo reológico de Bingham, las propiedades reológicas de los hormigones frescos lo evaluaron mediante el ensayo de asentamiento, según PN-EN 12350-8: 2012, mientras que el estudio de la resistencia a la compresión de acuerdo con las normas: PN-EN 12390-2: 2011 y PN-EN 12390-3: 2011. Los Hormigones ensayados caracterizados por una resistencia a la compresión en el rango de 60 MPa a 105.3 MPa, en la mayoría de los hormigones, la resistencia a la compresión lo obtuvieron en el rango de 80 a 95 MPa. El contenido de aire varió de 1.1–4.9%. Todas las mezclas de hormigón 1–27 son hormigones sin aire incorporado.

En el modelo realizado, los factores estadísticamente no significativos son: índice Φ (contenido de pasta en la mezcla), relación a/c , Humo de sílice condensado (CSF). Por lo tanto, la mayoría de los factores no

significativos, como el punto de arena y SP, se eliminan. Según el supuesto, los resultados de la prueba muestran que el impacto de la cantidad de superplastificante es estadísticamente insignificante. Este efecto se manifiesta a largo plazo y evita la pérdida de liquidez. Esta es también la razón por la que se utiliza una gran cantidad de SP. Sin embargo, esto tuvo un impacto en el bajo nivel de significación estadística.

En el rango de variación que investigaron, la influencia del superplastificante en las propiedades reológicas del hormigón fresco no es estadísticamente significativa. Al igual que en el estudio para evitar cambios excesivos en la trabajabilidad en el momento se utiliza el volumen de superplastificante añadido al hormigón fresco de autocompactación similar y superior al punto de saturación. Las tendencias de cambio de asentamiento con el tiempo son diferentes para la pasta de cemento y para el concreto fresco. La pasta de cemento con el tiempo es mayor fluidez lo que se relaciona con la influencia del superplastificante en el tiempo.

Del programa de investigación de Kostrzanowska-Siedlarz & Golaszewski muestran que el aumento del volumen de pasta de cemento y/o la relación a/c y/o la adición de superplastificante o la reducción del volumen de humo de sílice y/o la reducción de arena aumenta el asentamiento (disminución del límite elástico) y al mismo tiempo reduce el tiempo de asentamiento del hormigón fresco (reducción de la viscosidad plástica).

- Abuzayed, Alajmani & Al-Tamimi (2016) en su artículo científico Evaluation of mechanical properties and service life of high performance concrete:

Presentan los estudios relacionados con la comparación del rendimiento de probetas de hormigón elaboradas con un diez por ciento de sustitución de humo de sílice con las realizadas con hormigón convencional (denominadas probetas de hormigón de control fabricadas con cemento únicamente).

Emplearon un total de once ejemplares, donde la resistencia a la compresión objetiva para HPC fue de 100 MPa los 28 días, añadieron

superplastificante en una dosis calculada en HPC, el HPC fue diseñado de acuerdo al ACI 211. Moldearon cinco probetas para HPC (CH1, CH2, CH3, CH4, CH5) y tres probetas para mezcla de concreto convencional (C1, C2, C3) con las cuales determinaron la resistencia a la compresión a los 28 días de acuerdo con BS 1881, la prueba de resistencia a la flexión se llevó a cabo en tres vigas pequeñas aplicando cargas de dos puntos en un tercio del tramo de la viga según ASTM C 293.

Los resultados mostraron una mejora significativa en las propiedades del HPC en comparación con el hormigón convencional; la caída de HPC aumentó en un doscientos por ciento y el contenido de aire se redujo en un veinticinco por ciento. Las resistencias promedio a la compresión y a la flexión aumentaron en un 127% y 139%, respectivamente, en comparación con el hormigón convencional, mientras que el módulo de elasticidad de HPC aumentó en un 59%.

Del artículo de Abuzayed, Alajmani & Al-Tamimi se puede verificar que el uso de microsílíce con adición de superplastificante mejoran las propiedades mecánicas del concreto en comparación de un concreto convencional, en donde el uso del superplastificante la trabajabilidad del HPC aumentó en un 200% principalmente debido a su incorporación proporcionada.

- Shaikh & Supit (2016) en su artículo *Effects of Superplasticizer Types and Mixing Methods of Nanoparticles on Compressive Strengths of Cement Pastes*:

Presentan los efectos de cinco tipos diferentes de superplastificantes sobre la trabajabilidad y la resistencia a la compresión de pastas de cemento que contienen partículas de nanosílíce (NS) y carbonato de nanocalcio (NC) cada una al 2% en peso como reemplazo parcial del cemento. Los NS y NC se dispersan en agua que contiene 1% de superplastificante (en peso de cemento) de cinco tipos diferentes durante 30 min en un mezclador ultrasónico a máxima amplitud. También hacen una comparación con la

mezcla en seco mecánica convencional de NS y NC con cemento y la mezcla ultrasónica de NS y NC en agua.

El superplastificante basado en PCE es el SP de tercera generación y tiene una estructura química diferente de los superplastificantes tradicionales. Su polímero de éter carboxílico con cadenas laterales largos estabiliza la dispersión de partículas cementosas en la mezcla y contribuye a la reacción de hidratación. Los valores de flujo de las pastas lo determinaron de acuerdo con ASTM C1437 (ASTM 2012b). Utilizaron una relación agua-cemento (*a/c*) de 0.40. Las muestras se curaron en agua a temperatura ambiente durante 3, 7 y 28 días. La resistencia a la compresión fue de acuerdo con la normativa ASTM C109 (ASTM 2012a).

Los efectos de diferentes SP sobre la resistencia a la compresión de las pastas que contienen 2% de NS y 2% de NC muestran que la dispersión de NS y NC en SP las soluciones aumentaron la resistencia a la compresión en todas las edades, excepto en algunos casos. El aumento máximo en la resistencia a la compresión se observa cuando las nanopartículas se dispersan en una solución de superplastificante a base de policarboxilato de éter (PCE) (SP4). La dispersión de NS y NC en una solución superplastificante basada en PCE mejoró la resistencia a la compresión a edades tempranas (3 y 7 días) en 26 - 28 y 23 - 36%, respectivamente, mientras que la resistencia a la compresión a 28 días se mejora en un 17 y 30%, respectivamente, en comparación con las pastas que contienen nanopartículas mezcladas ultrasónicamente con agua sola. La dispersión de NS en la solución de SP a base de sulfonato de naftaleno modificado (SP5) también mejoró la resistencia a la compresión de las pastas en todas las edades, pero solo en 4 - 10%.

Los resultados muestran que la solución SP2 basada en compuestos orgánicos modificados con sales inorgánicas mostró la máxima mejora en la trabajabilidad de las pastas que contienen ambas nanopartículas entre todos los SP considerados en este estudio. Independientemente de NS y NC, su dispersión ultrasónica en solución SP aseguró una mejor dispersión que otros métodos de mezcla y, por lo tanto, una mejor trabajabilidad. El

aumento máximo de la resistencia a la compresión se observa cuando las nanopartículas se dispersan en el superplastificante a base de polycarboxilato éter (SP4).

- Isfahani, Redaelli, Lollini, Li & Bertolini (2016) en su artículo *Effects of Nanosilica on Compressive Strength and Durability Properties of Concrete with Different Water to Binder Ratios*:

Investigaron los efectos de la adición de diferentes dosis de nanosílice (0.5%, 1% y 1.5% con respecto al cemento) sobre las propiedades de resistencia a la compresión y durabilidad del hormigón con relaciones agua/aglutinante de 0.65, 0.55 y 0.5.

La adición de 1.5% NS disminuyó significativamente el asentamiento de 175 a 240 mm como asentamientos de referencia del hormigón con $a/c = 0.65$ y 0.55 a 30 y 40 mm, respectivamente, este comportamiento podría explicarse por la formación del tipo de estructura que tiene una alta retención de agua después de la adición de NS. En consecuencia, redujeron la cantidad de agua lubricante en la mezcla; por lo tanto, la viscosidad del concreto fresco puede aumentar y el asentamiento puede disminuir. Los valores de caída para $a/c = 0.5$ no disminuyó con respecto a la referencia al aumentar la dosis de NS, ya que se utilizaron una mayor cantidad de SP para tener una mejor trabajabilidad durante el vaciado.

La prueba de resistencia a la compresión se realizó según EN-12390-3 en cubos humedecidos en cámara de curado durante 7 y 28 días. Los resultados mostraron que la resistencia a la compresión mejoró significativamente en el caso de agua/aglutinante de 0.65, mientras que para agua/aglutinante de 0.5 no se encontraron cambios. Al aumentar el contenido de nanosílice, la capacidad de absorción del agua disminuyó solo para agua/aglutinante de 0.55.

- Meng, Lunkad, Kumar & Khayat (2016) en su artículo *Influence of Silica Fume and PCE Dispersant on Hydration Mechanisms of Cement*:

Emplean una confluencia de métodos experimentales y simulaciones por computadora para dilucidar los efectos de las adiciones de PCE y SF en la

cinética de hidratación a edades tempranas (es decir, hasta 30 horas) de pastas de cemento simples y binarias. Utilizaron un modelo de nucleación y crecimiento de límite de fase generalizado (pBNG) con crecimiento de C-S-H dependiente del tiempo para ajustar las tasas de hidratación de pastas de cemento simples y binarias (10% a 30% SF) preparadas con y sin PCE, de acuerdo al incremento de reemplazo de humo de sílice las proporciones de agua/cemento (en base a la masa) son de 0.45, 0.50, 0.563, 0.643. Para investigar la influencia del PCE en tasas de hidratación del cemento, el aditivo que agregaron directamente al agua de mezcla en dosis fue de 0%, 0.6%, 1.2%, 1.8% y 2.4% (en masa del aglutinante, es decir, cemento + SF), el límite superior de la dosis, es decir, 2.4%, fue determinado por prueba de punto de saturación.

Utilizaron cemento Portland Ordinario Tipo I, humo de sílice comercial y un dispersante de PCE disponible comercialmente con un contenido de masa sólida del 23% y una densidad de 1050 kgm^{-3} , la composición molecular del polímero PCE en forma de peine consta de un esqueleto polimetacílico (14.1 nm) con cadenas laterales de óxido de polietileno injertado (25.1 nm)

Los resultados muestran que mientras que el SF acelera la hidratación del cemento, los incrementos en las tasas de hidratación son significativamente menores en relación con el área de superficie adicional proporcionada por SF. Esto se debe a la aglomeración de partículas SF que hace que hasta el 96% de su superficie no esté disponible para la nucleación de C-S-H. Además, se muestra que la hidratación del cemento, tanto en pastas simples como binarias, se suprime en relación con la dosis de PCE. Esto se debe a: la adsorción de moléculas de PCE en las superficies de cemento y SF, lo que da como resultado la inhibición de los sitios para la nucleación del producto, y la interacción de PCE con CS-H, que suprime el crecimiento de C-S-H durante todo el proceso de hidratación. Se muestra que los efectos de la inhibición del sitio de nucleación por PCE son más pronunciados en SF en comparación con el cemento.

Por todo lo mencionado en el estudio de Meng, Lunkad, Kumar & Khayat de acuerdo a los resultados, mejoran nuestra comprensión de los mecanismos que impulsan la hidratación del cemento en presencia de SF y PCE.

- Ganesh, Ramachandra Murthy, Sundar Kumar, Mohammed Saffiq Reheman & Iyer (2016) en su artículo Effect of nanosilica on durability and mechanical properties of high-strength concrete:

Investigaron el efecto de las partículas amorfas de nanosílice sobre las propiedades mecánicas y la durabilidad de dos mezclas de hormigón de alta resistencia (HSC). Usaron nanosílice en forma de polvo como reemplazo parcial del cemento en dosis de 1% en peso y 2% en peso, y observaron mejoras significativas en el rendimiento para el reemplazo del 2% en peso de cemento por nanosílice. Realizaron estudios micromecánicos en las HSC nano-modificadas para determinar el impacto de la nanosílice en la reactividad puzolánica. La adición de humo de sílice y nanosílice produce una mayor demanda de fluidez o trabajabilidad debido a su mayor superficie específica. Por tanto, utilizaron un superplastificante a base de policarboxilato-éter fabricado por BASF (Master Glenium Sky 8233) para disminuir la demanda de agua mientras se mejoraba la trabajabilidad de todas las mezclas de hormigón. La dosis de superplastificante lo ajustaron para cada mezcla para asegurar que no ocurriera segregación.

De acuerdo a los resultados, encontraron valores similares para las propiedades mecánicas de otra mezcla HSC (mezcla U) con 2% de reemplazo de cemento por nanosílice: la resistencia a la compresión aumentó en un 21%, la resistencia a la tracción dividida aumentó en un 25% y la resistencia a la flexión aumentó en un 16% con respecto a la mezcla de control. Las propiedades mecánicas y la durabilidad de las HSC nano-modificadas aumentan con la cantidad de nanosílice incorporada, sujeto a la disponibilidad de hidróxido de calcio libre.

Ganesh, Ramachandra Murthy, Sundar Kumar, Mohammed Saffiq Reheman & Iyer, en su investigación utilizaron el superplastificante para mejorar la trabajabilidad de la mezcla y disminuir la relación a/c, ya que el aditivo mineral aumenta la demanda de agua.

- Ahari, Erdem & Ramyar (2015) en su artículo *Effect of various supplementary cementitious materials on rheological properties of self-consolidating concrete*:

Investigaron las propiedades reológicas de 57 mezclas de concreto autocompactante (SCC) con varios materiales cementosos suplementarios (SCM) para obtener un valor de asentamiento constante. Para este fin, utilizaron varias cantidades de humo de sílice (SF), metacaolín (MK), cenizas volantes Clase F (FAF), cenizas volantes Clase C (FAC) y escoria granulada de alto horno (BFS) en sistemas binarios, ternarios y mezclas cementosas cuaternarias en tres proporciones agua/aglutinante.

Diseñaron un total de 57 mezclas de SCC con tres relaciones de a/c (0.44, 0.50 y 0.56) con varios contenidos de aglomerante. Las dosis de HRWR usadas en las mezclas se ajustaron para asegurar un flujo de asentamiento inicial de 650 ± 10 mm. Utilizaron cemento Portland ordinario CEM I 42.5 R Tipo I, piedra caliza triturada como agregado, un HRWR a base de policarboxilato de éter conforme a ASTM C494 Tipo F con una densidad específica de 1.1 y un contenido de sólidos del 28%, en algunas mezclas de SCC usaron un aditivo líquido modificador de la viscosidad (VMA).

En todas las relaciones de a/c, SF y MK tenían una mayor demanda de HRWR para obtener un valor de flujo de asentamiento constante, siendo el efecto más pronunciado en mezclas que contienen SF, se debe probablemente a la naturaleza extremadamente fina y alta superficie de contenido de grano. Para la incorporación de BFS con otros SCM para obtener sistemas ternarios y cuaternarios, la demanda de HRWR fue menor en comparación con las mezclas sin BFS. Este efecto de BFS se debe principalmente a la morfología de las partículas de escoria, así como a su superficie lisa, lo que resulta en un bajo potencial de adsorción.

De acuerdo a los resultados de la demanda de HRWR del artículo de Saleh, Kemal & Ramyar se puede deducir que, para un mismo valor de asentamiento, las mezclas que contiene SF, MK y FAC muestran una mayor demanda de HRWR en comparación con las mezclas hechas con FAF, BFS y solo PC, el SF presenta mayor demanda de HRWR en mezclas de SCC, en todas las mezclas de SCC el contenido de HRWR aumenta a medida que la relación de a/c disminuía.

- Mansor, Hamed & Borg (2016) en su artículo Effect of Silica Fume on High Performance Concrete Strength:

El hormigón de alto rendimiento (HPC) se utiliza ahora ampliamente en la industria de la construcción en todo el mundo. Para producir HPC con ingredientes normales, se utilizan aditivos minerales como humo de sílice, cenizas volantes y metakolina. Además, también se utilizan aditivos que incluyen superplastificantes. Este artículo investiga el efecto del humo de sílice (SF), agregado en diferentes porcentajes (0, 3, 5, 7.5, 10, 12.5%), sobre la resistencia del hormigón. También se añadió superplastificante (Viscocrete Tempo 12) a las mezclas de hormigón. Realizaron pruebas de resistencia a la compresión, resistencia al cizallamiento y resistencia a la tracción, y se discutieron los resultados. Los resultados mostraron que la resistencia a la compresión cambia con el porcentaje variable de adición de humo de sílice. La mayor resistencia a la compresión (88 MPa) se obtuvo cuando el porcentaje de humo de sílice fue del 7.5% del peso del cemento. Más allá del 7.5% de humo de sílice, la resistencia a la compresión comenzó a descender. Encontraron que la resistencia a la tracción y al corte varía en una relación inversa con el porcentaje creciente de humo de sílice. Registraron una reducción significativa en la resistencia a la tracción y al corte cuando se incrementó el porcentaje de humo de sílice.

- Wu, Shi, Khayat & Wan (2016) en su artículo Effects of different nanomaterials on hardening and performance of ultra-high strength concrete (UHSC):

Investigaron los efectos de diferentes contenidos de nano-CaCO₃ y nano-SiO₂ sobre la fluidez y propiedades mecánicas del hormigón de ultra alta resistencia (UHSC). Las dosis de nano-CaCO₃ fueron 0, 1.6%, 3.2%, 4.8% y 6.4%, por la masa de materiales cementosos, mientras que las dosis de nano-SiO₂ fueron 0, 0.5%, 1.0%, 1.5% y 2 %. Incorporaron un superplastificante (SP) a base de policarboxilato con un contenido de sólidos del 20%, su capacidad de agua es superior al 30%, la dosis fue fijado en 2%.

Los resultados indicaron que tanto el nano-CaCO₃ como el nano-SiO₂ disminuyeron la fluidez y aumentaron el calor de hidratación con el aumento de su contenido. Las dosis óptimas para mejorar las resistencias a la compresión y la flexión fueron de 1.6% -4.8% para el nano-CaCO₃ y 0.5% -1.5% para el nano-SiO₂. Aunque las resistencias a la compresión y a la flexión fueron comparables para los dos nanomateriales después de 28 días, sus tendencias de desarrollo de la resistencia con la edad fueron diferentes. Las mezclas de UHSC con nano-SiO₂ mostraron un aumento continuo y agudo en la resistencia con la edad hasta los 7 días, mientras que aquellas con nano-CaCO₃ mostraron una resistencia casi constante entre 3 y 7 días, pero un fuerte aumento a partir de entonces.

- Nili & Ehsani (2015) en su artículo Investigating the effect of the cement paste and transition zone on strength development of concrete containing nanosilica and silica fume:

Utilizaron nanosílice (nS) al 0%, 1.5%, 3%, 5% y 7.5% y humo de sílice (SF) al 0%, 5% y 7.5% por peso de cemento para investigar su efecto sobre las propiedades de resistencia del concreto y sus correspondientes pastas de cemento a edades tempranas y mayores con una relación agua-cemento de 0.45. También realizaron un estudio de microestructura por SEM, XRD y EDS para darse cuenta de las razones de los resultados obtenidos.

Los resultados demostraron que agregar 3% o 5% de nS a muestras libres de SF aumentaría tanto la pasta de cemento como la resistencia a la compresión del concreto. El análisis de la microestructura reveló que la

modificación de la zona de transición interfacial (ITZ) fue responsable de esta mejora de la resistencia.

- Ženíšek, Vlach & Laiblová (2015) en su artículo Dosage of Silica Fume in High Performance Concrete:

Presentan una dosificación eficaz de humo de sílice en hormigón de alto rendimiento, en una proporción de 0-25% en peso de cemento. La resistencia a la compresión, el comportamiento reológico y los beneficios económicos fueron las principales cuestiones de este trabajo. De acuerdo a los resultados, el aumento esperado en la resistencia a la compresión se mostró en dosis más bajas de humo de sílice, mientras que las dosis más altas no produjeron un aumento adicional en la resistencia. En el caso del comportamiento reológico, podemos confirmar un menor exudación y segregación, pero también un secado más rápido de la capa superficial. Desde el punto de vista económico, es mejor una pequeña dosis de humo de sílice.

Realizaron un solo diseño con microsílíce y superplastificante. El número total de mezclas producidas fue de 11. Las mezclas solo se diferencian en las proporciones de humo de sílice utilizado. Todas las mezclas se ensayaron por resistencia a la compresión donde la mayor resistencia fue 133.5 MPa a la edad de 28 días, mientras que a mayor dosis se fue reduciendo la resistencia.

Sus resultados mostraron que la mejor relación entre humo de sílice y cemento es de 2 a 6%. Dentro de este rango, la resistencia a la compresión se incrementó más y al mismo tiempo también aumentó la consistencia de la mezcla. Además, se evidenció una menor exudación del hormigón y el secado de la superficie del hormigón aún no ha sido tan significativo. Sin embargo, estos resultados dependen del agua utilizada.

- Plank, Saki, Miao, Yu & Hong (2015) en su artículo Chemical admixtures — Chemistry, applications and their impact on concrete microstructure and durability:

Proporcionan una descripción general de las composiciones y los métodos de síntesis actuales de Policarboxilato (PCE), seguida de nuevas aplicaciones para PCE, incluido C-S -Nanocompuestos de H-PCE y una descripción de los desafíos aún sin resolver para la tecnología PCE. Además, analizan la funcionalidad de los aditivos químicos en aplicaciones específicas para cementos y sistemas de hormigón con bajo contenido de carbono, también presentan la influencia del ion fluoruro y la efectividad de los polímeros PCE en cementos mezclados y el efecto del polímero no adsorbido.

Para el caso de caso de los superplastificante PCE en cementos ultra resistentes con humo de sílice (SF) señalan que, el hormigón de ultra alta resistencia se utiliza en combinación con cemento Portland de bajo calor, que tiene un bajo contenido de C_3A y un alto contenido de C_2S . Entonces hay buena fluidez y no hay preocupaciones sobre la reducción de la resistencia a largo plazo debido a aumentos de temperatura y SF. Naturalmente, PCE juega un papel importante. Propusieron como agente dispersante de alta resistencia un superplastificante de tipo PCE que contiene grupos catiónicos con alto rendimiento de dispersión en polvo con bajo contenido de agua ya que, la cantidad de adsorción sobre el cemento aumenta al introducir grupos catiónicos. En concreto de ultra alta resistencia con SF, la dispersabilidad de las partículas ultrafinas es importante, y para PCE a base de alil-éter y PCE a base de éster MAA, ambos se adsorben fácilmente en SF, y el último se adsorbe fácilmente sobre cemento hidratante. Por lo tanto, en los sistemas de cemento de alta resistencia que utilizan SF, una mezcla de ambos agentes dispersantes es eficaz.

La fluidez varía según la calidad del SF, que es un subproducto industrial. Para eliminar el efecto de esta propiedad, utilizaron como modelo para partículas ultrafinas sílice fundida con un diámetro medio de partícula de 106 nm y una forma casi esférica. La relación de masa de cemento Portland de bajo calor y sílice fundida fue de 9:1 y la fracción de empaque de esta muestra fue de 0.9 de acuerdo al cálculo de las simulaciones de empaque.

Del artículo se concluye que, para que fluya una pasta con una relación agua/polvo baja, el polímero no adsorbido en la fase líquida debe ser mayor que un cierto valor. Se cree que esto se debe a la fricción entre las partículas de polímero que quedan en la fase líquida. Al examinar más a fondo el efecto del polímero no adsorbido desde el punto de vista de la forma y el tamaño de las moléculas en la fase líquida, puede ser posible diseñar la molécula de PCE ideal para hormigón de ultra alta resistencia con SF. Además, es necesario analizar la interacción de la superficie polímero-polímero o polímero adsorbido y polímero no adsorbido, al igual que la forma y el tamaño del polímero.

- Yang, Hui & Sun (2015) en su artículo Effect of the Types of Superplasticizers on the Fresh, Mechanical, and Durability Properties of High-Performance Concrete:

Tuvieron como objetivo examinar el efecto de los tipos de superplastificantes (SP) sobre las propiedades del hormigón de alto rendimiento (HPC). Utilizaron tres tipos de SP, es decir, SP a base de policarboxilato (PCA), naftaleno-formaldehído sulfonado con 0.5% de sulfato de sodio (LSNF) SP y naftaleno-formaldehído sulfonado con 16.8% de sulfato de sodio (HSNF) SP. Probaron las propiedades frescas, mecánicas, de durabilidad y la porosidad del agua del concreto SP. El uso de SP en el concreto aumentó el asentamiento inicial y la porosidad del agua del concreto, redujo las propiedades mecánicas del concreto. El concreto mezclado SP tuvo la mayor profundidad de carbonatación y coeficiente de difusión de iones de cloruro, las mejores propiedades de durabilidad bajo ciclos de secado-humectación que el concreto de control. Además, PCA SP de la dosis más baja que LSNF, usaron HSNF SP en el hormigón para lograr el mismo asentamiento inicial del hormigón. El concreto que contenía 0.28% PCA SP tenía la mayor preservación de asentamiento y propiedades mecánicas, la menor porosidad del agua, profundidad de carbonatación y coeficiente de difusión de iones cloruro que el de 0.8% LSNF SP, 1.0% HSNF SP. Las mezclas de concreto con

0.8% LSNF SP, 1.0%, HSNF SP fueron más efectivas en el daño por resistencia bajo ciclos de secado-humectación que con 0.28% PCA SP.

De este artículo podemos analizar que los aditivos de cadena larga nos proporcionan mejores beneficios tanto en asentamiento como en resistencias mecánicas, lo cual nos sirve para nuestra contrastación de resultados.

- Saridemir, Severcan, Çiflikli & Hacer (2015) en su artículo Evaluation of the relationships between the strength properties of HSC containing SF and GP at a low water-binder ratio:

Investigaron el efecto del hormigón de alta resistencia (HSC) fabricado con humo de sílice (SF) y piedra pómez molida (GP), además añadieron superplastificante. El cemento Portland fue reemplazado por SF, GP y combinación de SF y GP hasta un 25%. Produjeron 22 mezclas de concreto diferentes con estas proporciones de reemplazo utilizando una proporción de agua-ligante de 0.25. Determinaron la velocidad del pulso de ultrasonido, las resistencias a la compresión, a la tracción y a la flexión de estos hormigones. De acuerdo a los resultados experimentales muestran que la producción de HSC es factible con SF y GP. Además, los resultados experimentales indicaron que SF y SF en combinación con GP pueden mejorar las propiedades del hormigón tanto a corto como a largo plazo, mientras que GP necesita un tiempo comparativamente más largo para obtener un efecto adecuado. Los resultados estaban respaldados por análisis de microscopio electrónico de barrido. Las proporciones óptimas de reemplazo de SF y GP son 15% y 5% de cemento, respectivamente. Las relaciones entre la velocidad del pulso del ultrasonido, las resistencias a la compresión, a la tracción y a la flexión se investigan considerando los efectos de SF y GP.

- Çakır & Sofyanlı (2014) en su artículo científico Influence of silica fume on mechanical and physical properties of recycled aggregate concrete:

Presentan los efectos de incorporar humo de sílice (SF) en el diseño de la mezcla de concreto para mejorar la calidad de los agregados reciclados en

el concreto. El cemento Portland fue reemplazado por SF al 0%, 5% y 10%, siendo preparado cuatro series de mezclas. Los especímenes se fabricaron reemplazando agregados naturales con agregados reciclados. Utilizaron fracciones de dos tamaños (4/12 mm y 8/22 mm) como áridos reciclados y se produjeron cuatro series de mezclas de hormigón. En todas las mezclas de hormigón, utilizaron una proporción constante de agua/cemento de 0.50 y prepararon mezclas de hormigón con un asentamiento inicial objetivo de clase S4 (16-21 cm), también un aditivo reductor de agua a base de policarboxilato éter (Glenium Sky), aproximadamente la misma cantidad de aditivo reductor de agua (0.9-1.2%) utilizado en las mezclas de hormigón, además las muestras fueron curadas hasta las edades de prueba de 7, 28 y 90 días. Las propiedades del hormigón se evaluaron mediante la resistencia a la compresión, la resistencia a la rotura por tracción, la absorción de agua y la velocidad del pulso ultrasónico y encontraron que el uso de 10% SF como reemplazo del cemento para hormigones agregados reciclados mejoró las propiedades mecánicas y físicas del hormigón de acuerdo con TS EN 12390-3: 10, TS EN 12390-6: 10 TS EN 480-5:01, TS 12390-7:10 y ASTM C597:09 respectivamente.

Observaron una mejora continua y significativa en la resistencia a la rotura por tracción de los hormigones agregados reciclados que incorporan SF, de manera similar a los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión, el concreto que incorpora 10% SF y que contiene agregados reciclados de fracción de 4/12 mm mostró un mejor desempeño entre los concretos de agregados reciclados.

Del artículo de Çakır & Sofyanlı para nuestra tesis se tomarán los resultados de sus ensayos de asentamiento y resistencia a la compresión a los 7, 28 y 90 días, únicamente los evaluados para el concreto con adición de microsílíce con incorporación de superplastificante mas no con los agregados reciclados, que serán utilizados para la discusión de resultados.

- Sudarsana Rao, Sashidhar, Vaishali & Venkata Reddy (2014) en su artículo Mix Design of High Performance Concrete Using Silica Fume and Superplasticizer:

Tuvo como objetivo dar una mezcla de diseño para HPC mediante el uso de humo de sílice y superplastificantes. El objetivo principal de esta presente investigación fue desarrollar un procedimiento de diseño de mezcla, para HPC, variando el porcentaje de humo de sílice (0 a 25%) a dosis constante de superplastificantes y otros gradientes, literatura disponible sobre métodos de código HPC y AC). Llevaron a cabo experimentos en HPC utilizando el procedimiento para hormigón M60 para obtener una buena trabajabilidad y lograr las propiedades mecánicas del diseño de la mezcla y para encontrar el porcentaje óptimo de humo de sílice. Por lo tanto, la presente investigación se da más énfasis al estudio de las características de resistencia del HPC utilizando aditivos minerales y químicos como el humo de sílice y el superplastificante, para lograr un mejor compuesto y también para aumentar el uso de humo de sílice para mantener la ecología y también fomentar el uso de humo de sílice.

Concluyen que a medida que aumenta el contenido de humo de sílice, la resistencia a la compresión aumenta hasta un 15% (HPC4) y luego disminuye. Por tanto, el reemplazo óptimo es el 15% y que el porcentaje de reemplazo de cemento por humo de sílice aumenta, la trabajabilidad disminuye.

- Zapata, Portela, Suárez & Carrasquillo (2013) en su artículo científico Rheological performance and compressive strength of superplasticized cementitious mixtures with micro/nano-SiO₂ additions:

Tuvieron como objetivo evaluar los efectos de micro y nano-SiO₂ bajo varias dosis de superplastificante de tipo copolímero de poliéter carboxilado sobre las propiedades reológicas de las lechadas en estado fresco. En el estado endurecido utilizaron pruebas de compresión y microscopía electrónica de barrido para caracterizar los morteros de cemento Portland tipo I. El superplastificante (SP) utilizado según la

normativa ASTM C-494 tipos A y F y ASTM C-1017 tipo I con $SG = 1.08$, $pH = 4.8-6.8$ y 40% de contenido sólido, diseñado comercialmente como un aditivo reductor de agua de alto rango (HRWRA). La dosis de saturación (SD) para cada sistema lo obtuvieron de acuerdo con los resultados de prueba de cono de Marsh (MCT).

Durante la Etapa I, la reología de las lechadas de superplastificantes (relación $a/c = 0.35$ y 0.40) lo obtuvieron mediante la prueba MCT. Los aditivos minerales en lechadas superplastificadas disminuyen los tiempos de flujo y las dosis de saturación en comparación con las muestras de control superplastificadas. Para las mezclas de lechada de control, el FT aumentó con una disminución en la relación a/c de 0.40 a 0.35 , como se esperaba debido a la reducción de agua. En la Etapa II, los diseños experimentales a relación $a/c = 0.35$ produjeron un área de flujo, peso unitario y contenido de aire en los sistemas de aditivos minerales mejor que en las muestras de control superplastificadas. Durante la Etapa III, la resistencia máxima en el sistema nano- SiO_2 fue obtenido al 1.0% en peso, mientras que en los sistemas micro- SiO_2 , este efecto se produjo al 15% en peso.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el artículo de Zapata, Portela, Suárez & Carrasquillo sugieren que bajo condiciones superplastificadas, las lechadas nS mejoran el comportamiento reológico a bajas relaciones a/c y niveles de reemplazos, mientras que los niveles altos de reemplazos de nS tienden a exhibir una mejor fluidez a altas relaciones a/c . Por otro lado, el área de flujo, la densidad fresca y el contenido de aire en el estado fresco de las muestras exhibieron una dependencia no lineal con respecto a los niveles de reemplazo de los aditivos minerales y químicos, logrando una mejor fluidez y, por lo tanto, una mejor compactación del mortero con las adiciones de micro y nano SiO_2 .

Las adiciones de micro y nano SiO_2 en combinación con el uso apropiado de superplastificante, podrían aumentar la resistencia a la compresión de los sistemas. No obstante, de acuerdo a la evidencia del análisis SEM en este artículo muestra que la mejora en la resistencia a la compresión de los

sistemas de SF se debió principalmente al efecto de relleno, mientras que en los sistemas de nS se debió tanto al efecto de densificación como al efecto de relleno de la zona de transición interfacial (ITZ).

- Shah, Khan, Khan & Jan (2013) en su artículo Effect of high range water reducers (HRWR) on the properties and strength development characteristics of fresh and hardened concrete hacen mención que:

Se están realizando investigaciones para aumentar la resistencia del hormigón con la adición de aditivos químicos y minerales. El uso de reductores de agua de alto rango (HRWR) se ha incrementado muchas veces en las últimas dos décadas. En esta investigación estudian el efecto de dos tipos de HRWR (superplastificantes) disponibles comercialmente sobre las propiedades del hormigón en estado fresco y endurecido. Las características de desarrollo de resistencia del hormigón se han estudiado con la adición del HRWR. La investigación ha demostrado que la selección del HRWR apropiado para los resultados deseados de concreto en estado fresco y endurecido es una decisión crítica para el desempeño del WRWR.

El aumento de resistencia debido a SP es el mismo para ambos casos, sin embargo, el aumento de trabajabilidad es más pronunciado en el caso de SP-2. El precio de SP-2 es el doble del SP-1, por lo que se puede preferir SP-2 para los casos en los que se requiere una mejor trabajabilidad. De manera similar, la resistencia a la tracción del cilindro y la resistencia a la flexión también se han incrementado para SP. El aumento en ambas propiedades del hormigón es relativamente mayor en el caso de SP-2. El aumento de la resistencia se pronuncia a mayor edad del hormigón (56 y 90 días), por lo que inicialmente hay poco aumento de la resistencia.

Para lograr un asentamiento constante de aproximadamente 25 mm, la relación a/cm se redujo y se compensó con el aumento de la dosis de SP. El SP-2 ha conducido comparativamente a una mayor disminución de la relación agua-cemento y un aumento de la resistencia a la compresión del hormigón.

- Golaszewki (2012) en su artículo Influence of cement properties on new generation superplasticizers performance:

Presentan los resultados de la investigación sobre la influencia que tienen los contenidos específicos de S_{sc} , C_3A , Na_2O_e y SO_3 en el cemento y la interacción de estos factores en el rendimiento de los superplastificantes de PC y PE. Para obtener relaciones inequívocas, se utilizaron cementos preparados en laboratorio. La composición y la superficie específica de esos cementos se cambiaron estrictamente de acuerdo con un plan de investigación asumido, mientras que otras propiedades se mantuvieron constantes. Con el fin de hacer que las relaciones logradas sean lo más útiles posible para crear la trabajabilidad del concreto autocompactante (SCC) y concreto al alto rendimiento (HPC), la investigación se llevó a cabo en morteros. El programa de investigación fue planificado sobre la base de análisis de varianza (ANOVA), utilizando un procedimiento de mezclado según la normativa EN 196-1.

De acuerdo a la influencia de los superplastificantes investigados sobre las propiedades reológicas de los morteros, según el rango probado, no observaron influencia considerable del contenido de SO_3 en el cemento sobre el rendimiento del superplastificante. El rendimiento de PC y PE aumenta cuando disminuye el contenido de Na_2O_e en el cemento. Dichos morteros se caracterizan por tener el valor de rendimiento g más bajo que cambia con el tiempo. Los resultados que obtuvieron pueden ser utilizados para diseñar y controlar la trabajabilidad de mezclas aglutinantes de cemento fresco. El coeficiente reológico RFC sugerido para el cemento permite predecir el efecto del PC y PE sobre la base de las características del cemento, y puede aplicarse como una forma de selección de cemento en términos de compatibilidad con PC y PE superplastificante.

Del artículo de Golaszewki se puede afirmar que en general, el rendimiento del superplastificante disminuye cuando aumenta el contenido de C_3A y Na_2O_e de la superficie específica del cemento (S_{sc}), además que la influencia del contenido de Na_2O_e en el cemento sobre los parámetros

reológicos de los morteros aumenta con el aumento del contenido de C_3A en el cemento.

- Schröfl, Gruber & Plank (2012) en su artículo Preferential adsorption of polycarboxylate superplasticizers on cement and silica fume in ultra-high performance concrete (UHPC):

El hormigón de ultra alto rendimiento (UHPC) se fluidifica particularmente bien cuando se aplica una mezcla de Policarboxilato a base de éter (PCE) de tipo Éster de ácido metacrílico (MPEG) y policarboxilatos a base de aliléter (APEG). Aquí, investigaron el mecanismo de este comportamiento. Las pruebas de pastas individuales de cemento y microsílíce revelaron que el MPEG-PCE dispersa el cemento mejor que la sílice, mientras que el APEG-PCE fluidifica la sílice particularmente bien. Este comportamiento se explica por la adsorción preferencial de APEG-PCE sobre sílice, mientras que los MPEG-PCE exhiben una afinidad más equilibrada tanto por el cemento como por la sílice. Los datos de adsorción obtenidos de las pastas individuales de cemento y microsílíce se compararon con los encontrados para el UHPC totalmente formulado que contiene una mezcla de cemento/sílice. En la formulación de UHPC, ambos PCE todavía exhiben una adsorción preferencial y selectiva similar a la observada para las pastas individuales de cemento y sílice. La adsorción preferencial de PCE se explica por su diferente estereoquímica en la que los grupos carboxilato deben coincidir con la posición estérica de los iones/átomos de calcio situados en las superficies de los hidratos de cemento o sílice. Midieron la fluidez de la pasta de UHPC, de la pasta de cemento y de la suspensión de humo de sílice en la solución de poros modelo UHPC empleando un mini ensayo de asentamiento modificado según DIN EN 1015.

Los resultados demuestran que cuando se aplica una combinación de MPEG y APEG-PCE en una formulación de UHPC, se produce la adsorción concomitante de los dos tipos de PCE en ambas partículas sólidas (cemento y SiO_2). El beneficio de este efecto es que se requieren dosis más bajas de PCE para lograr la misma fluidez que con PCE

individuales. En UHPC, un PCE de tipo APEG cubrirá predominantemente la superficie de la sílice y, en consecuencia, la dispersará. Debido a que en toda la formulación de UHPC, la sílice representa un área de superficie mucho mayor que el cemento, la dispersión exitosa de la sílice es más importante para una alta fluidez de UHPC. En consecuencia, esto significa que para obtener una formulación de UHPC altamente fluida, la mezcla más importante es un tipo de PCE que puede dispersar eficazmente el humo de sílice.

Del artículo de Schröfl, Gruber & Plank se puede precisar que para una dispersión óptima de la mezcla de cemento/sílice presente en UHPC, una combinación de superplastificantes policarboxilato de adsorción selectiva es más eficaz que los polímeros individuales, además de demostrar que la muestra de PCE a base de aliéter se adsorbe preferiblemente en humo de sílice, puesto que aparentemente, la posición estérica de los grupos carboxilato presentes en este PCE coincide mejor con la disposición de Ca^{2+} iones ubicados en específicas distancias en la superficie de la sílice. Por otro lado, la muestra de PCE a base de ácido metacrílico interactúa fuertemente con las superficies del cemento hidratante. Obviamente, ambos polímeros no se perturban entre sí mediante adsorción competitiva. En cambio, ambos se adsorben de manera concomitante en las dos superficies. Esto conduce a una capa de polímero más densa y, por tanto, a una dispersión mejorada.

- Vinayagam (2012) en su artículo Experimental investigation on high performance concrete using silica fume and superplasticizer:

Formulan un diseño de mezcla simplificado procedimiento para concreto de alto desempeño (HPC) mediante la combinación de métodos de diseño de mezcla de códigos BIS y ACI y literatura disponible sobre HPC. Con ésta base llegan a las mezclas M80 y M100 que lo prueban experimentalmente en cuanto a compresión, flexión y trabajabilidad. Realizaron pruebas de trabajabilidad como prueba de asentamiento para concreto fresco según especificaciones BIS, manteniendo constante la dosis de superplastificante al 3% en peso de ligante. Para la prueba de

resistencia a la compresión de cubos de concreto endurecido en cubos de 150 mm a la edad de 1, 3, 7, 14, 28 y 56 días, los ensayos de resistencia a la tracción dividida y de flexión fue a los 28 días según las especificaciones de BIS. Concluyendo que el uso de microsílíce en el hormigón reduce la trabajabilidad, siendo el patrón de falla por compresión del concreto se debe al aplastamiento del agregado grueso y no a la falla de la adherencia.

- Plank, Schroefl, Gruber, Lesti & Sieber (2009) en su artículo Effectiveness of Polycarboxylate Superplasticizers in Ultra-High Strength Concrete: The Importance of PCE Compatibility with Silica Fume:

Investigaron la interacción entre varios superplastificantes y cemento, así como el humo de sílice, su poder de dispersión e interacción (adsorción) con cemento y humo de sílice solo y la combinación cemento/sílice. Sintetizaron éster de metacrilato, así como policarboxilatos (PCE) basados en aliléter para plastificar pastas de cemento y humo de sílice con una relación agua/cemento de 0.22. Copolímeros de ácido metacrílico, metacrilato de (ω -metoxipoli(etilenglicol)) y ácido metalilsulfónico, en lo sucesivo denominados "PCE basados en MA", y copolímeros que contienen anhídrido maleico y éter de α -alil- (ω -metoxipoli(alquileno)) ("aliléter PCEs"), fueron sintetizados por polimerización de radicales acuosos.

Sintetizaron y probaron aproximadamente 50 PCE que poseían diferentes longitudes de cadena principal, longitudes de cadenas laterales y diferentes tipos de comonómeros y proporciones de comonómeros. De este grupo, seleccionaron un total de seis PCE para ser presentados en este estudio debido a su desempeño superior. Las propiedades características de los superplastificantes que produjeron los mejores resultados en la mini prueba de asentamiento. Las proporciones de UHPC fue de cemento, humo de sílice, agua y superplastificante, siendo un cemento de alta resistencia a los sulfatos, bajo contenido de álcali y bajo calor. La introducción de polvo de sílice fino en la pasta de cemento aumenta significativamente la dosis de superplastificante necesaria para una buena trabajabilidad. Obviamente, no solo es un desafío la muy baja relación a/c en UHPC, sino

también la presencia de humo de sílice. Con respecto a la interacción con superplastificantes, el humo de sílice no puede considerarse un componente "inerte".

El efecto plastificante de los superplastificantes sobre el cemento se explica comúnmente por un mecanismo de trabajo adsorbente. De acuerdo con este concepto, las diferencias en la efectividad del superplastificante se atribuyen a diferentes cantidades de masa de polímero adsorbida por unidad de masa de sólido (mg/g). Este concepto resultó no ser aplicable para lechadas de humo de sílice.

Encontraron que los copolímeros de éster de metacrilato dispersan bien el cemento, mientras que los copolímeros de aliléter son más efectivos con el humo de sílice. Las investigaciones mecanísticas revelaron que, en la solución de poros de cemento, la carga superficial del humo de sílice se vuelve positiva por adsorción de Ca^{2+} en grupos silanolato cargados negativamente presentes en la superficie de sílice. De esta manera, los copolímeros de policarboxilato se adsorben y dispersan los granos de humo de sílice. Así, ensayaron mezclas de ambos copolímeros en pastas de cemento-microsílice. Estas mezclas proporcionan una dispersión significativamente mejor que si se usa un solo polímero. Aparentemente, las superficies del cemento hidratante (aquí principalmente etringita) y el humo de sílice son bastante diferentes con respecto a su composición química. Por lo tanto, se requieren PCE con diferentes arquitecturas moleculares para proporcionar la máxima coordinación con los átomos de calcio presentes en estas superficies.

- Hommer (2009) en su artículo científico Interaction of polycarboxylate ether with silica fume:

Investigó la interacción del humo de sílice con éteres de policarboxilato cargados negativamente en comparación con un poliacrilato y dos polietilenglicoles no iónicos mediante mediciones de potencial de adsorción y flujo a un valor de pH ligeramente alcalino, concluyendo que el éter de policarboxilato se adsorbe dentro del rango de pH dado a través

de sus cadenas laterales de polietilenglicol en el humo de sílice. El equivalente carboxílico bajo en la cadena principal del polímero favorece la adsorción. Por el contrario, la adsorción es baja para los éteres de policarboxilato con alto equivalente carboxílico en su estructura principal y está impedida para el ácido poliacrílico en particular, que no posee cadenas laterales. Esto se debe a la repulsión electrostática mutua de la columna vertebral negativa y la superficie de sílice. Sin embargo, la afinidad de adsorción es función tanto de la longitud de la cadena lateral del polímero como de su equivalente carboxílico. Si la cadena lateral del éter policarboxilato es suficientemente larga, la afinidad de adsorción aumenta a medida que aumenta el equivalente carboxílico del éter policarboxilato. Esto se debe a las cadenas laterales más flexibles, lo que mejora la adsorción "en el extremo" de las cadenas laterales en las partículas de sílice. Teniendo en cuenta los resultados, los éteres de policarboxilato con alto equivalente carboxílico y cadenas laterales cortas (menos de 3000 Da) deberían ser más adecuados como dispersantes para hormigones refractarios que contienen microsílíce, que actualmente se encuentra bajo investigación.

Afirmando así que, la afinidad de adsorción entre el microsílíce y policarboxilatos éter está determinada tanto por el equivalente carboxílico como por la longitud de la cadena lateral del policarboxilato éter.

2.3 Estructura teórica y científica que sustenta el estudio

2.3.1 Aditivos

La Norma E-060: Concreto armado (2006) lo define como “material distinto del agua, de los agregados o del cemento hidráulico, utilizado como componente del concreto, y que se añade a éste antes o durante su mezclado a fin de modificar sus propiedades” (p. 25).

Los aditivos presentan ventajas de acuerdo al estado en que sea aplicado en la mezcla del concreto, siendo las siguientes:

- a. En el estado fresco:
 - Aumenta la trabajabilidad al reducir la pérdida de asentamiento para lograr una mejor compactación y acabado.
 - Alcanza una alta resistencia a través de una relación de agua a cemento reducida.
 - Mejora la reología controlando la segregación y la exudación.
 - Acelera o retarda el tiempo de fraguado del hormigón, según los requisitos del sitio.
 - Mejora la resistencia al congelamiento-deshielo.
 - Mejora las instalaciones para el logro de alta resistencia inicial / alto concreto.
- b. En el estado endurecido:
 - Retrasa o reduce la generación de calor durante el endurecimiento temprano.
 - Acelera el desarrollo de la fuerza en edades tempranas.
 - Aumenta la resistencia sin aumentar el contenido de cemento.
 - Incrementa la durabilidad.
 - Disminuye la permeabilidad.
 - Controla la expansión debido a la reacción álcali-agregado.
 - Mejora la resistencia al impacto y la abrasión.
 - Inhibe la corrosión del acero (Nayak & Jain, 2012, pp. 103-104).

2.3.2 Aditivos químicos

Los aditivos químicos son sustancias que presentan una alta actividad superficial en procesos donde existe contacto entre un fluido (agua) y materiales sólidos (cemento). Los aditivos químicos son usados para mejorar las propiedades del concreto en su estado plástico y endurecido (ACI C494 / C494M - 19, 2016, sección Aditivos).

Los aditivos químicos pueden clasificarse, de acuerdo a términos generales, como:

- a. Aditivo minerales
 - Cenizas volantes

- Escoria de alto horno
 - Microsílice o humo de sílice
 - Metacaolín
 - Ceniza de cáscara de arroz
- b. Aditivos químicos
- A base de lignosulfonato
 - Formaldehído de naftaleno sulfonado
 - Formaldehído de melamina sulfonado
 - A base de policarboxilato éter. (Nayak & Jain, 2012, p. 104)



Figura N°1: Materiales cementantes suplementarios

Nota: De la izquierda para la derecha, ceniza volante (Clase C), metacaolinita (arcilla calcinada), humo de sílice, ceniza volante (Clase F), escoria y esquisto. Adaptado de Kosmatka, Kerkhoff, Panarese & Tanesi (2004)

Los aditivos químicos pueden clasificarse de acuerdo a sus funciones de la siguiente manera:

- Tipo A: Aditivos reductores de agua
- Tipo B: Aditivos retardadores
- Tipo C: Aditivos aceleradores
- Tipo D: Aditivos retardadores y reductores de agua
- Tipo E: Aditivos aceleradores y reductores de agua

- Tipo F: Aditivos reductores de agua, de alto rango
- Tipo G: Aditivos retardantes, de alto rango y reductores de agua
- Tipo S: Aditivos de desempeño específico (ASTM C494/C494M-08a, 2008, sección: Especificación Normalizada de Aditivos Químicos para Concreto)

2.3.3 Aditivo de cadena corta de naftaleno y melamina sulfonada

Son productos sintéticos que poseen numerosos grupos sulfonatos, basado en condensados de naftalensulfonato (BNS) y melamina sulfonada (MNS), denominados aditivos superplastificantes convencionales (Alonso, Martínez-Gaitero, Gismera-Diez, & Puertas, 2017, p. 11), la repulsión electrostática generada por la adsorción de estos aditivos orgánicos explica los mecanismos de dispersión de las partículas en el cemento (Ghorab, Kenawi, & Abdel All, 2012, p. 360).

Estos tipos de aditivos se caracterizan por tener cadenas laterales no muy largas y una potente carga iónica (Ghorab, Kenawi, & Abdel All, 2012, p. 376).

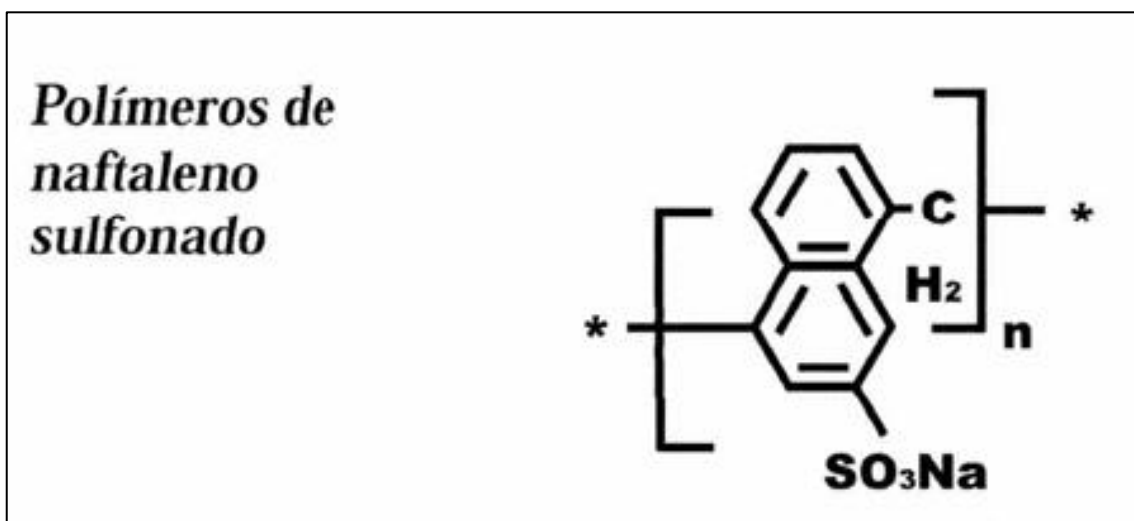


Figura N°2: Composición química del naftaleno sulfonado

Nota: Adaptado de “Tecnología Avanzada de Hormigón”, por Jarauta (2016)

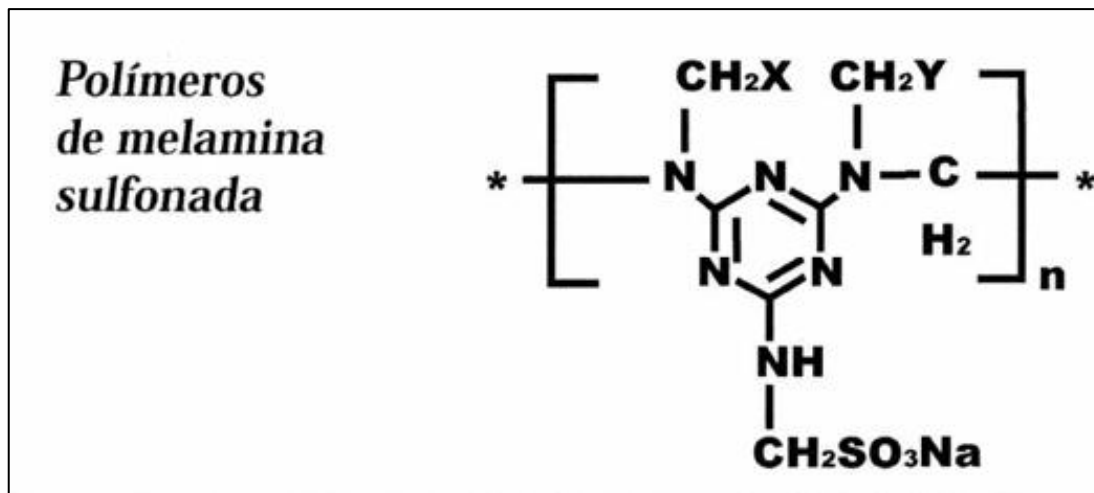


Figura N°3: Composición química del melamina sulfonada

Nota: Adaptado de “Tecnología Avanzada de Hormigón”, por Jarauta (2016)

2.3.4 Aditivo de cadena larga de policarboxilato

Esta tecnología, producida mediante síntesis química especializada, son caracterizados por presentar una estructura de “peine” teniendo cadenas laterales de cadena iónica y densidad variable constituidas por grupos carboxilato y grupos eters; y una cadena hidrocarbonada lineal principal de distintas longitudes (Alonso, Palacios, Puertas, De La Torre, & Aranda, 2007, p. 66), en consecuencia, la capacidad de reducción de agua de estos aditivos alcanza valores superiores hasta del 42% (American Society of Testing Materials, 2019, Sección Aditivos).

“Los parámetros clave que regulan la adsorción de estos aditivos son la densidad carga, la densidad de cadenas laterales y el grado de estabilización electroestática y estérica que proporcionan” (Ghorab, Kenawi, & Abdel All, 2012, p. 360), presentan gran flexibilidad para modificar su estructura con el cual puede desempeñar un papel importante en el proceso de adsorción además de obtener propiedades determinadas en cuanto a capacidad dispersante, modificar el fraguado y retención de la trabajabilidad.

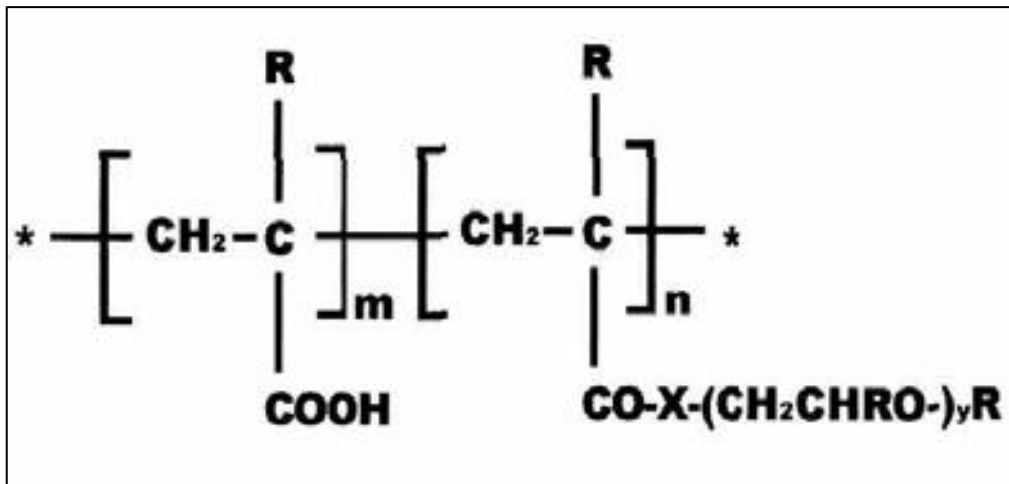


Figura N°4: Composición química del polycarboxilato modificado

Nota: Adaptado de “Tecnología Avanzada de Hormigón”, por Jarauta (2016)

2.3.5 Concreto de alta resistencia

El concreto de alta resistencia “es un material de hormigón cementoso que tiene una resistencia a la compresión mínima especificada de 150 MPa con requisitos especificados de durabilidad, ductilidad a la tracción y tenacidad; las fibras se incluyen generalmente para lograr los requisitos especificados” (American Concrete Institute 239C, 2018, p. 5).

Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi (2004) lo define como “aquél que posee una resistencia considerablemente superior a las normalmente encontradas en la práctica”, compuesto típicamente por: altas cantidades de contenido de cemento, contenido de humo de sílice (25% a 35% en peso del cemento), polvo de cuarzo, arena de cuarzo y fibra de acero (Soliman & Tagnit-Hamou, 2017, pp. 847-848). Por otro lado, los aditivos superplastificantes se adicionan invariablemente a los concretos de alta resistencia para producir mezclas más trabajables y fluidas.

2.3.6 Concreto autocompactante

El concreto autocompactante (CAC) es “capaz de fluir y consolidarse bajo su propio peso, siendo suficientemente cohesivo para llenar todos los espacios, de casi cualquier tamaño y forma, sin segregación y exudación (exudación)” (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004, p. 368) como su propio nombre lo indica no requiere de ninguna compactación teniendo una

trabajabilidad muy alta, con la cual debe ser suficientemente fluida y cohesiva. Es importante tener en cuenta la diferencia entre un CAC genuino y una mezcla tradicional con trabajabilidad alta conocido como concreto fluido, el CAC resiste completamente a la segregación y mantiene su composición estable durante el transporte y colocación a diferencia de concreto fluido (De Schutter, Bartos, Domone, & Gibbs, 2008, p. 15).

La Figura N°5 muestra un ejemplo de las proporciones de una mezcla usada en concreto autocompactante, comparativamente con el concreto normal.

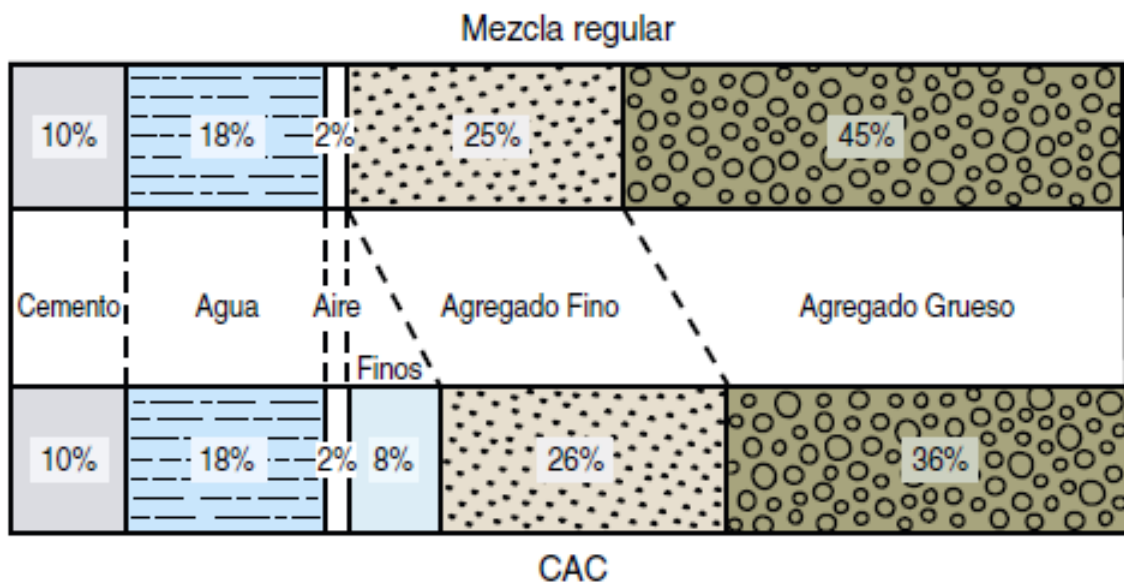


Figura N°5: Ejemplo de volumen absoluto de los materiales usados en el concreto convencional y en el concreto autocompactante

Nota: Adaptado de “Diseño y Control de Mezclas de Concreto”, por Kosmatka, Kerkhoff, Panarese & Tanesi (2004)

2.3.7 Concreto de alto rendimiento o desempeño

El concreto de alto desempeño “supera las propiedades y la constructibilidad del concreto convencional, para ser producidos estos concretos especialmente diseñados, se usan materiales normales y especiales y pueden ser necesarias prácticas especiales de mezclado, colocación(colado) y curado” (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004, p. 355). El hormigón de alto rendimiento (HPC), es casi impermeable al dióxido de carbono, cloruros y sulfatos, su

durabilidad superior conduce a una larga vida útil con un mantenimiento reducido. Debido a la resistencia a la compresión ultra alta, las estructuras de UHPC pesan solo un tercio o la mitad de las estructuras de hormigón convencionales correspondientes bajo la misma carga. Esta reducción de peso tiene el beneficio de producir estructuras más esbeltas, aumentar el espacio de piso utilizable en edificios de gran altura y reducir los costos generales. El UHPC es generalmente costoso y no puede reemplazar el concreto convencional en la mayoría de las aplicaciones donde las mezclas convencionales pueden cumplir económicamente con los criterios de desempeño (Wang et al., 2015, p. 368).

Muchos investigadores han realizado estudios sobre UHPC, pero la información sobre los materiales y las propiedades estructurales de UHPC aún es limitada.

2.3.8 Microsílice

Se define como “un subproducto que se usa como una puzolana, resultado de la reducción del cuarzo de alta pureza con carbón en hornos eléctricos durante la producción de liga de silicio o ferrosilicio” (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004, p. 80)

La elevada superficie específica del microsíllice junto con un aumento de la densidad del mortero, hace necesario añadir un superplastificante a la mezcla; mejora la resistencia a la compresión y la resistencia a la abrasión, y reduce la permeabilidad, no solo por la función de compactación, la reducción del agua y la reacción puzolánica (formación química de C – S – H), sino también por el fortalecimiento de la unión causado por el espesamiento de la fase de transición entre los agregados de cemento y la reducción de la orientación de los cristales C – H (Bastos, Patiño-Barbeito, Patiño-Cambeiro & Armesto, 2016, p. 9).

2.4 Definiciones y términos básicos

- a) Aditivo: según la NTP 339.047:2014, es el producto químico que añadido en pequeña cantidad al concreto permite mejorar ciertas propiedades, cualidades deseadas, tanto para el hormigón (concreto), en su estado fresco como

endurecido. Se encuentra en el mercado en forma de polvos solubles, escamas o soluciones.

- b) Aditivo reductor de agua: según la NTP 339.047:2014, es el aditivo que reduce la cantidad de agua de mezcla necesaria para producir hormigón de una consistencia dada.
- c) Aditivo reductor de agua de alto rango: según la NTP 339.047:2014, aditivo que reduce en 12% o más, la cantidad de agua de mezcla necesaria para producir hormigón de una consistencia dada.
- d) Asentamiento: según la NTP 339.047:2014, se refiere a la contracción vertical de los materiales cementantes frescos, antes del inicio de fraguado, y es resultado del sangrado o exudación (asentamiento de los sólidos con relación a los líquidos), de la subida de los vacíos de aire hacia la superficie y de la contracción química.
- e) Concreto: según la NTP 339.047:2014, mezcla de material aglomerante y agregados fino y grueso. En el concreto normal, comúnmente se usan como medio aglomerante, el cemento portland y el agua, pero también puede contener puzolanas, escorias y/o aditivos químicos.
- f) Concreto autocompactante: según la NTP 339.047:2014, el concreto autocompactante es capaz de fluir y consolidarse bajo su propio peso. Y es suficientemente cohesivo para llenar todos los espacios, de cualquier tamaño y forma, sin segregación y exudación.
- g) Concreto de alta resistencia: según la NTP 339.047:2014, es el concreto de mayor resistencia a la que habitualmente se utiliza en la construcción. Su definición, varío según la realidad de cada país. Se puede considerar al concreto con una resistencia de diseño de 70 MPa.
- h) Ensayo de asentamiento: según la NTP 339.047:2014, es la medida de la consistencia del mortero u hormigón (concreto) fresco expresada por el descenso de una masa plástica representativa del pastón, al quedar libre del soporte metálico que fue moldeado.
- i) Microsilíce: de acuerdo a la NTP 339.047:2014, es un subproducto que se origina en la reducción del cuarzo de elevada pureza con carbón en hornos eléctricos de arco, para la producción de silicio y aleaciones de ferro silicio.

Está constituido por partículas esféricas muy finas con un elevado contenido de sílice amorfa.

- j) Relación agua – cemento: de acuerdo a la NTP 339.047:2014, es la relación entre la masa de agua y la masa de cemento en el concreto.
- k) Resistencia a compresión: de acuerdo a la Norma E-060 es la capacidad de soportar cargas y esfuerzos y se mide fracturando probetas cilíndricas según la NTP 339.024:2015.
- l) Resistencia a la flexión: se expresa como el Módulo de rotura, en libras por pulgada cuadrada (MPa) y e determinada mediante los métodos de ensayo ASTM C78 (cargada en los puntos tercios) o ASTM C293 (cargada en el punto medio).
- m) Resistencia a la tracción: determinada de acuerdo con ASTM C 496M, tal como se describe en la norma ASTM C 330.

CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS

3.1 Hipótesis

3.1.1 Hipótesis General

Al analizar los aditivos de cadena corta y cadena larga se mejora las propiedades mecánicas del concreto con incorporación de microsílíce.

3.1.2 Hipótesis Específicas

- a) Al analizar la relación agua/cementante en el diseño con aditivos de cadena corta se mejoran las propiedades mecánicas del concreto con microsílíce.
- b) Al analizar la relación agua/cementante en el diseño con aditivos de cadena larga se mejoran las propiedades mecánicas del concreto con microsílíce.
- c) Al analizar los porcentajes de aditivos de cadena corta se mejora el asentamiento del concreto con microsílíce.
- d) Al analizar los porcentajes de aditivos de cadena larga se mejora el asentamiento del concreto con microsílíce.

3.2 Variables

3.2.1 Definición conceptual de la variable

3.2.1.1 Variable Dependiente

- Propiedades mecánicas del concreto con microsílíce.

3.2.1.2 Variable Independiente

- Aditivos de cadena corta y cadena larga.

3.2.2 Definición operacional de la variable

3.2.2.1 Definición de la Variable Independiente

Aditivo: se determinará el porcentaje óptimo de adición con respecto al compuesto cementicio, que se dará en base a los resultados de plasticidad y resistencia. Para la medición de estos, se usará de acuerdo a la recopilación de ensayos de tesis y artículos de diversos autores.

3.2.2.2 Definición de la Variable Dependiente

Propiedades mecánicas: en el estado fresco es una masa blanda y puede ser trabajado o moldeado en diferentes formas y así, se conserva durante la colocación y la compactación.

Por otra parte, después de que el concreto ha fraguado empieza a ganar resistencia y se endurece, conocido como estado endurecido.

3.2.3 Operacionalización de las variables

Tabla N°1: Operacionalización de Variable Independiente

Variable	Dimensiones	Indicadores	Instrumento	Herramienta	Item
Variable Independiente: Aditivos de cadena corta y cadena larga (Cuantitativa continua)	Aditivo de cadena corta	Porcentaje de aditivo de cadena corta	Resultados de ensayos de laboratorio realizado en publicaciones científicas y tesis de investigación	Norma E.060 NTP 334.088 ASTM C685-07	Indicado en formatos
		Relación agua/cementante con aditivos de cadena corta			
	Aditivo de cadena larga	Porcentaje de aditivo de cadena larga			
		Relación agua/cementante con aditivos de cadena larga			

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°2: Operacionalización de Variable Dependiente

Variable	Dimensiones	Indicadores	Instrumento	Herramienta	Item
Variable Dependiente: Propiedades mecánicas del concreto con microsílíce (Cuantitativa continua)	Estado fresco	Asentamiento con aditivos de cadena corta			
		Asentamiento con aditivos de cadena larga	Resultados de ensayos de laboratorio realizado en publicaciones científicas y tesis de investigación	ASTM C143(2010) ACI 211.4R ACI 304.2R GB/T 50080-2016 ASTM C109 PN-EN 12390-2: 2011 PN-EN 12390-3:2011 BS EN 12390-3-2009 EUROCÓDIGO 2	Indicado en formatos de autores identificados
	Estado endurecido	Resistencia mecánica con aditivos de cadena corta			
		Resistencia mecánica con aditivos de cadena larga			

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV: MARCO METODOLÓGICO

La presente investigación es un estudio documental porque procura obtener información relevante y fidedigna de especialistas e investigadores acerca del comportamiento del concreto con incorporación de aditivos, es bibliográfica porque se ha basado en un marco de especialidad y técnico basado en las distintas normas utilizada en cada artículo y descriptivo porque se ha descrito los pasos utilizados para elaborar esta investigación, compilando los resultados de ensayos en estado fresco y endurecido del concreto, organizando los resultados de manera esquemática para de esta manera interpretar y analizar dicha información para poder determinar la influencia de los aditivos de cadena corta y larga con incorporación de humo de sílice para mejorar las propiedades mecánicas del concreto, a partir de fuentes documentales, tales como artículos científicos, investigaciones pasadas, entre otros.

En el estudio efectuado por Chavarry, Chavarria, Valencia, Pereyra, Arrieta y Rengifo (2020), reforzaron un hormigón mediante la incorporación de vidrio molido para controlar la contracción plástica, el método empleado fue deductivo, orientación aplicada, enfoque cuantitativo y como instrumento de recolección de datos retrolectivo, de tipo investigación descriptivo, correlacional y explicativo. El diseño experimental, longitudinal, retrospectivo y el estudio de cohorte (causa – efecto).

Así mismo, la presente investigación acoge la tipología empleada por Chavarry et. al, dado que emplea un método deductivo, porque reconoce e identifica las variables de estudio, plantea la hipótesis correspondiente para cada uno de sus objetivos, operacionaliza las variables y propone un análisis de la influencia de los aditivos de cadena corta y larga en el concreto, es aplicada, ya que mejora las propiedades mecánicas, tiene un enfoque cuantitativo, toda vez que los resultados del estudio se van a presentar indicadores y porcentajes, el instrumento de recolección de datos es retrolectivo, porque la investigación utilizó documentos e investigaciones con ensayos fundamentados ya realizados. Finalmente, el estudio es de tipo descriptivo.

4.1 Método de la investigación

Esta investigación fue de método deductivo ya que parte de demostrar, a través de la compilación de datos; tuvo como orientación aplicada, se basó en un enfoque cuantitativo debido a que pretendía deducir la influencia de los aditivos de cadena corta y larga con incorporación de microsílíce para mejorar las propiedades mecánicas del concreto recopilando información de forma retrolectiva pues, se utilizó documentales e investigaciones con ensayos fundamentados ya realizados.

4.2 Tipo de la investigación

Inició con una investigación descriptiva y terminó como investigación correlacional ya que se estableció una relación y medición entre las variables a causa de conocer el comportamiento de los aditivos de cadena corta y cadena larga en el concreto con microsílíce, no obstante, se pretendió ampliar el conocimiento para el desarrollo y estudio más completo en las siguientes investigaciones relacionadas con el tema para un adecuado análisis experimental. Esto se garantizó investigando el tema a nivel fundamental por medio de diversas fuentes teóricas de diseño e interpretando varios análisis experimentales publicados en reportes que se llevan a cabo a escala en un laboratorio de prueba, haciendo uso de software avanzado, para de esta manera proporcionar el fundamento necesario que pueda crear las bases que permitan aplicar la metodología indicada.

4.3 Nivel de la investigación

El nivel de la investigación fue descriptivo porque buscó especificar las propiedades mecánicas del concreto bajo la influencia de los aditivos.

4.4 Diseño de la investigación

Según la técnica de contrastación fue experimental, direccionalidad longitudinal y recolección de datos retrospectivo, debido a que se utilizaron datos de diversas fuentes y publicaciones científicas fundamentadas, siendo un estudio de diseño de cohortes, por la que se observó los fenómenos ya ocurridos teniendo registros adecuados, pero fueron revisados.

4.5 Población

La población o universo de la investigación se basó en todas las normas utilizadas en las publicaciones científicas y tesis de investigación sobre concretos incorporación de aditivos minerales y químicos según lo siguiente:

- Aditivos químicos: ASTM C 494, ASTM C 1017 y IS 9103 (1999)
- Asentamiento: NTP 339.035, ASTM C143, ACI 304.2R, estándar chino GB/T 50080-2016, estándar chino GB/T 2419-2005, ABNT NBR 7212 y TS EN 12350-2.
- Resistencia a la compresión: NTP 339.034, BS EN 12390-3-2009, ASTM C 39-15, PN-EN 12390-2: 2011, PN-EN 12390-3:2011, IS: 516 (1959), ASTM C33, ASTM C109/C109M, ASTM C39/C39M-18, BS 1881-116, BS EN 196-1, EN 196-1: 2005, BIS: 516-1959, ABNT NBR 5739:2007 y TS EN 12390-3.
- Resistencia a la flexión: NTP 339.078, PN-EN 12390-6:2011, ASTM C348-14, EN 196-1: 2005, TS EN 12390-6, ASTM C 78 y ASTM C 293
- Resistencia a la tracción: NTP 339.084, ASTM C496 y TS EN 12390-5.

4.6 Muestra

De acuerdo a lo descrito en la población, en esta investigación se estableció como muestra el análisis de resultados de asentamiento, resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y resistencia a la tracción con aditivos de cadena corta y cadena larga en el concreto incorporado microsílíce de acuerdo a lo que especifica las normativas ya mencionadas detalladas en las publicaciones científicas y tesis de investigación.

4.7 Técnica de la investigación

La técnica para el desarrollo de ésta tesis fue de análisis documental ya que se revisó, analizó y expuso los resultados obtenidos en los ensayos de asentamiento, resistencia a la compresión, flexión y tracción realizado en las publicaciones científicas y tesis de investigación.

4.8 Instrumentos de recolección de datos

4.8.1 Método y técnica

La recolección de datos se realizó como observación indirecta ya que, se utilizó los resultados de los ensayos para el estado fresco: asentamiento y para el estado endurecido: resistencia a la compresión a diferentes edades tomados de las publicaciones científicas y tesis de investigación encontrados en diferentes plataformas de datos académicos.

4.8.2 Validez del instrumento

La documentación utilizada es válida de contenido ya que la información extraída está basada en las normas ACI, ASTM y NTP que rigen los materiales y procedimientos que se deben utilizar para tener los mejores resultados y así diseños óptimos en consecuencia, se encuentran aprobadas por el juicio de expertos en la materia.

4.8.3 Fiabilidad y consistencia del instrumento

Los resultados de los ensayos de los documentos utilizados fueron fiables debido a que pertenecen a fuentes verídicas de diferentes bases de datos del ámbito académico y científico.

4.9 Procesamiento y análisis estadístico de los datos

En primer lugar, se recolectaron los datos de los diferentes ensayos de las propiedades mecánicas, relación agua-cemento, aditivo químico utilizado y su porcentaje de participación en cada diseño.

La herramienta utilizada para el procesamiento de datos y su posterior análisis fue el software Microsoft Excel 2016 con el cual se elabora un cuadro comparativo y gráficos para mostrar los resultados de la información bibliográfica recolectada.

CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

5.1. Presentación de resultados

El análisis de resultados corresponde a la presentación e interpretación de los resultados obtenidos a través de los ensayos de asentamiento, resistencia a la compresión, flexión y tracción de los diferentes autores de acuerdo a los artículos procesados. Así mismo, se presenta la contrastación de la hipótesis general y específicas incluyendo el análisis e interpretación de cada autor permitiendo aceptar o negar las hipótesis planteadas.

Según la información de los resultados obtenidos en los ensayos en el estado fresco y endurecido de los diferentes autores se realiza la presentación de resultados de acuerdo al tipo de cadena de los aditivos químicos a diferentes relaciones agua-cemento (a/c):

Tabla N°3: Resultados de ensayos de resistencia mecánica con aditivo de cadena corta (1)

Autor(es)	Aditivo mineral 1	Aditivo mineral 1 (%)	Aditivo mineral 2	Aditivo mineral 2 (%)	a/c	Aditivo químico	Porcentaje de aditivo (%)	Asentamiento (mm)	Resistencia a la compresión (MPa)	Resistencia a la flexión (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)
									28 días	28 días	28 días
Torres, A., Aguayo, F., Allena, S., & Ellis, M.	MS	25.00	NP	NP	0.20	Superplastificante de polinaftaleno sulfonato (PNS)	4.00	NP	142.00	NP	NP
							5.00	NP	145.00	NP	NP
							1.50	10	72.00	NP	NP
							2.00	25	82.52	NP	NP
							2.50	85	84.44	NP	NP
Vidya, B., Blessyzion, G., & Rao, K.	MS	10.00	NP	NP	0.25	CONPLAST SP 430	3.00	225	78.66	NP	NP
							1.00	10	81.48	NP	NP
							1.25	20	86.67	NP	NP
							1.50	55	93.33	NP	NP
							2.00	205	89.78	NP	NP

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°4: Resultados de ensayos de resistencia mecánica con aditivo de cadena corta (2)

Autor(es)	Aditivo mineral 1	Aditivo mineral 1 (%)	Aditivo mineral 2	Aditivo mineral 2 (%)	a/c	Aditivo químico	Porcentaje de aditivo (%)	Asentamiento (mm)	Resistencia a la compresión (MPa)	Resistencia a la flexión (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)
									28 días	28 días	28 días
Perumal, D., Senthilkumar, S., & Sekar, K.		0.00%						52	67.11	7.40	4.95
		2.50%						46	75.56	7.70	5.16
		5.00%						45	76.44	8.20	5.31
	MS	7.50%	NP	NP	0.29			41	83.11	8.80	5.66
		10.00%						37	90.22	9.50	5.94
		12.50%						22	85.04	9.10	5.38
		15.00%						15	82.22	8.90	5.31
		0.00%					3.00	30	83.11	8.60	5.81
		2.50%					Superplastificante a base de Formaldehído de naftaleno sulfonado CONPLANST SP 430	28	89.04	9.00	6.41
		5.00%						27	93.89	9.40	6.89
	MS	7.50%	NP	NP	0.25			25	100.80	9.60	7.16
		10.00%						25	110.66	10.40	7.53
		12.50%						18	105.33	9.80	7.41
		15.00%						15	102.67	9.40	7.31

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°5: Resultados de ensayos de resistencia mecánica con aditivo de cadena corta (3)

Autor(es)	Aditivo mineral 1	Aditivo mineral 1 (%)	Aditivo mineral 2	Aditivo mineral 2 (%)	a/c	Aditivo químico	Porcentaje de aditivo (%)	Asentamiento (mm)	Resistencia a la compresión (MPa)	Resistencia a la flexión (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)
									28 días	28 días	28 días
Motahari, S., Ramezaniapour, A., Ebadi, T., Isapour, S., & Karakouzian, M.	MS	0.00		0.00	0.45		0.00	70-100	44.50	NP	NP
		0.00		0.00	0.35		0.10	70-100	60.80	NP	NP
		0.00		0.00	0.35		0.00	70-100	48.90	NP	NP
		0.00		0.00	0.35		0.15	70-100	64.30	NP	NP
		7.50		0.00	0.35		1.50	70-100	56.50	NP	NP
		7.50	Humo de sílice granulado	0.00	0.35		1.80	70-100	73.50	NP	NP
		6.56		0.00	0.35		1.50	70-100	58.70	NP	NP
		6.56		0.00	0.35		1.80	70-100	76.50	NP	NP
		0.00		8.10	0.35		0.00	70-100	55.00	NP	NP
		0.00		8.10	0.35		0.30	70-100	68.50	NP	NP
		0.00		7.09	0.35		0.00	70-100	58.00	NP	NP
		0.00		7.09	0.35		0.30	70-100	71.50	NP	NP

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°6: Resultados de ensayos de resistencia mecánica con aditivo de cadena corta (4)

Autor(es)	Aditivo mineral 1	Aditivo mineral 1 (%)	Aditivo mineral 2	Aditivo mineral 2 (%)	a/c	Aditivo químico	Porcentaje de aditivo (%)	Asentamiento (mm)	Resistencia a la compresión (MPa)	Resistencia a la flexión (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)
									28 días	28 días	28 días
Kostrzanowska-Siedlarz, A., & Golaszewski, J.	Condensado de Microsilíce	0.00	NP	NP	0.30	Superplastificante a base de poliéter	2.50	NP	60.00	NP	NP
		10.00	NP	NP	0.30		2.50	NP	71.00	NP	NP
		0.00	NP	NP	0.30		3.50	NP	87.80	NP	NP
		10.00	NP	NP	0.30		3.50	NP	65.00	NP	NP
		0.00	NP	NP	0.38		2.50	NP	72.90	NP	NP
		10.00	NP	NP	0.38		2.50	NP	82.60	NP	NP
		0.00	NP	NP	0.38		3.50	NP	67.30	NP	NP
		10.00	NP	NP	0.38		3.50	NP	80.70	NP	NP
		0.00	NP	NP	0.30		2.50	NP	101.80	NP	NP
		10.00	NP	NP	0.30		2.50	NP	92.03	NP	NP
		0.00	NP	NP	0.30		3.50	NP	83.20	NP	NP
		10.00	NP	NP	0.30		3.50	NP	105.30	NP	NP
		0.00	NP	NP	0.38		2.50	NP	70.10	NP	NP
		10.00	NP	NP	0.38		2.50	NP	82.90	NP	NP
		0.00	NP	NP	0.38		3.50	NP	83.00	NP	NP
		10.00	NP	NP	0.38		3.50	NP	90.60	NP	NP
5.00	NP	NP	0.34	3.00	NP	93.10	NP	NP			

5.00	NP	NP	0.34	3.00	NP	85.70	NP	NP
5.00	NP	NP	0.30	3.00	NP	104.50	NP	NP
5.00	NP	NP	0.38	3.00	NP	72.60	NP	NP
5.00	NP	NP	0.34	2.50	NP	94.40	NP	NP
5.00	NP	NP	0.34	3.50	NP	87.80	NP	NP
0.00	NP	NP	0.34	3.00	NP	78.70	NP	NP
10.00	NP	NP	0.34	3.00	NP	87.40	NP	NP
5.00	NP	NP	0.34	3.00	NP	95.20	NP	NP
5.00	NP	NP	0.34	3.00	NP	87.50	NP	NP
5.00	NP	NP	0.34	3.00	NP	83.40	NP	NP

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°7: Resultados de ensayos de resistencia mecánica con aditivo de cadena corta (5)

Autor(es)	Aditivo mineral 1	Aditivo mineral 1 (%)	Aditivo mineral 2	Aditivo mineral 2 (%)	a/c	Aditivo químico	Porcentaje de aditivo (%)	Asentamiento (mm)	Resistencia a la compresión (MPa)	Resistencia a la flexión (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)
									28 días	28 días	28 días
Shaikh, F., & Supit, S.	NS	2.00	Nanocalcio	0.00	0.40	SP1	1.00	NP	77.00	NP	NP
	NS	2.00	Nanocalcio	0.00	0.40	SP1	1.00	NP	77.00	NP	NP
	NS	2.00	Nanocalcio	0.00	0.40	SP2	1.00	NP	71.00	NP	NP
	NS	2.00	Nanocalcio	0.00	0.40	SP5	1.00	NP	81.00	NP	NP
	NS	0.00	Nanocalcio	2.00	0.40	SP1	1.00	NP	71.00	NP	NP
	NS	0.00	Nanocalcio	2.00	0.40	SP1	1.00	NP	67.00	NP	NP
	NS	0.00	Nanocalcio	2.00	0.40	SP2	1.00	NP	71.00	NP	NP
	NS	0.00	Nanocalcio	2.00	0.40	SP5	1.00	NP	77.00	NP	NP
Sudarsana Rao.Hunchate	NS	0.00			0.29		1.00	95	59.55	NP	NP
	MS	5.00			0.29		1.00	82	62.67	NP	NP
	MS	10.00			0.29	Superplastificante a base de naftaleno sulfonado	1.00	77	65.33	NP	NP
	MS	15.00	NP	NP	0.29	CONPLAST SP 430	1.00	71	71.11	NP	NP
	MS	20.00			0.29		1.00	64	67.33	NP	NP
Reddy.T.C	MS	20.00			0.29		1.00	58	63.11	NP	NP

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°8: Resultados de ensayos de resistencia mecánica con aditivo de cadena corta (6)

Autor(es)	Aditivo mineral 1	Aditivo mineral 1 (%)	Aditivo mineral 2	Aditivo mineral 2 (%)	a/c	Aditivo químico	Porcentaje de aditivo (%)	Asentamiento (mm)	Resistencia a la compresión (MPa)	Resistencia a la flexión (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)	
									28 días	28 días	28 días	
Garcia, L. G.	MS	0.00					0.00	127	65.46	8.30	7.21	
		4.00						127	67.36	13.50	11.94	
		6.00					0.80	101.60	69.15	13.70	12.12	
		8.00						96.52	71.07	14.00	12.37	
		4.00							157.48	69.08	14.70	12.96
		6.00				0.30		1.20	127	70.80	15.00	13.27
		8.00							96.52	72.68	15.30	13.54
		4.00					Superplastificante Sikacem		162.56	77.28	15.80	13.94
		6.00	NP		NP			1.60	142.24	79.38	16.20	14.27
		8.00							116.84	81.58	16.50	14.62
		0.00						0.00	127.00	61.03	7.50	6.57
		4.00							147.32	62.91	12.70	11.13
		6.00						0.80	121.92	64.47	12.90	11.32
		8.00					0.35		101.60	66.02	13.10	11.53
		4.00							162.56	70.19	13.70	12.06
		6.00						1.20	132.08	72.30	14.00	12.34
8.00							101.60	74.38	14.30	12.64		

					4.00			177.80	78.61	14.90	13.16
					6.00		1.60	157.48	80.53	15.20	13.43
					8.00			127	82.39	15.50	13.66
					0.00		0.00	127	54.66	6.40	5.64
					4.00			157.48	55.72	11.50	10.17
					6.00		0.80	147.32	57.94	11.80	10.48
					8.00			116.84	59.83	12.10	10.74
					4.00			172.72	64.40	12.80	11.21
					6.00	0.40		142.24	66.68	13.10	11.62
					8.00			121.92	68.81	13.40	11.83
					4.00			182.88	73.06	14.10	12.48
					6.00		1.60	167.64	75.03	14.40	12.66
					8.00			147.32	76.92	14.60	12.93
					5.00	0.25		203.20	54.29	8.30	7.21
Cruz, S.	MS		NP	NP	7.50	0.25		203.20	58.89	13.50	11.94
					10.00	0.25		203.20	69.14	13.70	12.12

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°9: Resultados de ensayos de resistencia mecánica con aditivos de cadena corta (7)

Autor(es)	Aditivo mineral 1	Aditivo mineral 1 (%)	Aditivo mineral 2	Aditivo mineral 2 (%)	a/c	Aditivo químico	Porcentaje de aditivo (%)	Asentamiento (mm)	Resistencia a la compresión (MPa)	Resistencia a la flexión (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)			
									28 días	28 días	28 días			
Fernandez, C., & Ramos, H.	MS	0.00	NP	NP	0.30	Superplastificante mezcla de derivados poliméricos en base a lignina Viscoflow 4000	0.34	180	61.60	NP	NP			
		5.00					190	66.00	NP	NP				
		7.50					180	70.10	NP	NP				
		10.00					165	70.40	NP	NP				
	0.00	NP	NP	0.35	Superplastificante mezcla de derivados poliméricos en base a lignina Viscoflow 4000	0.29	190	56.20	NP	NP				
	5.00					180	58.20	NP	NP					
	7.50					180	59.00	NP	NP					
	10.00					185	58.80	NP	NP					
	0.00					MS	NS	1.00	Superplastificante polímero naftaleno Sikament 290 N	0.27	185	50.30	NP	NP
	5.00									0.40	190	55.10	NP	NP
7.50	185	56.20	NP	NP										
10.00	180	52.10	NP	NP										
0.00	0.25	2.00	0.25	1.10	127-228	81.35	NP	NP						
5.00				1.00	127-228	85.09	NP	NP						
10.00				1.00	127-228	94.19	NP	NP						

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°10: Resultados de ensayos de resistencia mecánica con aditivos de cadena larga (1)

Autor(es)	Aditivo mineral 1	Aditivo mineral 1 (%)	Aditivo mineral 2	Aditivo mineral 2 (%)	a/c	Aditivo químico	Porcentaje de aditivo (%)	Asentamiento (mm)	Resistencia a la compresión (MPa)	Resistencia a la flexión (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)
									28 días	28 días	28 días
Alsaman, A., Dang, C., & Hale, W.	MS	5.00			0.20		3.40	NP	117.20	NP	NP
		10.00	NP	NP	0.20	Superplastificante a base de carboxilato (HRWR)	3.40	NP	118.60	NP	NP
		15.00			0.20		3.40	NP	118.00	NP	NP
		20.00			0.20		3.40	NP	111.00	NP	NP
Khodabakhshian, A., Ghalehnovi, M., de Brito, J., & Shamsabadi, E.	MS	0.00			0.45	Superplastificante de policarboxilato-éter, suministrado por Shimi Sakhteman Co	0.33	85	52.00	NP	NP
		2.50	NP	NP	0.45		80	59.00	NP	NP	
		5.00			0.45		90	60.00	NP	NP	
		10.00			0.45		85	63.00	NP	NP	
Smarzewski, P.	MS	0.00			0.25		2.70	NP	96.00	5.60	NP
		5.00			0.25		2.70	NP	102.50	6.50	NP
		10.00	NP	NP	0.25	Superplastificante a base de policarboxilato éter	2.70	NP	108.50	7.00	NP
		15.00			0.25		2.70	NP	107.50	6.75	NP
		20.00			0.25		2.70	NP	109.00	6.40	NP
		25.00			0.25		2.70	NP	109.00	6.00	NP

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°11: Resultados de ensayos de resistencia mecánica con aditivos de cadena larga (2)

Autor(es)	Aditivo mineral 1	Aditivo mineral 1 (%)	Aditivo mineral 2	Aditivo mineral 2 (%)	a/c	Aditivo químico	Porcentaje de aditivo (%)	Asentamiento (mm)	Resistencia a la compresión (MPa)	Resistencia a la flexión (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)
									28 días	28 días	28 días
Reem, S., & Abdulhameed, H.	MS	0.00	NP	NP	0.30	Superplastificante (SP) aditivo reductor de agua de alto rango que cumple con ASTM C 494 tipo F	2.80	155	50.00	NP	NP
		5.00			0.30		3.14	151	58.00	NP	NP
		7.50			0.30		3.57	143	61.00	NP	NP
		10.00			0.30		4.28	140	65.00	NP	NP
		12.50			0.30		4.57	132	72.00	NP	NP
		0.00			0.40		1.80	175	40.00	NP	NP
		5.00			0.40		1.85	168	49.00	NP	NP
		7.50			0.40		1.96	162	58.00	NP	NP
		10.00			0.40		2.00	156	61.00	NP	NP
		12.50			0.40		2.22	142	60.00	NP	NP
Chen, J., Ng, P., Chu, S., Guan, G., & Kwan, A.	MS	0.00	NP	NP	0.60	Superplastificante (SP) a base de poliacarboxilato en estado de solución acuosa	3.00	NP	51.80	NP	NP
		5.00			0.60		3.00	NP	92.30	NP	NP
		10.00			0.60		3.00	NP	108.70	NP	NP
		15.00			0.60		3.00	NP	122.60	NP	NP
		20.00			0.60		3.00	NP	130.70	NP	NP
		25.00			0.60		3.00	NP	129.70	NP	NP

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°12: Resultados de ensayos de resistencia mecánica con aditivos de cadena larga (3)

Autor(es)	Aditivo mineral 1	Aditivo mineral 1 (%)	Aditivo mineral 2	Aditivo mineral 2 (%)	a/c	Aditivo químico	Porcentaje de aditivo (%)	Asentamiento (mm)	Resistencia a la compresión (MPa)	Resistencia a la flexión (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)
									28 días	28 días	28 días
Khaloo, A., Asadollahi, S., & Dehestani, M.	MS	10.00	NP	NP	0.26	Superplastificante a base de Policarboxilato	0.60	100	112.00	NP	NP
		10.00			0.23		0.60	100	121.00	NP	NP
		10.00			0.20		1.00	100	131.00	NP	NP
		10.00			0.17		1.60	100	133.00	NP	NP
		15.00			0.26		0.60	100	115.00	NP	NP
		15.00			0.23		0.60	100	126.00	NP	NP
		15.00			0.20		1.00	100	132.00	NP	NP
		15.00			0.17		1.60	100	138.00	NP	NP
		20.00			0.26		0.60	100	111.00	NP	NP
		20.00			0.23		0.60	100	120.00	NP	NP
		20.00			0.20		1.00	100	128.00	NP	NP
		20.00			0.17		1.60	100	131.00	NP	NP
		Horia Constantinescu, Oana Gherman, Camelia Negrutiu, Sosa Pavel Ioan			MS		8.00	NP	NP	0.29	Superplastificante a base de policarboxilato

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°13: Resultados de ensayos de resistencia mecánica con aditivos de cadena larga (4)

Autor(es)	Aditivo mineral 1	Aditivo mineral 1 (%)	Aditivo mineral 2	Aditivo mineral 2 (%)	a/c	Aditivo químico	Porcentaje de aditivo (%)	Asentamiento (mm)	Resistencia a la compresión (MPa)	Resistencia a la flexión (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)		
									28 días	28 días	28 días		
Torres, A., Aguayo, F., Allena, S., & Ellis, M.	MS	25.00	NP	NP	0.20	PCE NB1	4.00	NP	155.00	NP	NP		
					0.15		5.00	NP	158.90	NP	NP		
					0.20	PCE NB2	4.00	NP	153.00	NP	NP		
					0.15		5.00	NP	155.00	NP	NP		
					0.20		4.00	NP	138.00	NP	NP		
					0.15		5.00	NP	141.00	NP	NP		
					0.00	PCE LP 1	0.00	0.36	2.00	NP	60.33	5.45	NP
					0.00		2.50	0.36	3.30	NP	65.73	6.22	NP
					0.00		5.00	0.36	4.00	NP	68.37	6.29	NP
					0.00		7.50	0.36	6.00	NP	70.35	6.45	NP
E. Sanchez, J. Bernal, N. León, A. Moragues	MS	2.50	NS	0.00	0.36	Superplastificante polímero policarboxilato Viscocrete 5720	2.30	NP	63.79	6.54	NP		
					0.36		2.50	NP	65.01	6.62	NP		
					0.36		2.70	NP	68.86	6.70	NP		
					0.36		3.60	NP	82.17	6.42	NP		
					0.36		4.80	NP	71.15	6.53	NP		
0.36	3.90	NP	69.26	6.39	NP								

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°14: Resultados de ensayos de resistencia mecánica con aditivos de cadena larga (5)

Autor(es)	Aditivo mineral 1	Aditivo mineral 1 (%)	Aditivo mineral 2	Aditivo mineral 2 (%)	a/c	Aditivo químico	Porcentaje de aditivo (%)	Asentamiento (mm)	Resistencia a la compresión (MPa)	Resistencia a la flexión (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)
									28 días	28 días	28 días
Li, L., Zheng, J., Zhu, J., & Kwan, A.	MS	0.00	NS	0.50	0.30	Superplastificante a base de policarboxilato	5.00	158	96.40	NP	NP
				1.00	0.30		5.40	130	99.00	NP	NP
				0.00	0.30		5.20	140	101.20	NP	NP
				0.50	0.30		5.58	122	104.30	NP	NP
				1.00	0.30		5.90	110	106.30	NP	NP
				0.50	0.35		2.60	160	73.60	NP	NP
				1.00	0.35		3.00	150	77.70	NP	NP
				0.00	0.35		2.75	128	82.20	NP	NP
				0.50	0.35		3.15	145	88.90	NP	NP
				1.00	0.35		3.35	129	91.00	NP	NP
				0.50	0.40		0.85	175	55.70	NP	NP
				1.00	0.40		1.18	169	57.20	NP	NP
				0.00	0.40		0.98	181	65.60	NP	NP
				0.50	0.40		1.35	188	66.60	NP	NP
				1.00	0.40		1.50	187	75.50	NP	NP
				0.50	0.45		0.50	120	42.10	NP	NP
				1.00	0.45		0.83	110	46.50	NP	NP

		5.00		0.00	0.45		0.64	115	48.00	NP	NP
		5.00		0.50	0.45		0.98	169	51.10	NP	NP
		5.00		1.00	0.45		1.15	166	61.80	NP	NP
		0.00			0.30			255	109.40	NP	NP
		2.00			0.30			275	118.70	NP	NP
		4.00			0.29			280	123.00	NP	NP
		6.00			0.28			290	128.10	NP	NP
		8.00			0.28			300	130.30	NP	NP
Ženíšek Michal, Vlach Tomáš and Laiblová Lenka	MS	10.00	NP	NP	0.27	Superplastificante a base de Policarboxilato	4.00	295	133.50	NP	NP
		12.00			0.27			285	132.40	NP	NP
		14.00			0.26			280	130.40	NP	NP
		16.00			0.26			270	133.10	NP	NP
		20.00			0.25			275	127.30	NP	NP
		25.00			0.24			260	129.90	NP	NP

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°15: Resultados de ensayos de resistencia mecánica con aditivos de cadena larga (6)

Autor(es)	Aditivo mineral 1	Aditivo mineral 1 (%)	Aditivo mineral 2	Aditivo mineral 2 (%)	a/c	Aditivo químico	Porcentaje de aditivo (%)	Asentamiento (mm)	Resistencia a la compresión (MPa)	Resistencia a la flexión (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)	
									28 días	28 días	28 días	
Khaloo, A., Mobino, M., & Hosseini, P.	NS 200	0.75			0.35		0.80	NP	53.00	NP	NP	
	NS 200	1.50			0.35		1.20	NP	62.50	NP	NP	
	NS 380	0.75			0.35		0.80	NP	54.50	NP	NP	
	NS 380	1.50			0.35		1.20	NP	61.00	NP	NP	
	NS 200	0.75			0.30		1.20	NP	65.00	NP	NP	
	NS 200	1.50		NP	NP	0.30	Superplastificante a base de policarboxilato	1.50	NP	NP	NP	
	NS 380	0.75			0.30		1.20	NP	64.50	NP	NP	
	NS 380	1.50			0.30		1.50	NP	63.00	NP	NP	
	NS 200	0.75			0.25		1.80	NP	87.00	NP	NP	
	NS 200	1.50			0.25		2.30	NP	85.00	NP	NP	
	NS 380	0.75			0.25		1.80	NP	83.50	NP	NP	
	NS 380	1.50			0.25		2.30	NP	85.00	NP	NP	
	Lei, D., Guo, L., Sun, W., Liu, J., Shu, X., & Guo, X.	MS 1	10.00			0.29	Superplastificante a base de policarboxilato de Sika Co,	1.00	NP	67.50	13.80	NP
		MS 2	10.00		NP	0.29		1.00	NP	60.00	11.50	NP

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°16: Resultados de ensayos de resistencia mecánica con aditivos de cadena larga (7)

Autor(es)	Aditivo mineral 1	Aditivo mineral 1 (%)	Aditivo mineral 2	Aditivo mineral 2 (%)	a/c	Aditivo químico	Porcentaje de aditivo (%)	Asentamiento (mm)	Resistencia a la compresión (MPa)	Resistencia a la flexión (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)
									28 días	28 días	28 días
Isfahani, F.,		1.50			0.65		0.50	30	47.80	NP	NP
Redaelli, E.,		1.00			0.55	Superplastificante a base de policarboxilato	0.70	40	53.80	NP	NP
Lollini, F., Li, W., & Bertolini, L.	NS		NP	NP			1.50	60	57.50	NP	NP
		1.50			0.50						
		2.00		0.00	0.40	SP3	1.00	NP	66.00	NP	NP
Shaikh, F., & Supit, S.	NS	2.00	Nanocalcio	0.00	0.40	SP4	1.00	NP	90.00	NP	NP
		0.00		2.00	0.40	SP3	1.00	NP	80.00	NP	NP
		0.00		2.00	0.40	SP4	1.00	NP	92.00	NP	NP
		5.00		0.00	0.32		0.5	200	63.40	9.11	3.92
Abu El-Hassan, M., Kamh, G., Fahmy, M., & Bashandy, A.	MS	10.00		0.00	0.32	Superplastificante a base de policarboxilato Viscocrete - 3425	0.50	165	66.50	9.81	4.22
		15.00	NS	0.00	0.32		0.50	135	64.70	9.74	3.89
		0.00		5.00	0.32		0.50	125	66.74	11.50	5.38
		0.00		10.00	0.32		0.50	90	65.23	8.77	5.09
		0.00		15.00	0.32		0.50	70	63.87	8.68	4.38

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°17: Resultados de ensayos de resistencia mecánica con aditivos de cadena larga (8)

Autor(es)	Aditivo mineral 1	Aditivo mineral 1 (%)	Aditivo mineral 2	Aditivo mineral 2 (%)	a/c	Aditivo químico	Porcentaje de aditivo (%)	Asentamiento (mm)	Resistencia a la compresión (MPa)	Resistencia a la flexión (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)
									28 días	28 días	28 días
Ženíšek, M., Vlach, T., & Laiblová, L.	MS	24.00	NP	NP	0.20	Superplastificante a base de Policarboxilato	6.00	235	127.90	19.70	NP
					0.20			245	131.50	19.90	NP
					0.20			250	127.70	19.60	NP
					0.20			260	126.20	19.90	NP
					0.20			245	127.90	19.00	NP
					0.20			210	131.60	19.90	NP
Campos, T., & Geyer, A.	MS	7.70	NS Incorporado en SP.	Inferior a 10%	0.45	Superplastificante de Policarboxilato Silicon NS AD 400	0.28	200 ± 30	70.92	NP	NP
		7.70			0.45	Superplastificante de Policarboxilato TEC-FLOW 50N	0.28	200 ± 30	65.27	NP	NP
Saridemir, M., Severcan, M., Çiflikli, M., & Acer, Ş.	MS	5.00	NP	NP	0.25	Superplastificante a base de Policarboxilato Glenium 51	3.00	140 ± 20	103.24	8.64	7.62
		10.00			0.25			141 ± 20	115.70	8.72	7.89
		15.00			0.25			142 ± 20	117.48	8.88	7.96
		20.00			0.25			143 ± 20	110.36	8.80	7.62
		25.00			0.25			144 ± 20	103.24	8.32	7.21

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°18: Resultados de ensayos de resistencia mecánica con aditivos con cadena larga (9)

Autor(es)	Aditivo mineral 1	Aditivo mineral 1 (%)	Aditivo mineral 2	Aditivo mineral 2 (%)	a/c	Aditivo químico	Porcentaje de aditivo (%)	Asentamiento (mm)	Resistencia a la compresión (MPa)	Resistencia a la flexión (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)	
									28 días	28 días	28 días	
Gesoglu, M., Güneyisi, E., Sabah Asaad, D., & Muhyaddin, G.	MS	0.00	NS	0.00	0.20	Superplastificante a base de policarboxilato	2.70	NP	115.00	NP	7.20	
		0.00		0.50	0.20		3.15	NP	117.00	NP	7.50	
		0.00		1.00	0.20		3.60	NP	121.00	NP	7.95	
		0.00		2.00	0.20		4.50	NP	123.00	NP	8.20	
		0.00		3.00	0.20		5.40	NP	119.00	NP	8.15	
		10.00		0.00	0.20		3.70	NP	120.50	NP	7.95	
		10.00		0.50	0.20		4.20	NP	123.50	NP	8.45	
		10.00		1.00	0.20		4.70	NP	130.00	NP	9.30	
		10.00		2.00	0.20		5.60	NP	132.00	NP	9.60	
Heredia, E.	MS	0.00	NP	NP	0.25	Superplastificante Viscocrete 20HE a base de policarboxilato	1.50	222.30	72.67	NP	NP	
		9.50					0.25	1.40	181.00	112.14	NP	NP

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°19: Resultados de ensayos de resistencia mecánica con aditivos de cadena larga (10)

Autor(es)	Aditivo mineral 1	Aditivo mineral 1 (%)	Aditivo mineral 2	Aditivo mineral 2 (%)	a/c	Aditivo químico	Porcentaje de aditivo (%)	Asentamiento (mm)	Resistencia a la compresión (MPa)	Resistencia a la flexión (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)
									28 días	28 días	28 días
		0.00		0.00	0.25		3.00	279	87.40	NP	NP
		10.00		0.00	0.25		3.00	266	120.80	NP	NP
		15.00		0.00	0.25		3.00	260	112.90	NP	NP
		20.00		0.00	0.25		3.00	260	113.40	NP	NP
Huincho, E.	MS	0.00	NS	1.00	0.25	Superplastificante Viscocrete 20HE	3.00	273	96.80	NP	NP
		0.00		1.50	0.25		3.00	266	95.20	NP	NP
		0.00		2.00	0.25		3.00	266	94.60	NP	NP
		5.00		0.50	0.25		3.00	273	106.50	NP	NP
		7.50		1.00	0.25		3.00	260	107.60	NP	NP
		10.00		1.50	0.25		3.00	260	108.90	NP	NP

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°20: Resultados de ensayos de resistencia mecánica con aditivos de cadena larga (11)

Autor(es)	Aditivo mineral 1	Aditivo mineral 1 (%)	Aditivo mineral 2	Aditivo mineral 2 (%)	a/c	Aditivo químico	Porcentaje de aditivo (%)	Asentamiento (mm)	Resistencia a la compresión (MPa)	Resistencia a la flexión (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)
									28 días	28 días	28 días
Sadrmtazi, A., Tajasosi, S., & Tahmouresi, B.	MS		NP	NP	0.20	Superplastificante a base de policarboxilato	1.20	NP	118.00	24.00	NP
					0.20		1.20	NP	114.00	22.50	NP
					0.20		1.20	NP	108.00	20.00	NP
					0.18		1.20	NP	125.00	24.00	NP
					0.22		1.20	NP	110.00	21.00	NP
					0.20		1.40	NP	118.00	23.00	NP
					0.20		1.00	NP	112.00	21.00	NP
					0.20		1.20	NP	125.00	24.00	NP
					0.20		1.20	NP	128.00	25.00	NP
					0.20		1.20	NP	126.00	24.00	NP
					0.18		1.20	NP	130.00	26.00	NP
					0.22		1.20	NP	122.00	23.00	NP
					0.20		1.40	NP	135.00	25.00	NP
					0.20		1.00	NP	130.00	24.50	NP
					0.20		1.20	NP	134.00	25.50	NP
					0.20		1.20	NP	132.00	25.00	NP
					0.20		1.20	NP	130.00	25.00	NP
0.18	1.20	NP	132.00	26.00	NP						

		15.00		0.22		1.20	NP	126.00	23.00	NP
		15.00		0.20		1.40	NP	128.00	25.50	NP
		15.00		0.20		1.00	NP	130.00	25.00	NP
		20.00	NP	NP	0.18	2.00	220.00	104.00	21.00	NP
		20.00	Nano-CaCO ₃	0.16	0.18	2.00	212.00	112.00	22.50	NP
		20.00	Nano-CaCO ₃	3.20	0.18	2.00	188.00	117.00	23.50	NP
		20.00	Nano-CaCO ₃	4.80	0.18	2.00	170.00	117.00	22.00	NP
Wu, Z., Shi, C., Khayat, K., & Wan, S.	MS	20.00	Nano-CaCO ₃	6.40	0.18	2.00	160.00	95.00	21.00	NP
		20.00	Nano-SiO ₂	0.50	0.18	2.00	210.00	107.00	24.00	NP
		20.00	Nano-SiO ₂	1.00	0.18	2.00	186.00	113.00	23.80	NP
		20.00	Nano-SiO ₂	1.50	0.18	2.00	178.00	111.00	22.00	NP
		20.00	Nano-SiO ₂	2.00	0.18	2.00	154.00	100.00	21.60	NP

Fuente: Elaboración propia

5.2. Interpretación de resultados

5.2.1 Hipótesis general

Al analizar los aditivos de cadena corta y cadena larga se mejora las propiedades mecánicas del concreto con microsílíce.

Para la hipótesis general se analizó mediante la recolección de resultados de los ensayos de distintos artículos científicos y tesis de investigación, según lo siguiente: para cadena corta en las tablas 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9, y para cadena larga en las tablas 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 y 20. Por lo tanto, las propiedades mecánicas analizadas en el estado endurecido son: resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y resistencia a la tracción a los 28 días de curado.

Los resultados para la resistencia a la compresión a los 28 días de curado para los aditivos de cadena corta se muestran en las tablas 21 y 23, y las figuras 6 y 8, donde utilizan relaciones a/c de 0.25 y 0.30, dosis de 8.0% y 10.0% de microsílíce y dosis de aditivo químico en 0.34%, 1.0%, 1.5%, 1.6%, 3.0% y 3.5%. Mientras que, los resultados para la resistencia a la compresión a los 28 días de curado para los aditivos de cadena larga se muestran en las tablas 22 y 24 y las figuras 7 y 9, donde utilizan relaciones a/c de 0.25, 0.29 y 0.30, dosis de microsílíce en 2.0%, 5.0%, 10.0%, 15.0% y 20.0% y dosis de aditivo químico en 1.0%, 2.7%, 3.0%, 3.5%, 4.0% y 5.20%. Además, se presentó un análisis comparativo entre aditivo de cadena corta y cadena larga que se muestra en la tabla 29 y las figuras 15 y 16, donde utilizan relaciones a/c de 0.15 y 0.20, dosis de microsílíce en 25.0% y dosis de aditivo de cadena corta y larga en 4.0% y 5.0%.

Para la resistencia a la flexión a los 28 días de curado para los aditivos de cadena corta se muestran en la tabla 25 y la figura 10, donde se utilizan relaciones a/c de 0.25, dosis de microsílíce en 0.0%, 2.5%, 5.0%, 7.5%, 10.0%, 12.5% y 15.0% y dosis de aditivo químico 1.5% y 3.0%. Mientras que, los resultados para la resistencia a la flexión a los 28 días de curado para los aditivos de cadena larga se muestran en la tabla 26 y la figura 11 con relación a/c de 0.25, dosis de

microsílice 0.0%, 2.5%, 5.0%, 7.5%, 10.0%, 12.5%, 15.0%, 20.0% y 25.0% y dosis de aditivo químico en 2.7%, 3.0%, 3.5% y 4.0%.

Finalmente, para la resistencia a la tracción a los 28 días de curado para los aditivos de cadena corta se muestran en la tabla 27 y la figura 12, con relación a/c de 0.25 y 0.29, dosis de microsíllice 0.0%, 2.5%, 5.0%, 7.5%, 10.0%, 12.5% y 15.0% y dosis de aditivo químico en 3.0%. Mientras que, los resultados para la resistencia a la tracción a los 28 días de curado para los aditivos de cadena larga se muestran en la tabla 28 y las figuras 13 y 14, con relación a/c de 0.20, 0.25 y 0.32, dosis de microsíllice 0.0%, 5.0% 10.0%, 15.0%, 20.0% y 25.0% y dosis de aditivo químico de 0.5%, 2.7%, 3.0%, 3.15%, 3.5%, 3.6%, 4.0%, 4.2%, 4.5%, 4.7%, 5.4%, 5.6% y 6.5%.

Tabla N°21: Resultados de resistencia a la compresión de aditivos de cadena corta con relación a/c de 0.25

Autor(es)	Aditivo mineral 1	Aditivo mineral 1 (%)	Aditivo mineral 2	Aditivo mineral 2 (%)	Relación a/c	Aditivo químico	Porcentaje de aditivo (%)	Resistencia a la compresión a los 28 días (MPa)
Vidya, B., Blessy Zion, G., & Rao, K.	Microsíllice	10.00	NP	NP	0.25	Superplastificante a base de Formaldehído de naftaleno sulfonado CONPLANST SP 430	1.50	93.33
Dr. K. Perumal, S. Senthilkumar, K. Sekar	Microsíllice	10.00	NP	NP	0.25	Superplastificante a base de Formaldehído de naftaleno sulfonado CONPLANST SP 430	3.00	110.66
Villanueva, F.	Microsíllice	10.00	Nanosíllice	2.00	0.25	Superplastificante polímero naftaleno SIKAMENT 290 N	1.00	94.19

Fuente: Elaboración propia

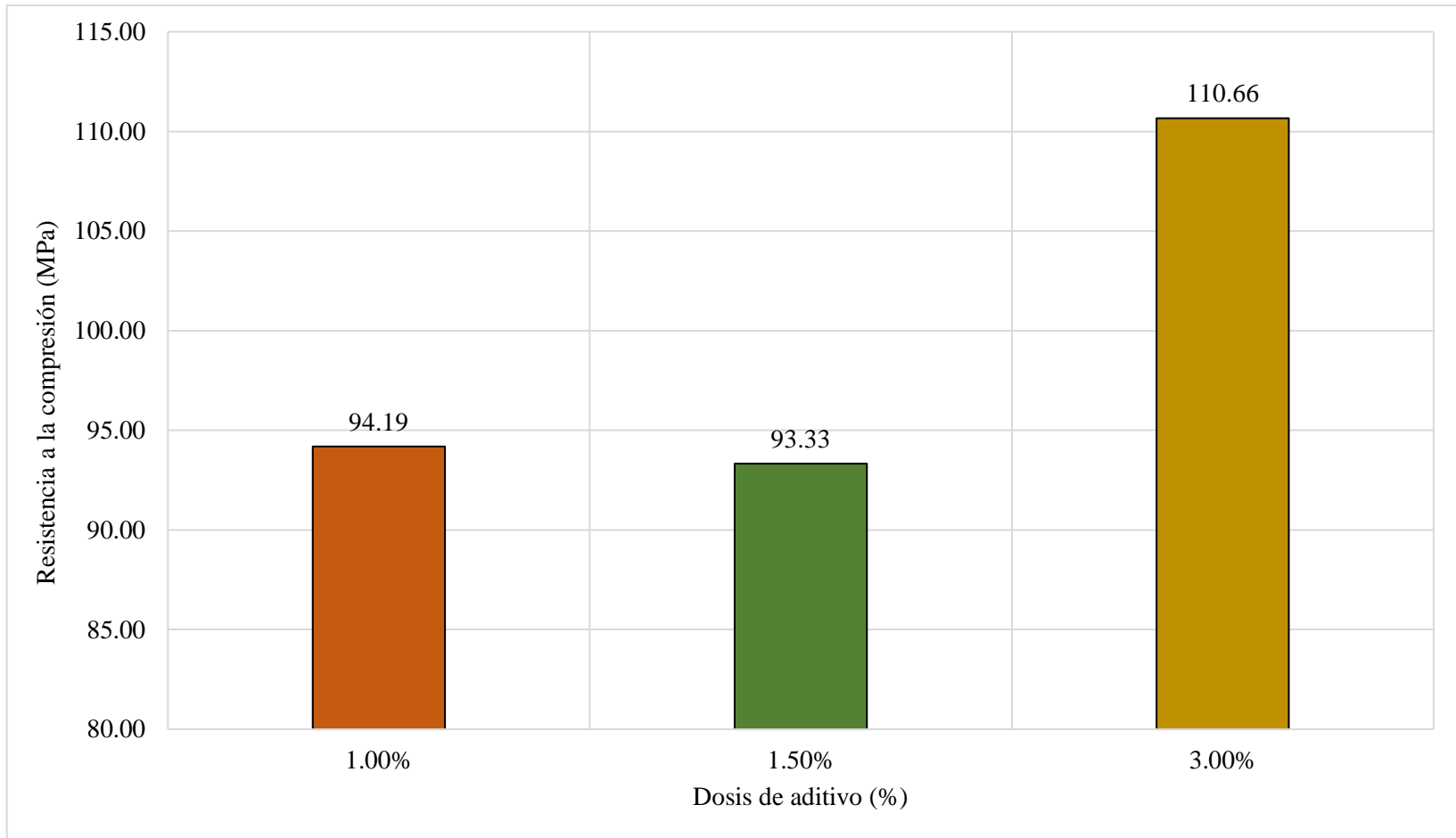


Figura N°6: Resistencia a la compresión a los 28 días vs dosis de aditivo de cadena corta con relación a/c de 0.25

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°22: Resultados de resistencia a la compresión de aditivos de cadena larga con relación a/c de 0.25

Autor(es)	Aditivo mineral 1	Aditivo mineral 1 (%)	Aditivo mineral 2	Aditivo mineral 2 (%)	Relación a/c	Aditivo químico	Porcentaje de aditivo(%)	Resistencia a la compresión a los 28 días (MPa)
Smarzewski, P.	Microsílice	20.00	NP	NP	0.25	Superplastificante a base de policarboxilato éter	2.70	109.00
Ženíšek Michal, Vlach Tomáš and Laiblová Lenka	Microsílice	20.00	NP	NP	0.25	Superplastificante a base de Policarboxilato	4.00	127.30
Saridemir, M., Severcan, M., Çiflikli, M., & Acer, Ş.	Microsílice	15.00	NP	NP	0.25	Superplastificante a base de Policarboxilato Glenium 51	3.50	117.48
Huincho, E.	Microsílice	15.00	NP	NP	0.25	Superplastificante Viscocrete 20HE	3.00	112.90

Fuente: Elaboración propia

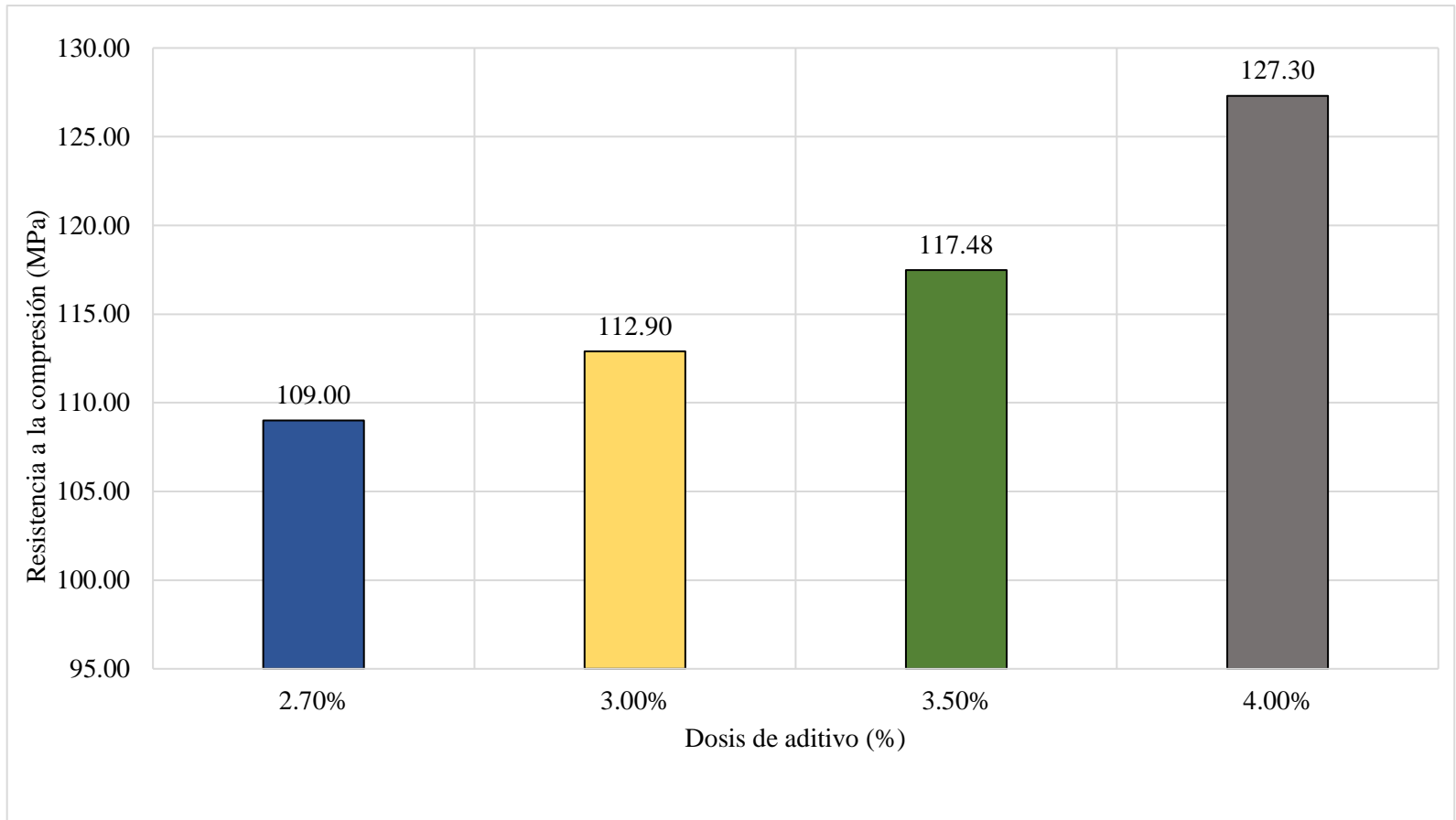


Figura N°7: Resistencia a la compresión a los 28 días vs dosis de aditivo de cadena larga con relación a/c de 0.25

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N°23: Resultados de resistencia a la compresión de aditivos de cadena corta con relación a/c de 0.30

Autor(es)	Aditivo mineral 1	Aditivo mineral 1 (%)	Aditivo mineral 2	Aditivo mineral 2 (%)	Relación a/c	Aditivo químico	Porcentaje de aditivo (%)	Resistencia a la compresión a los 28 días (MPa)
Perumal, D., Senthilkumar, S., & Sekar, K.	Microsílice	10.00	NP	NP	0.30	Superplastificante a base de Formaldehído de naftaleno sulfonado CONPLANST SP 430	3.00	90.22
Kostrzanowska-Siedlarz, A., & Golaszewski, J.	Condensado de Microsílice	10.00	NP	NP	0.30	Superplastificante a base de poliéter	3.50	105.30
Garcia, L. G.	Microsílice	8.00	NP	NP	0.30	Superplastificante Sikacem	1.60	81.58
Fernandez, C., & Ramos, H.	Microsílice	10.00	NP	NP	0.30	Superplastificante mezcla de derivados poliméricos en base a lignina Viscoflow 4000	0.34	70.40

Fuente: Elaboración propia

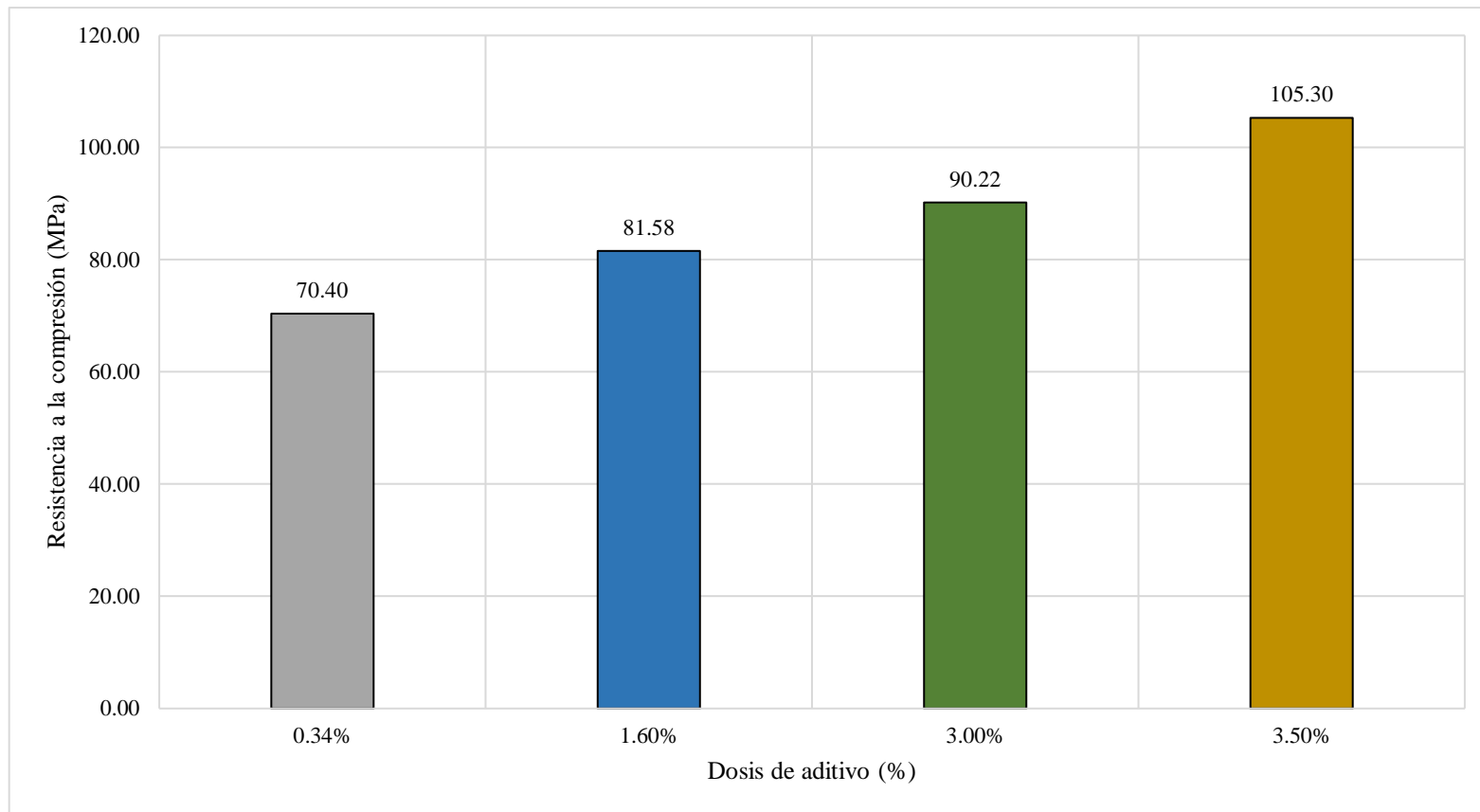


Figura N°8: Resistencia a la compresión a los 28 días vs dosis de aditivo de cadena corta con relación a/c de 0.30

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°24: Resultados de resistencia a la compresión de aditivos de cadena larga con relación a/c de 0.30

Autor(es)	Aditivo mineral 1	Aditivo mineral 1 (%)	Aditivo mineral 2	Aditivo mineral 2 (%)	Relación a/c	Aditivo químico	Porcentaje de aditivo (%)	Resistencia a la compresión a los 28 días (MPa)
Ženíšek Michal, Vlach Tomáš and Laiblová Lenka	Microsílice	2.00	NP	NP	0.30	Superplastificante a base de Policarboxilato	4.00	118.70
Li, L., Zheng, J., Zhu, J., & Kwan, A.	Microsílice	5.00	NP	NP	0.30	Superplastificante a base de policarboxilato	5.20	101.20
Lei, D., Guo, L., Sun, W., Liu, J., Shu, X., & Guo, X.	Microsílice	10.00	NP	NP	0.29	Superplastificante a base de policarboxilato de Sika Co, dosis en 1%	1.00	67.50

Fuente: Elaboración Propia

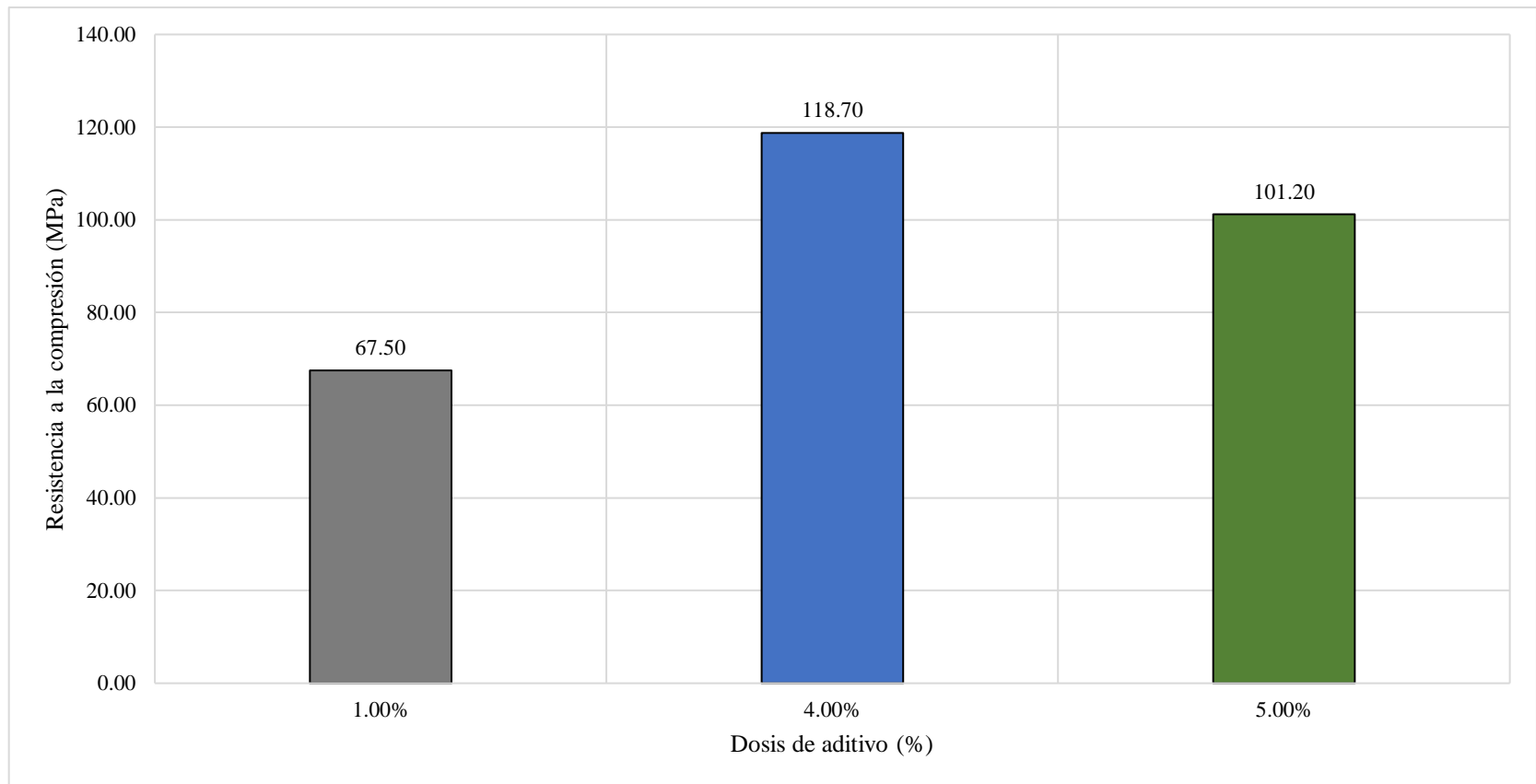


Figura N°9: Resistencia a la compresión a los 28 días vs dosis de aditivo de cadena larga con relación a/c de 0.30

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N°25: Resultados de resistencia a la flexión con aditivos de cadena corta

Autor(es)	Aditivo mineral 1	Aditivo mineral 1 (%)	Aditivo mineral 2	Aditivo mineral 2 (%)	Relación a/c	Aditivo químico	Porcentaje de aditivo (%)	Resistencia a la flexión a los 28 días (MPa)	
Perumal, D., Senthilkumar, S., & Sekar, K.	Microsilice	0.00			0.29	Superplastificante a base de Formaldehído de naftaleno sulfonado CONPLANST SP 430	3.00	7.40	
		2.50						7.70	
		5.00						8.20	
		7.50						8.80	
		10.00						9.50	
			12.50	NP	NP			9.10	
			15.00					8.90	
			0.00					8.60	
			2.50					9.00	
			5.00					9.40	
Cruz, S.	Microsilice	7.50			0.25			9.60	
		10.00						10.40	
		12.50						9.80	
		15.00						9.40	
			5.00			0.25	Superplastificante	1.50	6.07
			7.50	NP	NP	0.25	polímero de	1.50	6.63
			10.00			0.25	solución acuosa	1.50	7.15
							Viscocrete 3330		

Fuente: Elaboración Propia

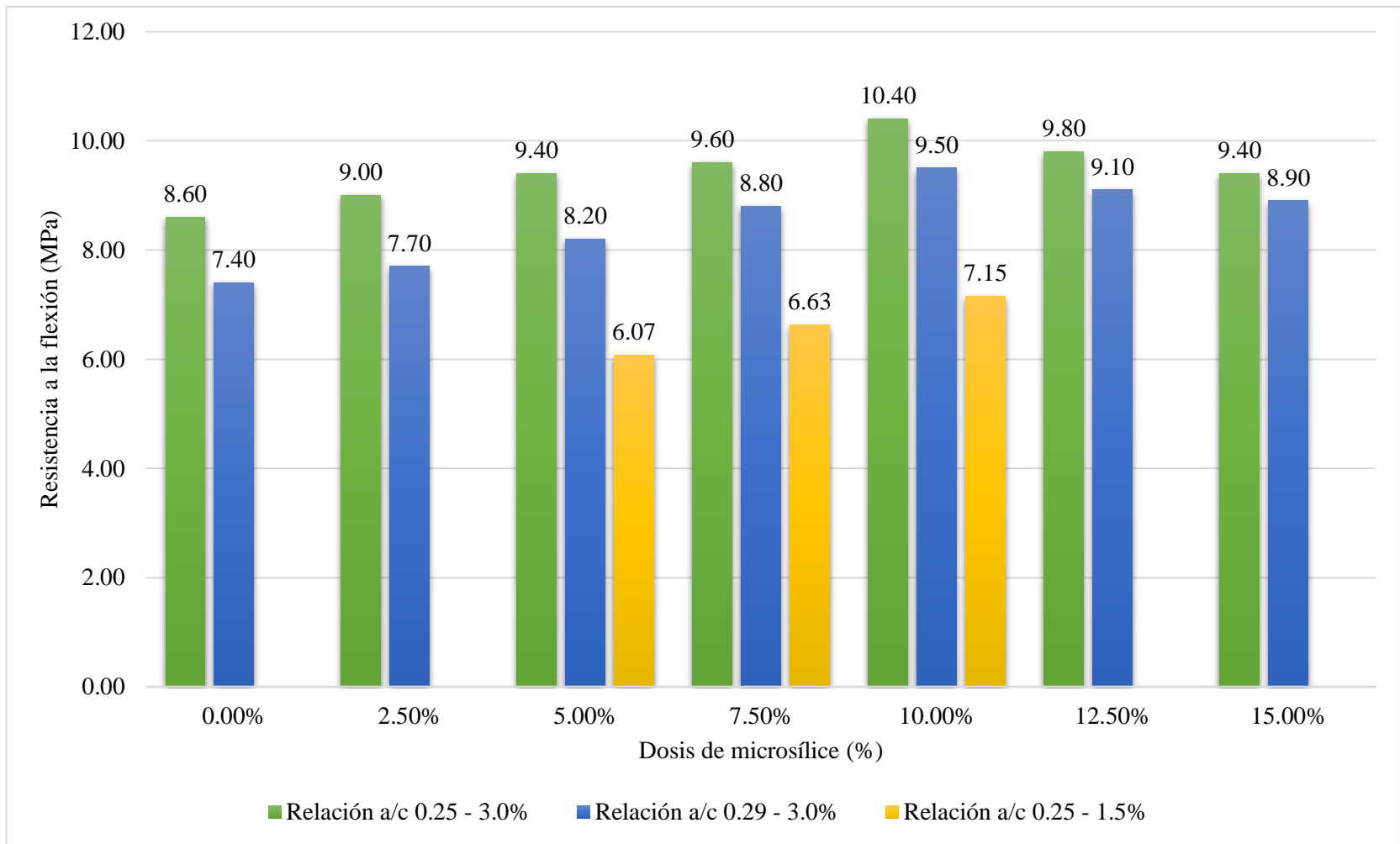


Figura N° 10: Resistencia a la flexión a los 28 días de curado vs dosis de microsílíce a diferentes a/c con aditivos de cadena corta

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N°26: Resultados de resistencia a la flexión con aditivos de cadena larga

Autor(es)	Aditivo mineral 1	Aditivo mineral 1 (%)	Aditivo mineral 2	Aditivo mineral 2 (%)	Relación a/c	Aditivo químico	Porcentaje de aditivo (%)	Resistencia a la flexión a los 28 días (MPa)
		0.00					2.70	5.60
Smarzewski, P.	Microsílice	5.00			0.25	Superplastificante	2.70	6.50
		10.00				a base de	2.70	7.00
		15.00				policarboxilato	2.70	6.75
		20.00				éter	2.70	6.40
		25.00					2.70	6.00
Saridemir, M., Severcan, M., Çiflikli, M., & Acer, Ş.	Microsílice	5.00	NP	NP	0.25		4.00	8.64
		10.00				Superplastificante	3.50	8.72
		15.00				a base de	3.50	8.88
		20.00				Policarboxilato	3.00	8.80
		25.00				Glenium 51	3.00	8.32

Fuente: Elaboración Propia

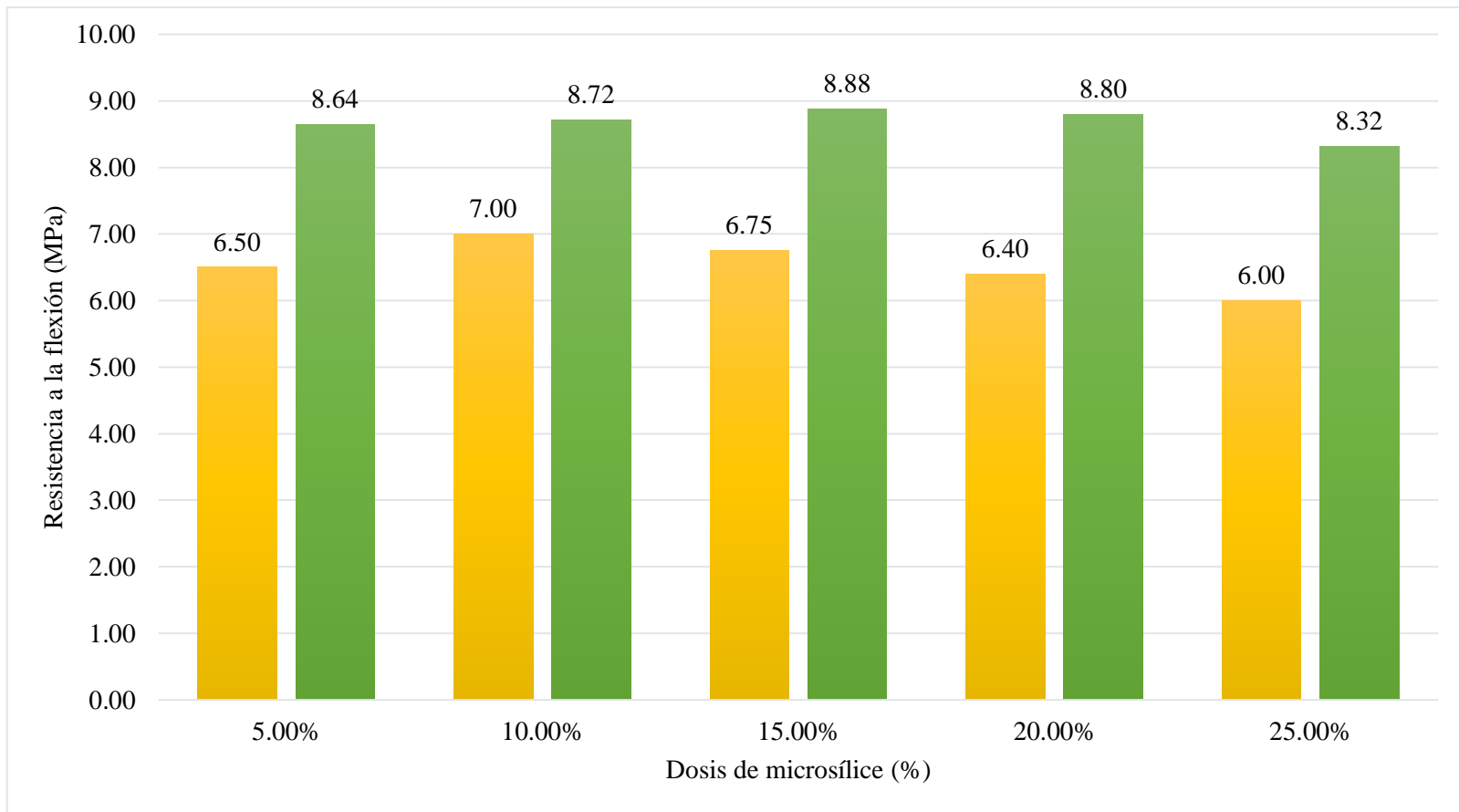


Figura N°11: Resistencia a la flexión a los 28 días vs dosis de microsílíce con aditivo de cadena larga y relación a/c 0.25

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N°27: Resultados de resistencia a la tracción con aditivos de cadena corta

Autor(es)	Aditivo mineral 1	Aditivo mineral 1 (%)	Aditivo mineral 2	Aditivo mineral 2 (%)	Relación a/c	Aditivo químico	Porcentaje de aditivo (%)	Resistencia a la tracción a los 28 días (MPa)
		0.00						4.95
		2.50						5.16
		5.00						5.31
	Microsílice	7.50			0.29			5.66
		10.00				Superplastificante a base de		5.94
Perumal, D., Senthilkumar, S., & Sekar, K.		12.50				Formaldehído de naftaleno sulfonado	3.00	5.38
		15.00	NP	NP				5.31
		0.00						5.81
		2.50				CONPLANST		6.41
		5.00				SP 430		6.89
	Microsílice	7.50			0.25			7.16
		10.00						7.53
		12.50						7.41
		15.00						7.31

Fuente: Elaboración Propia

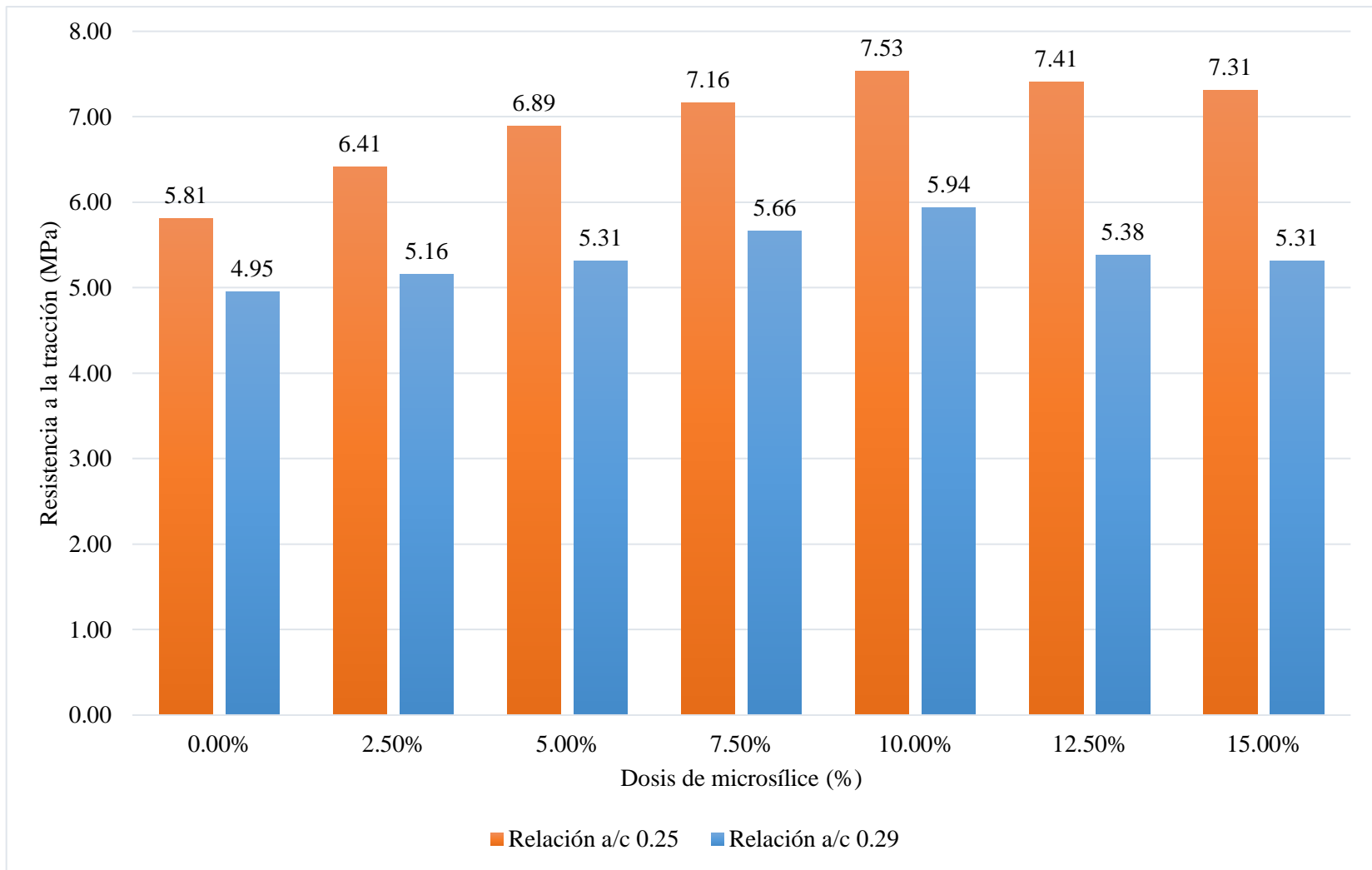


Figura N°12: Resistencia a la tracción a los 28 días vs dosis de microsílíce con aditivo de cadena corta al 3.0%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N°28: Resultados de resistencia a la tracción con aditivos de cadena larga

Autor(es)	Aditivo mineral 1	Aditivo mineral 1 (%)	Aditivo mineral 2	Aditivo mineral 2 (%)	Relación a/c	Aditivo químico	Porcentaje de aditivo (%)	Resistencia a la tracción (MPa)		
								7 días	28 días	56 días
		0.00		0.00	0.20		2.70	7.00	7.20	NP
Gesoglu,		0.00		0.50	0.20		3.15	7.20	7.50	NP
M.,		0.00		1.00	0.20		3.60	7.50	7.95	NP
Güneyisi,		0.00		2.00	0.20		4.50	7.55	8.20	NP
E., Sabah	MS	0.00	NS	3.00	0.20	Superplastificante a base de policarboxilato	5.40	7.40	8.15	NP
Asaad, D., &		10.00		0.00	0.20		3.70	7.40	7.95	NP
Muhyaddin,		10.00		0.50	0.20		4.20	7.60	8.45	NP
G.		10.00		1.00	0.20		4.70	7.85	9.30	NP
		10.00		2.00	0.20		5.60	8.30	9.60	NP
		10.00		3.00	0.20		6.50	7.70	8.95	NP
Saridemir,		5.00			0.25		4.00	NP	7.62	NP
M.,		10.00			0.25	Superplastificante a base de Policarboxilato	3.50	NP	7.89	NP
Severcan,	MS	15.00	NP	NP	0.25		3.50	NP	7.96	NP
M., Çiflikli,		20.00			0.25	3.00	NP	7.62	NP	
M., & Acer,		25.00			0.25	Glenium 51	3.00	NP	7.21	NP
Ş.										
Abu El-		5.00		0.00	0.32		0.50	3.3	3.92	4.53
Hassan, M.,		10.00		0.00	0.32	Superplastificante a base de policarboxilato	0.50	3.83	4.22	4.66
Kamh, G.,		15.00		0.00	0.32		0.50	3.89	3.89	4.11
Fahmy, M.,	MS	0.00	NS	5.00	0.32	Viscocrete - 3425	0.50	5.01	5.38	5.38
&		0.00		10.00	0.32		0.50	4.88	5.09	5.28
Bashandy,		0.00		15.00	0.32		0.50	4.01	4.38	4.48
A.										

Fuente: Elaboración Propia

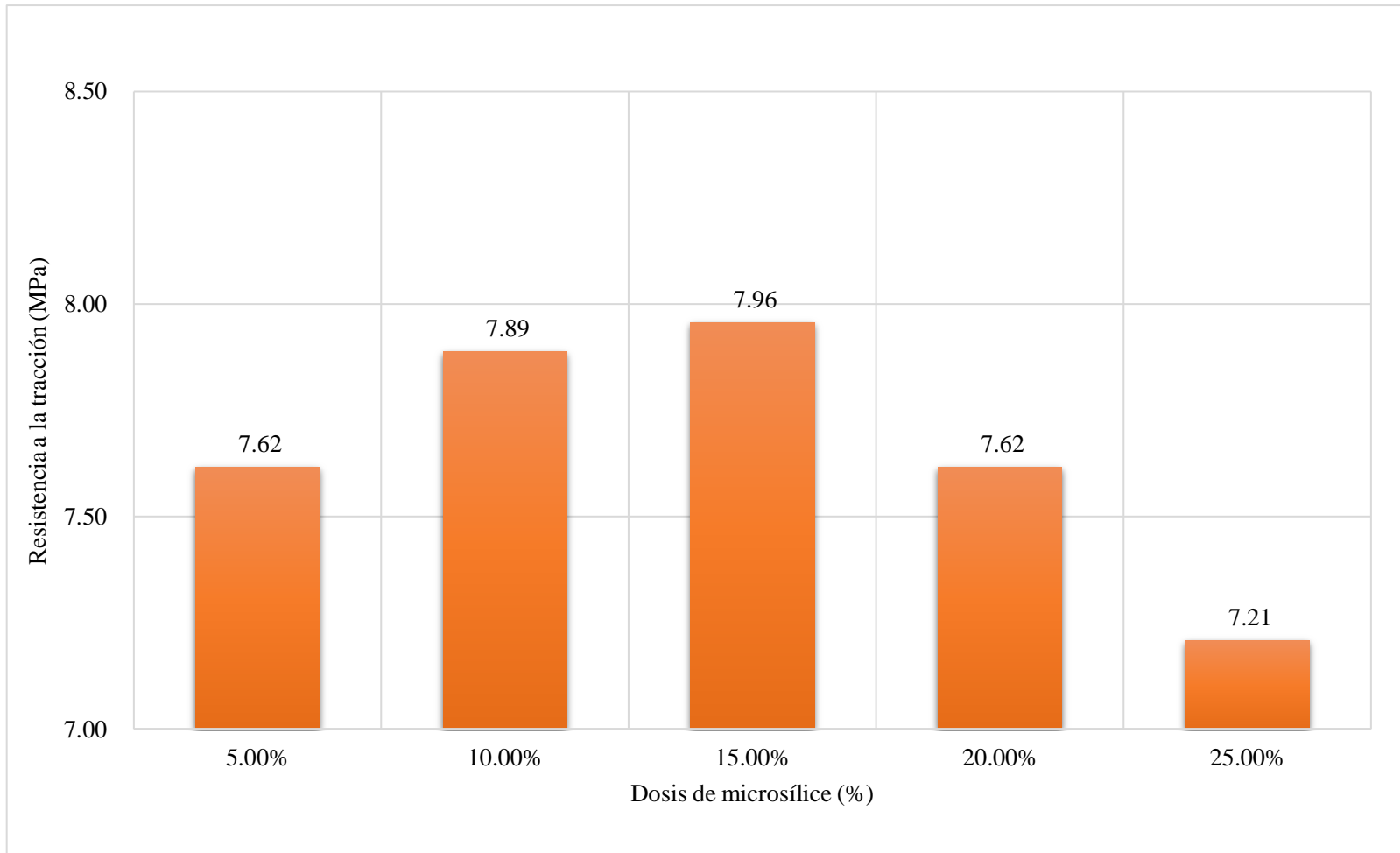


Figura N°13: Resistencia a la tracción a los 28 días vs dosis de microsílíce con aditivos de cadena larga

Fuente: Elaboración Propia

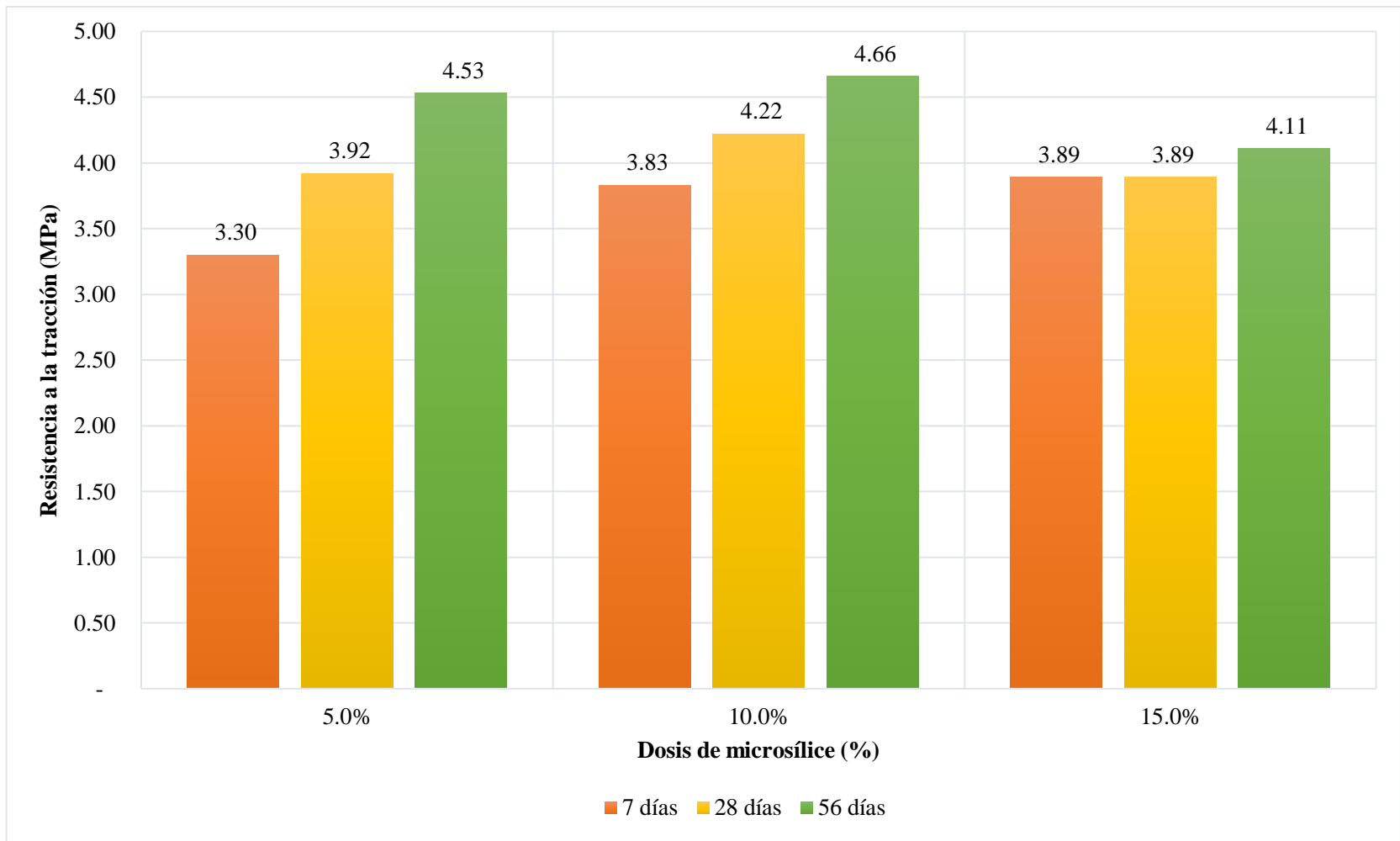


Figura N° 14: Resistencia a la tracción a los 7, 28 y 56 días de curado con 0.5% de aditivo de cadena larga

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N°29: Resultados de resistencia a la compresión según tipo de aditivo químico

Autor(es)	Tipo de aditivo	Aditivo mineral	Aditivo mineral I (%)	a/c	Aditivo químico	Porcentaje de aditivo (%)	Resistencia a la compresión (MPa)		
							7 días	14 días	28 días
Torres, A., Aguayo, F., Allena, S., & Ellis, M.	Cadena corta	Microsílice	25.00	0.20	Superplastificante de polinaftaleno sulfonato (PNS)	4.00	98.00	110.00	142.00
				0.15		5.00	100.00	116.00	145.00
				0.20		4.00	108.00	130.00	155.00
				0.15		5.00	116.00	133.00	158.90
	Cadena larga	Microsílice	25.00	0.20	Superplastificantes basado en policarboxilatos éter (PCE) de fabricante líder (PCE NB2)	4.00	104.00	127.00	153.00
				0.15		5.00	108.00	128.00	155.00
				0.20		4.00	94.00	108.00	138.00
				0.15		5.00	95.00	110.00	141.00

Nota: Elaboración Propia

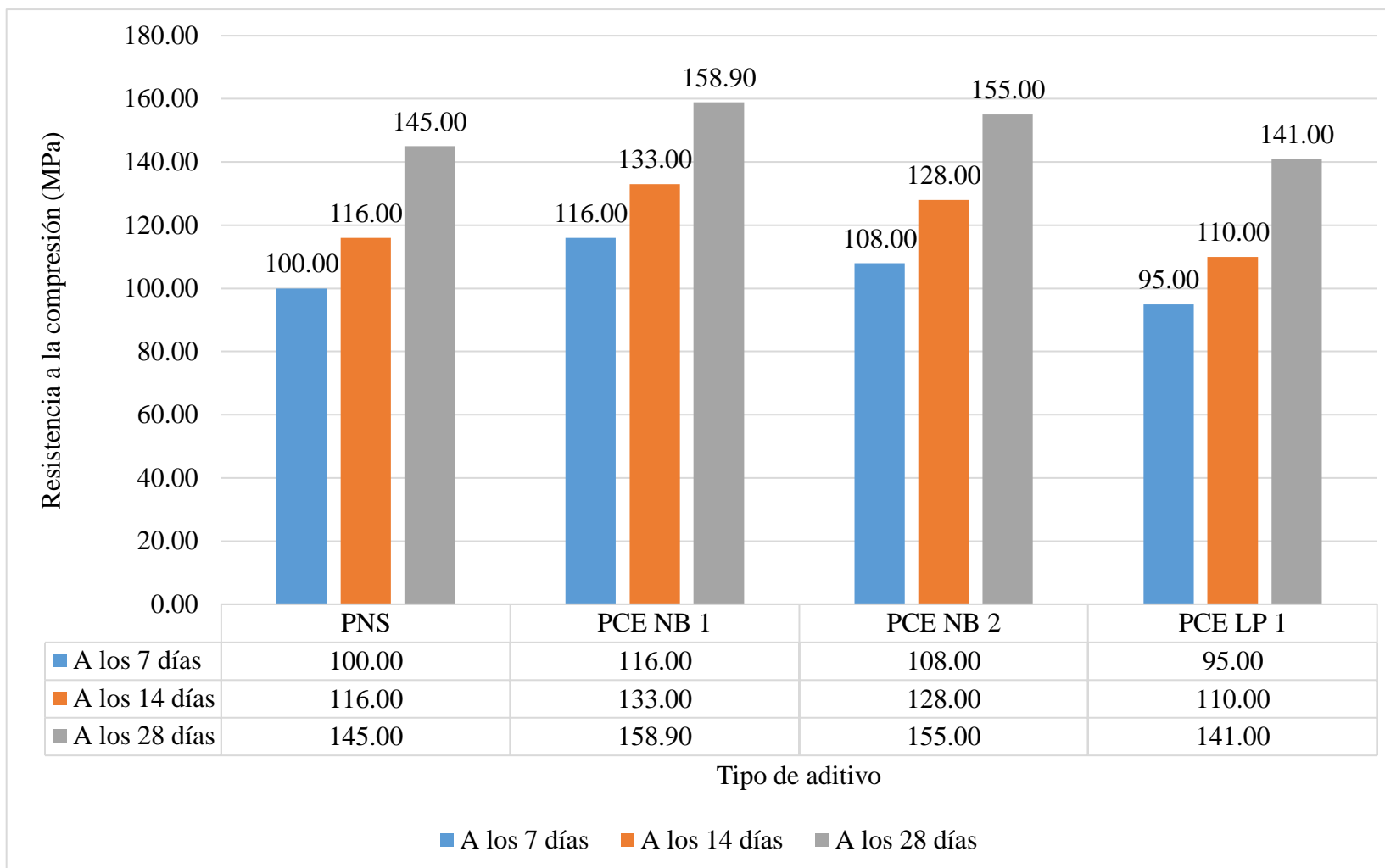


Figura N°15: Resistencia a la compresión según tipo de aditivo químico al 5% a relación a/c = 0.15

Fuente: Elaboración Propia

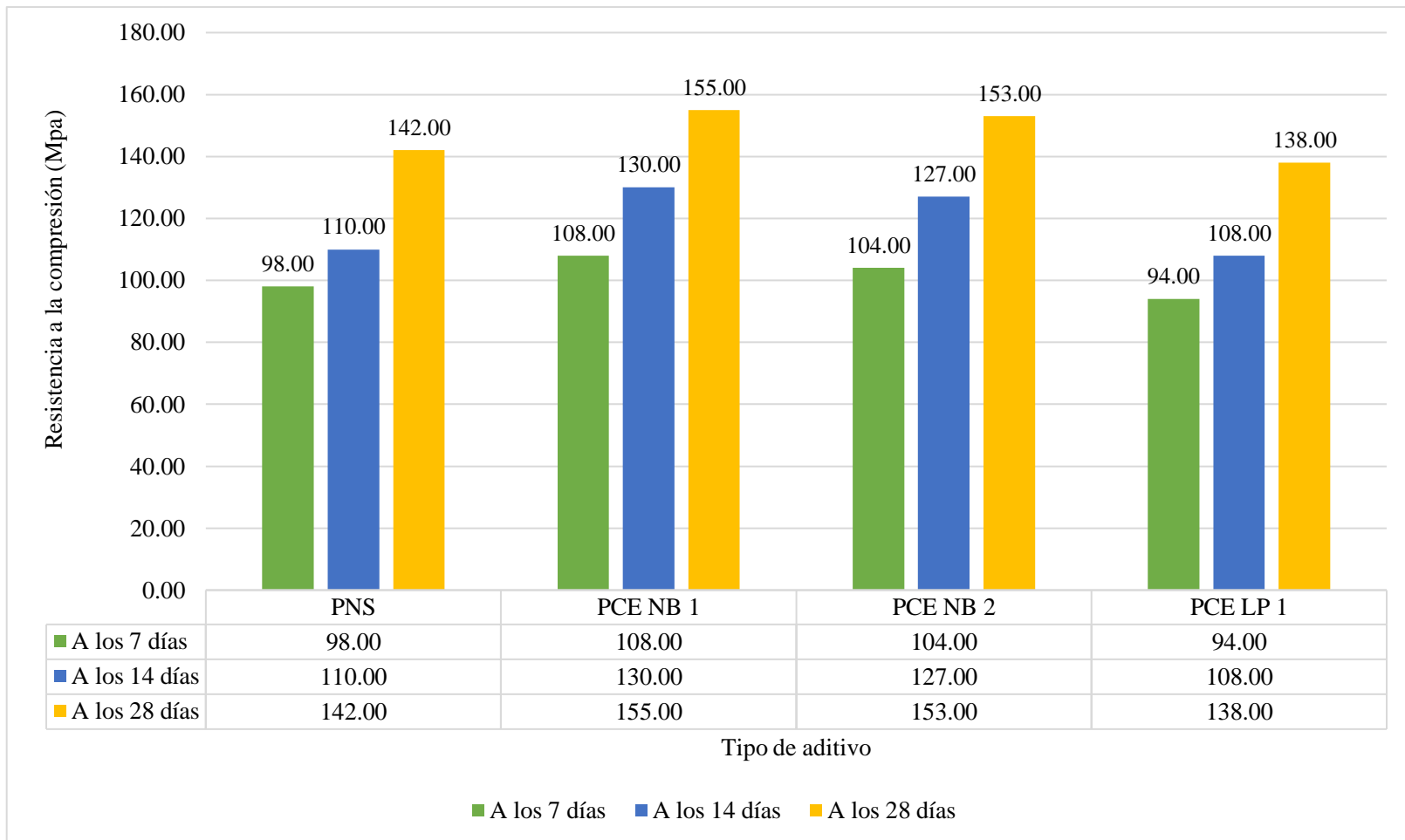


Figura N°16: Resistencia a la compresión según tipo de aditivo químico al 4% a relación a/c = 0.20

Fuente: Elaboración Propia

Para la interpretación de resultados de la hipótesis general se analizó y comparó los aditivos de cadena corta y cadena larga para la resistencia a la compresión a los 28 días de curado para los mayores resultados, bajo las relaciones de aguah-cemento de 0.25 y 0.30 en diferentes dosis de microsíllice y aditivo químico (valores óptimos), según lo siguiente:

- De acuerdo a los resultados con relación a/c de 0.25, para los aditivos de cadena corta según la tabla 21 y figura 6, Villanueva, F. con 10.0% de microsíllice más 2.0% de nanosíllice y 1.0% de aditivo químico alcanza en su ensayo de compresión de 94.19 MPa. Vidya, Blessy Zion & Rao con 10.0% de microsíllice y 1.5% de químico alcanza una resistencia a la compresión de 93.33 MPa y Perumal, Senthilkumar & Sekar con 10.0% de microsíllice y 3.0% de aditivo químico, alcanza una resistencia a la compresión de 110.66 MPa. Por otro lado, según la tabla 22 y figura 7 para los aditivos de cadena larga Smarzewski con un 20.0% de microsíllice y 2.7% de aditivo químico alcanza una resistencia a la compresión de 109 MPa, Huincho con 15.0% de microsíllice y 3.0% de aditivo químico alcanza una resistencia a la compresión de 112.90 MPa, Saridemir, Severcan, Çiflikli & Hacer con un 15.0% de microsíllice y 3.5% de aditivo químico alcanza una resistencia a la compresión de 117.48 MPa y Ženíšek, Vlach and Laiblová con un 20.0% de microsíllice y 4.0% de aditivo químico, alcanzó una resistencia a la compresión de 127.30 MPa.
- De acuerdo a los resultados con relación a/c de 0.30, para los aditivos de cadena corta, según la tabla 23 y figura 8, Fernandez & Ramos con 10.0% de microsíllice y 0.34% de aditivo químico alcanza una resistencia a la compresión de 70.4 MPa. Garcia con 8.0% de microsíllice y 1.6% de aditivo químico alcanza una resistencia a la compresión de 81.53 MPa y Perumal, Senthilkumar & Sekar con 10.0% de microsíllice y 3.0% de aditivo químico alcanza una resistencia a la compresión de 90.22 MPa y Kostrzanowska-Siedlarz & Golaszewski. con 10.0% de microsíllice y 3.5% de aditivo químico alcanza una resistencia a la compresión de 105.3 MPa. Sin embargo, para los aditivos de cadena larga según la tabla 24 y figura 9, Lei, Guo, Sun, Liu, Shu

& Guo con 10.0% de microsíllice y 1.0% de aditivo químico alcanza una resistencia a la compresión de 67.5 MPa, Ženíšek, Vlach and Laiblová con 2.0% de microsíllice y 4.0% de aditivo químico alcanza una resistencia a la compresión de 118.70 MPa y Li, Zheng, Zhu & Kwan con 5.0% de microsíllice más 1.0% de nanosíllice y 5.9% de aditivo químico, alcanza una resistencia a la compresión de 106.3 MPa.

Para la resistencia a la flexión a los 28 días de curado, a diferentes dosis de microsíllice y aditivo químico, se observa lo siguiente:

- De acuerdo a los resultados con relación a/c de 0.25, para los aditivos de cadena corta, según la tabla 25 y figura 10 Perumal, Senthilkumar & Sekar con 3.0% de aditivo químico, con diferentes dosis de microsíllice en 0%, 2.5%, 5.0%, 7.5%, 10%, 12.5% y 15.0% la resistencia a la flexión alcanza valores de 8.60 MPa, 9.00 MPa, 9.40 MPa, 9.60 MPa, 10.40 MPa, 9.80 MPa y 9.40 MPa pero al aumentar la relación a/c a 0.29 alcanza valores de 7.40 MPa, 7.70 MPa, 8.20 MPa, 8.80 MPa, 9.50 MPa, 9.10 MPa y 8.90 MPa por lo que los valores disminuyen entre el 5% y 15% para una misma mezcla. Mientras que, para los aditivos de cadena larga según la tabla 26 y figura 11, para las mismas dosis de microsíllice en 5%, 10%, 15%, 20% y 25% Smarzewski con una dosis de 2.7% de aditivo químico alcanza valores de 6.50 MPa, 7.00 MPa, 6.75 MPa, 6.40 MPa y 6.00 MPa, mientras que Saridemir, Severcan, Çiflikli & Hacer con dosis de aditivo químico de 4.0%, 3.5%, 3.5% y 3.0% alcanza valores de 8.64 MPa, 8.72 MPa, 8.88 MPa, 8.80 MPa y 8.32 MPa observando que para mayores dosis de aditivo químico se obtiene mayores valores de resistencia a la flexión.

Por consiguiente, la resistencia a la tracción a los 28 días de curado, a diferentes dosis de microsíllice y aditivo químico, se observa lo siguiente:

- Para los aditivos de cadena corta, según la tabla 27 y figura 12 Perumal, Senthilkumar, & Sekar con 3.0% de aditivo químico, con diferentes dosis de microsíllice en 0%, 2.5%, 5.0%, 7.5%, 10%, 12.5% y 15.0% la resistencia a la tracción alcanza valores de 5.81 MPa, 6.41 MPa, 6.89 MPa, 7.16 MPa, 7.53

MPa, 7.41 MPa y 7.31 MPa, pero al aumentar la relación a/c a 0.29 alcanza valores de 4.95 MPa, 5.16, 5.31 MPa, 5.66 MPa, 5.94 MPa, 5.38 MPa y 5.31 MPa por lo que los valores disminuyen entre el 15% y 28% para una misma mezcla. Por otro lado, para los aditivos de cadena larga según la tabla 28 y figura 13 Saridemir, Severcan, Çiflikli & Hacer con relación a/c de 0.25 y dosis de aditivo químico en 4.0%, 3.5%, 3.5% y 3.0% valores de microsílíce de 5%, 10%, 15%, 20% y 25% alcanza valores de 7.62 MPa, 7.89 MPa, 7.96 MPa, 7.62 MPa y 7.21 MPa, no obstante Abu El-Hassan, Kamh, Fahmy & Bashandy con relación a/c 0.32, microsílíce en 5.0%, 10.0% y 15.0% y dosis de aditivo químico en 0.5% alcanza valores de 3.92 MPa, 4.22 MPa y 3.89 MPa.

Finalmente se presenta un comparativo para un mismo diseño pero aditivos de diferentes composiciones químicas, los resultados de resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días de curado para las relaciones de a/c de 0.15 y 0.20, siendo los aditivos químicos los siguientes: uno de cadena corta a base de naftaleno (PNS) y tres de cadena larga a base de policarboxilatos (PCE NB1, PCE NB2 y PCE LP 1) en donde , según la tabla 29, figuras 15 y 16 se analiza que el aditivo de cadena larga PCE NB2 para la relación a/c de 0.15 alcanza los mayores valores de resistencia a la compresión siendo éstas: 108 MPa, 128 MPa y 155 MPa, mientras que para la relación a/c 0.20 alcanza valores de 104 MPa, 127 MPa y 153 MPa a los 7, 14 y 28 días de curado.

5.2.2 Hipótesis específicas

- Primera hipótesis específica: Al analizar la relación agua/cementante en el diseño con aditivos de cadena corta se mejoran la resistencia a la compresión del concreto con microsílíce.

Para esta hipótesis específica se analizó mediante la recolección de resultados de los ensayos de distintos artículos científicos y tesis de investigación de acuerdo con las tablas 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9.

Los resultados de resistencia a la compresión se analizaron para la relación a/c de 0.15, 0.20, 0.25, 0.29, 0.30, 0.34, 0.35, 0.38, 0.40 y 0.45 y la dosis óptima de aditivo de cadena corta en 1.0%, 1.5%, 1.6%, 3.0%, 3.5%, 3.6%, 4.0% y 5.0% como se muestran en la tabla 30 y la figura 17, mientras que en la figura 18 se establece los resultados de resistencia al a compresión según la relación a/c y la dosis de microsílíce en 5.0%, 6.56%, 8.0%, 10.0% y 25.0%.

Tabla N°30: Resultados de resistencia a la compresión a los 28 días con aditivos de cadena corta

Autor(es)	Microsilice (%)	Relación a/c	SP (%)	Resistencia a la compresión a los 28 días (MPa)
Torres, A., Aguayo, F., Allena, S., & Ellis, M.	25.00	0.15	5.00	145.00
Torres, A., Aguayo, F., Allena, S., & Ellis, M.	25.00	0.20	4.00	142.00
Perumal, D., Senthilkumar, S., & Sekar, K.	10.00	0.25	3.00	110.66
Villanueva, F.	10.00	0.25	1.00	94.19
Perumal, D., Senthilkumar, S., & Sekar, K.	10.00	0.29	3.00	90.22
Kostrzanowska-Siedlarz, A., & Golaszewski, J.	10.00	0.30	3.50	105.30
Garcia, L. G.	8.00	0.30	1.60	81.58
Kostrzanowska-Siedlarz, A., & Golaszewski, J.	5.00	0.34	3.50	95.20
Garcia, L. G.	8.00	0.35	1.60	82.39
Kostrzanowska-Siedlarz, A., & Golaszewski, J.	5.00	0.38	3.00	90.60
Garcia, L. G.	8.00	0.40	1.60	76.92
Motahari, S., Ramezianpour, A., Ebadi, T., Isapour, S., & Karakouzian, M.	6.56	0.45	1.50	58.70

Fuente: Elaboración Propia

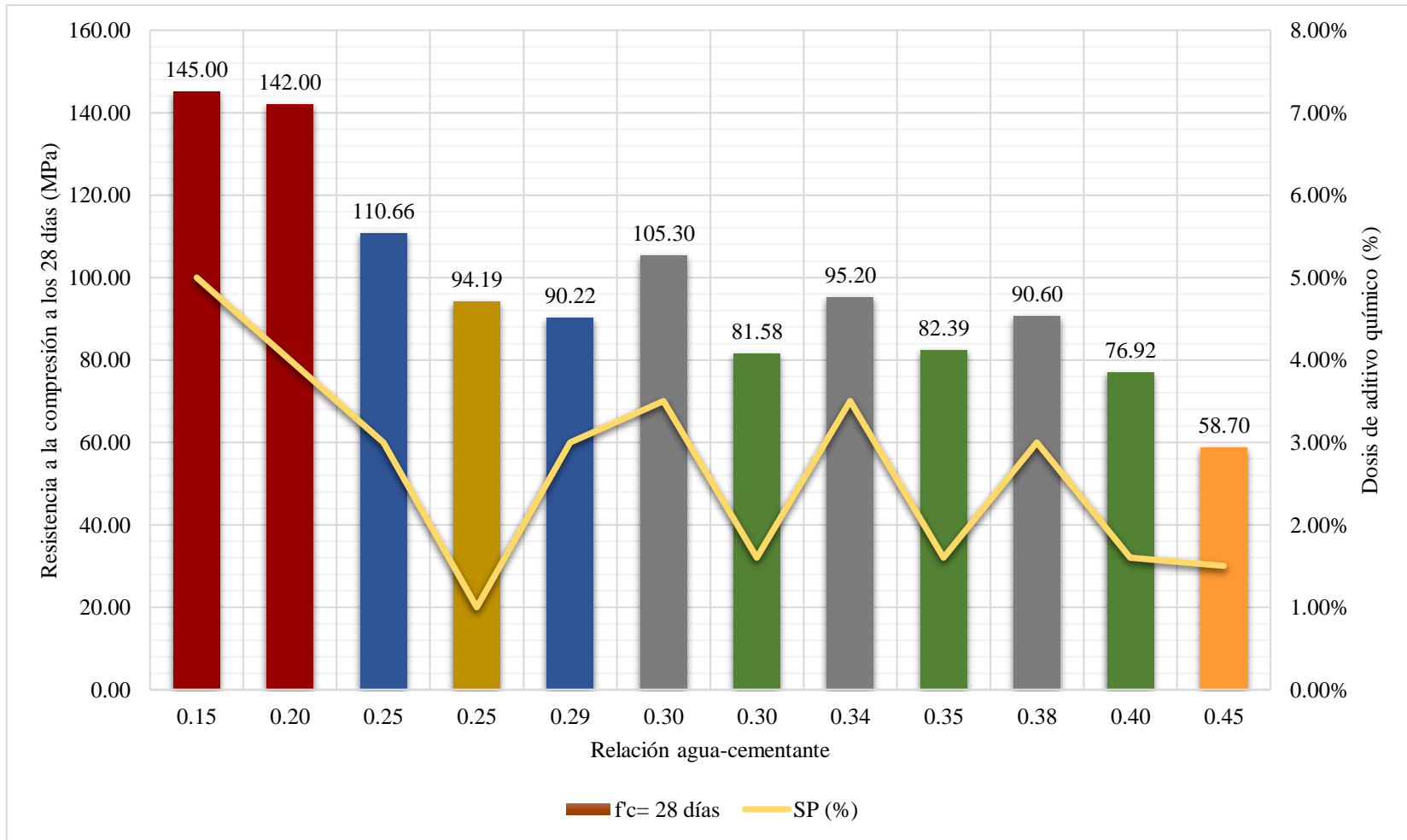


Figura N° 17: Resistencia a la compresión vs relación a/c con aditivos de cadena corta

Fuente: Elaboración propia

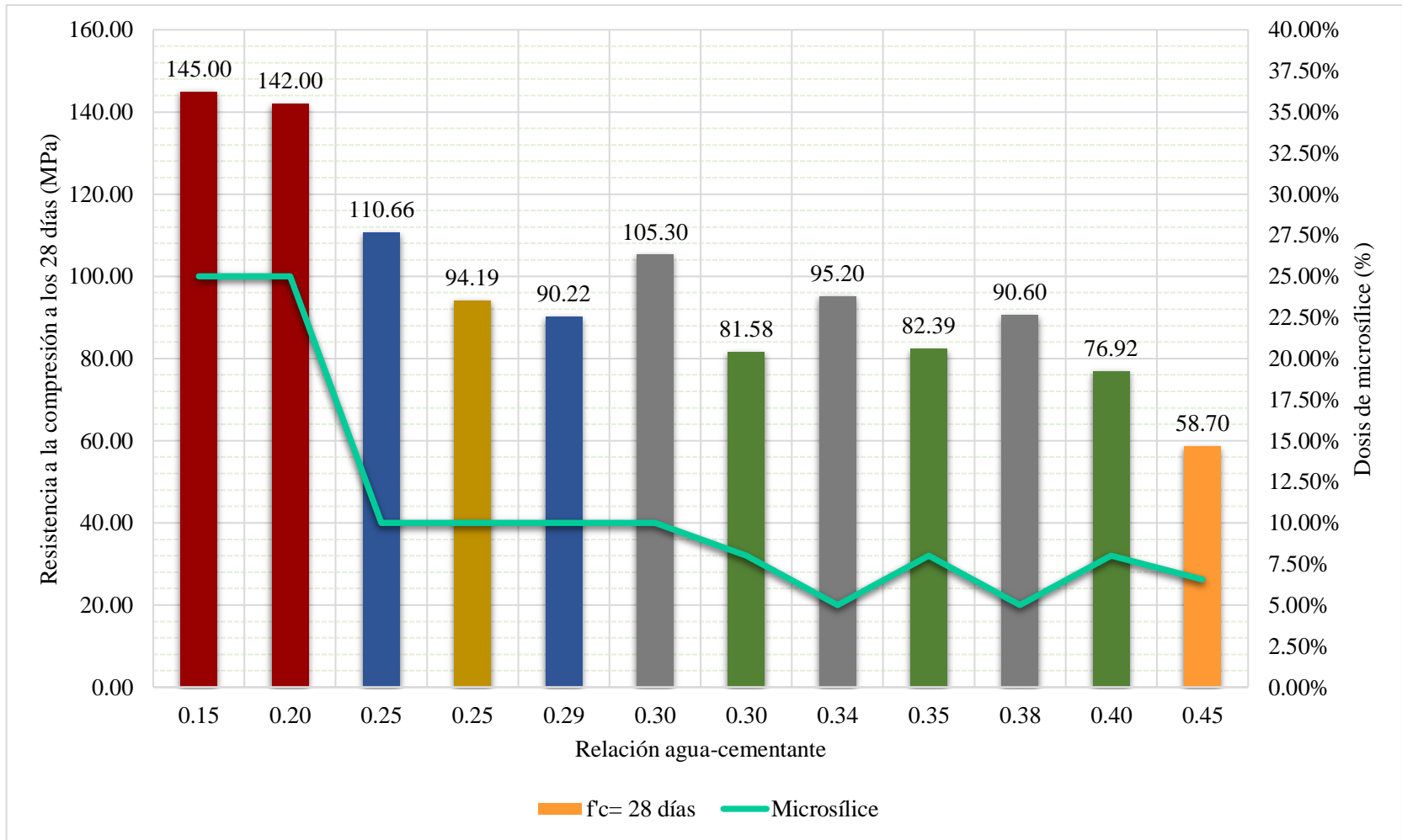


Figura N° 18: Resistencia a la compresión vs relación a/c a diferente dosis de microsíllice con aditivos de cadena corta

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la tabla 30 y figura 17, Motahari, Ramezaniyanpour, Ebadi, Isapour & Karakouzian utilizando una relación a/c de 0.45 para un concreto con incorporación de 6.56% de microsílíce y adición de un superplastificante de cadena corta a base de sulfonato de formaldeide de naftaleno en 1.5% respecto al peso del cemento, alcanza una resistencia a la compresión de 58.70 MPa a los 28 días. Así mismo, Garcia al tener una dosis de microsílíce constante de 8% y dosis de aditivo del 1.6% para diferentes relaciones a/c de 0.3, 0.35 y 0.40. Se obtuvo que la relación a/c más óptima, para alcanzar la mayor resistencia a la compresión, es la de 0.3, siendo este valor de 81.58 MPa a los 28 días. Kostrzanowska-Siedlarz & Golaszewski como resultado más óptimo, para alcanzar la mayor resistencia a la compresión, la relación a/c de 0.30, siendo esta la relación a/c más baja diseñada, con una dosis de 10% de microsílíce y 3.5% de aditivo superplastificante de cadena corta. Logro obtener como resistencia a la compresión 105.30 MPa a los 28 días, en comparación a sus otros resultados que poseen mayor relación a/c, menor dosis de aditivo mineral y menor dosis de aditivo químico, que alcanzaron resistencias a la compresión menores.

Por consiguiente, Perumal, Senthilkumar & Sekar compara dos relaciones a/c con dosis de aditivo mineral y aditivo químico constante. La resistencia a la compresión óptima fue alcanzada por la menor relación a/c =0.25, 10% de microsílíce y 3% de superplastificante.

Torres, Aguayo, Allena & Ellis obtuvo resistencias a la compresión de 145 MPa y 142 MPa con relaciones de a/c de 0.15 y 0.20 respectivamente, además de tener la adición de 25% de microsílíce y dosis de superplastificante de 5% y 4% respectivamente.

- Segunda hipótesis específica: Al analizar la relación agua/cementante en el diseño con aditivos de cadena larga se mejoran las propiedades mecánicas del concreto con microsílíce.

Para esta hipótesis se analiza mediante la recolección de resultados de los ensayos de distintos artículos científicos y tesis de investigación en las tablas 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 y 20.

Los resultados de resistencia a la compresión según la relación a/c de 0.15, 0.17, 0.18, 0.20 y 0.25 y la dosis de aditivo de cadena larga en 1.0%, 1.2%, 1.4%, 1.6%, 2.7%, 3.5%, 3.7% y 4.0% se muestran en la tabla 31 y la figura 19, mientras que en la figura 20 se establece los resultados de resistencia al a compresión según la relación a/c y la dosis de microsílíce en 10.0%, 15.0%, 16.0%, 20.0% y 25.0%.

Tabla N°31: Resultados de resistencia a la compresión a los 28 días con aditivos de cadena larga

Autor(es)	Microsílice (%)	Relación a/c	SP (%)	Resistencia a la compresión a los 28 días (MPa)
Torres, A., Aguayo, F., Allena, S., & Ellis, M.	25.00	0.15	5.00	158.90
Khaloo, A., Asadollahi, S., & Dehestani, M.	15.00	0.17	1.60	138.00
Sadrmomtazi, A., Tajasosi, S., & Tahmouresi, B.	15.00	0.18	1.20	132.00
Torres, A., Aguayo, F., Allena, S., & Ellis, M.	25.00	0.20	4.00	155.00
Sadrmomtazi, A., Tajasosi, S., & Tahmouresi, B.	20.00	0.20	1.20	134.00
Khaloo, A., Asadollahi, S., & Dehestani, M.	15.00	0.20	1.00	132.00
Sadrmomtazi, A., Tajasosi, S., & Tahmouresi, B.	15.00	0.20	1.40	128.00
Gesoglu, M., Güneyisi, E., Sabah Asaad, D., & Muhyaddin, G.	10.00	0.20	3.70	120.50
Sadrmomtazi, A., Tajasosi, S., & Tahmouresi, B.	20.00	0.20	1.40	135.00
Ženíšek Michal, Vlach Tomáš and Laiblová Lenka	16.00	0.25	4.00	133.10
Saridemir, M., Severcan, M., Çiflikli, M., & Acer, Ş.	15.00	0.25	3.50	117.48
Smarzewski, P.	20.00	0.25	2.70	109.00

Fuente: Elaboración propia

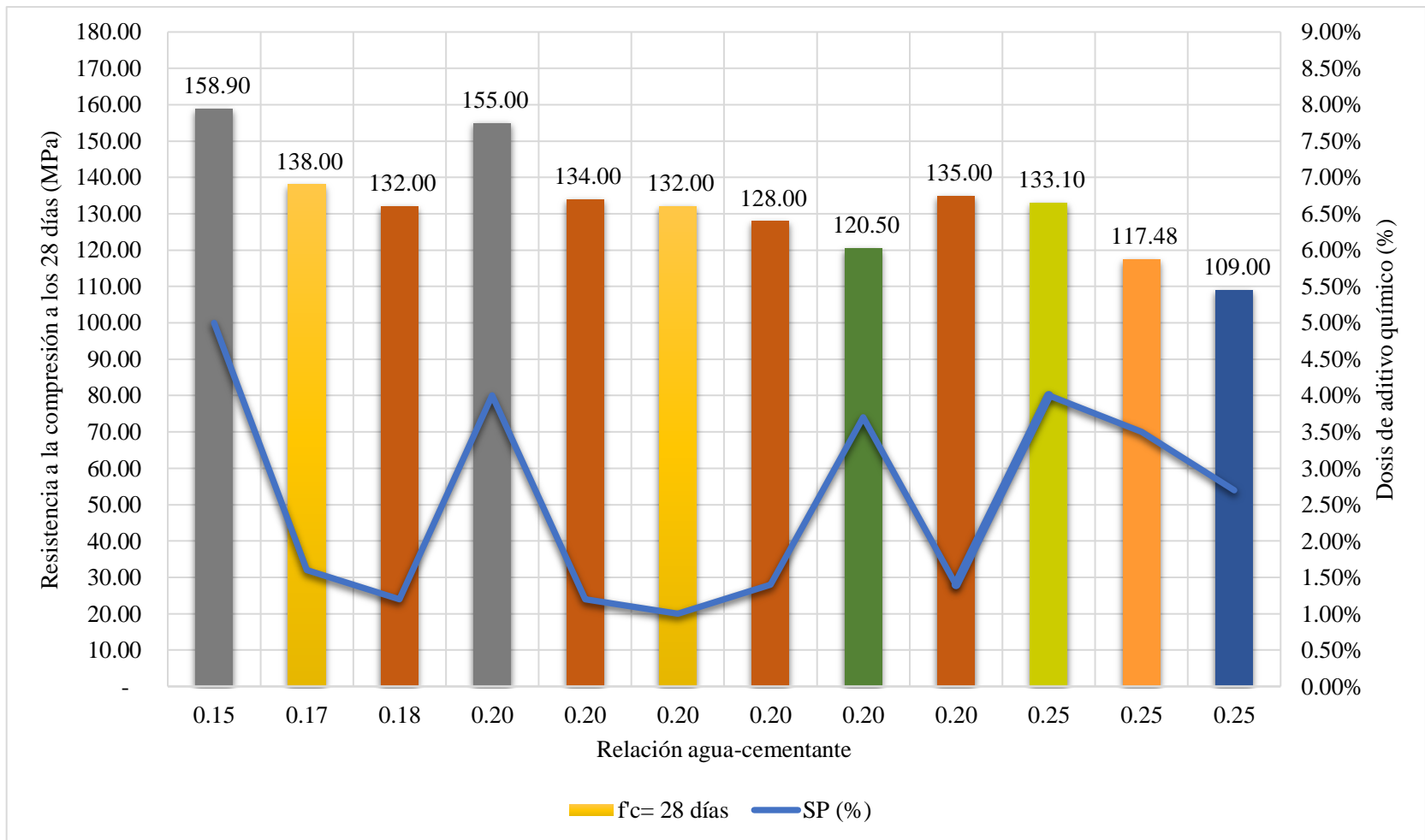


Figura N° 19: Resistencia a la compresión vs relación a/c con aditivos de cadena larga

Fuente: Elaboración propia

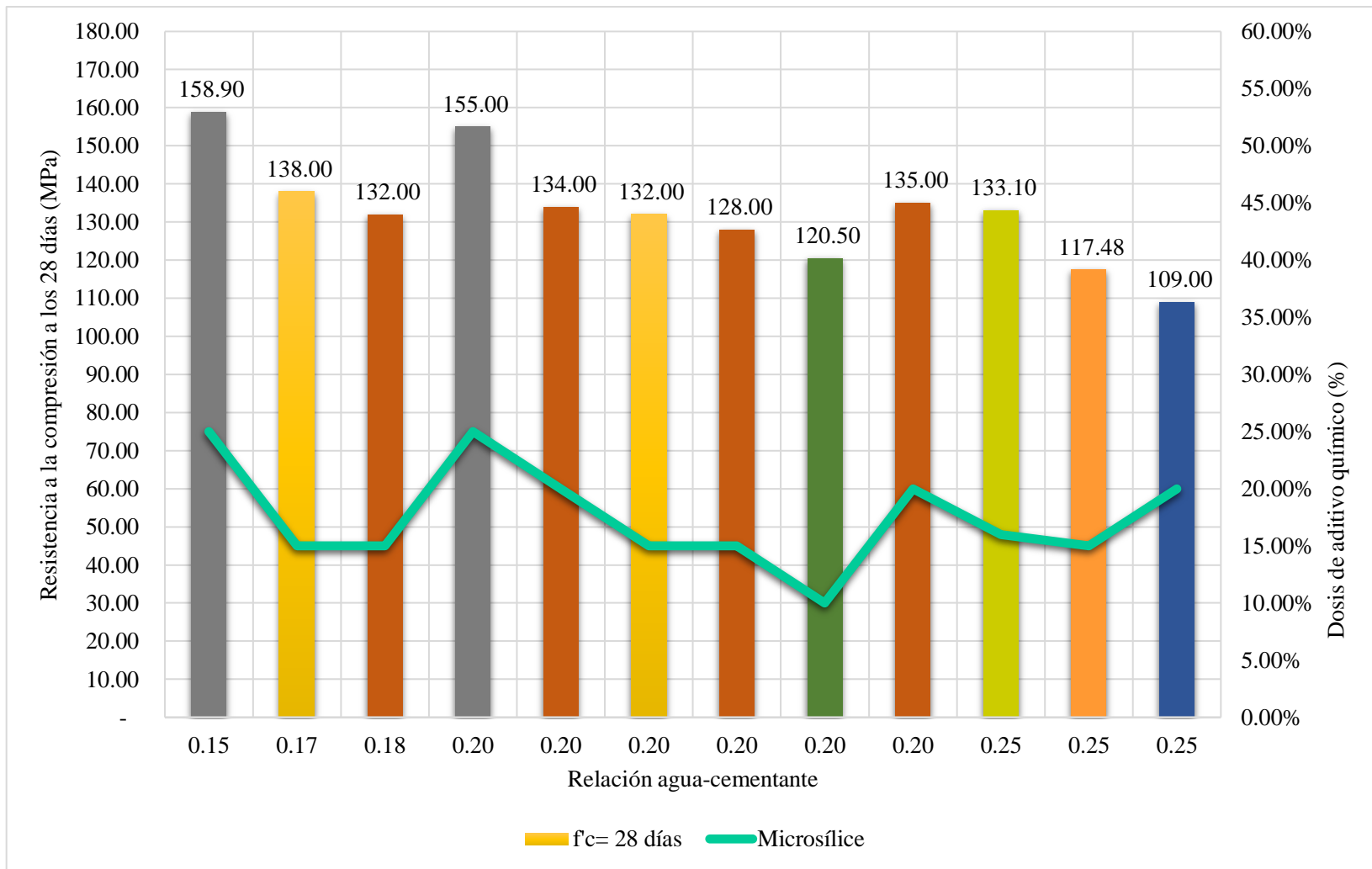


Figura N°20: Resistencia a la compresión vs relación a/c a diferente dosis de microsflice

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 31 y figura 19, Saridemir, M., Severcan, M., Çiflikli, M., & Acer, Ş. obtuvieron como resistencia a la compresión 117.48 MPa con una relación a/c de 0.25, aditivo mineral 15% de microsílíce y 3.5% de superplastificante. Ženíšek Michal, Vlach Tomáš and Laiblová con una misma relación a/c de 0.25, pero con aditivo mineral 16.0% de microsílíce y 4.0% de superplastificante; alcanzó 133.10 MPa. De igual modo, Sadrmomtazi, Tajasosi & Tahmouresi trabajaron con dos relaciones a/c de 0.20 y 0.18, además de diseñar con dosis de microsílíce de 20.0% y 15.0% con respecto al peso del cemento y con dosis de 1.4% y 1.2% de superplastificante, donde la resistencia más alta fue 135.0 MPa para la relación a/c de 0.20, con 20.0% de microsílíce y 1.4% de superplastificante.

Torres, Aguayo, Allena & Ellis fueron quienes alcanzaron las resistencias más altas con relaciones a/c de 0.15 y 0.20 para un mismo porcentaje de microsílíce (25.0%), pero 5.0% y 4.0% respectivamente.

La resistencia a la compresión mayor alcanzada fue de Torres, Aguayo, Allena, Ellis quienes lograron alcanzar 158.9 MPa para una relación a/c de 0.15, microsílíce al 25.0% y 5.0% de superplastificante.

- Tercera hipótesis específica: Al analizar los porcentajes de aditivos de cadena corta se mejora el asentamiento del concreto con microsílíce.

Para esta hipótesis se analizó mediante la recolección de resultados de los ensayos de distintos artículos científicos y tesis de investigación en las tablas 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9.

Los resultados de asentamiento según la relación a/c de 0.25, 0.29, 0.30, 0.35 y 0.40, dosis de aditivo de cadena corta en 0.8%, 1.2%, 1.6% y 3.0% y dosis de microsílíce en 0.0%, 2.5%, 4.0%, 5.0%, 6.0%, 7.5%, 8.0%, 10.0%, 12.5% y 15.0% se muestran en la tabla 32, 33, 34 y 35 y las figuras 21, 22 y 23.

Tabla N°32: Resultados de asentamiento a relación a/c de 0.25 y 0.29

Autor(es)	Aditivo mineral	Aditivo mineral (%)	Relación a/c	Aditivo químico	Porcentaje de aditivo (%)	Asentamiento (mm)
		0.00	0.25		3.00	30.00
		2.50	0.25		3.00	28.00
		5.00	0.25		3.00	27.00
	Microsílice	7.50	0.25		3.00	25.00
		10.00	0.25	Superplastificante	3.00	25.00
		12.50	0.25	a base de	3.00	18.00
Perumal D., S.		15.00	0.25	Formaldehído de	3.00	15.00
Senthilkumar, K. Sekar		0.00	0.29	naftaleno	3.00	52.00
		2.50	0.29	sulfonado	3.00	46.00
		5.00	0.29	CONPLANST	3.00	45.00
	Microsílice	7.50	0.29	SP 430	3.00	41.00
		10.00	0.29		3.00	37.00
		12.50	0.29		3.00	22.00
		15.00	0.29		3.00	15.00

Fuente: Elaboración propia

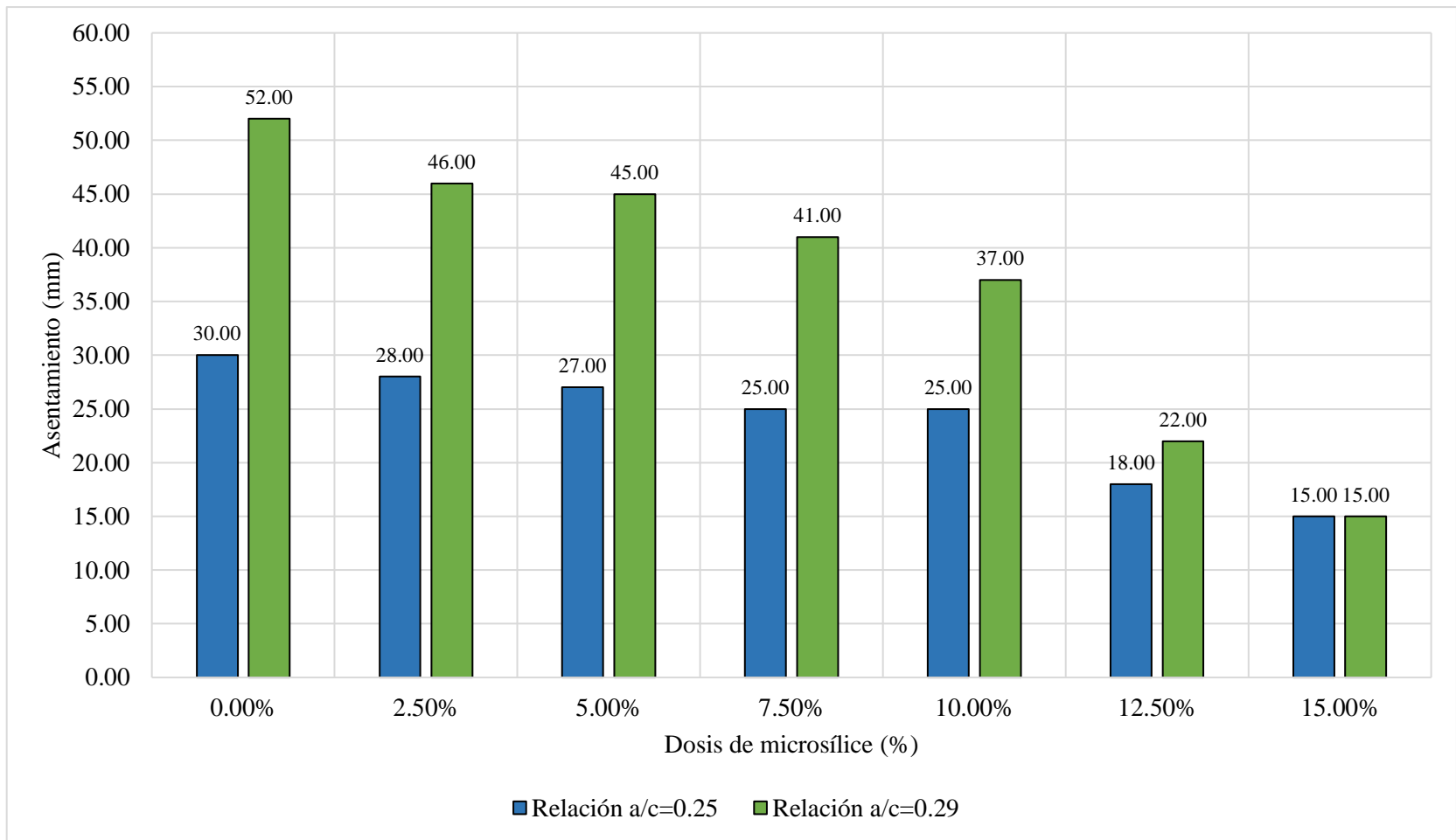


Figura N°21: Asentamiento vs dosis de microsílíce con 3% de aditivo de cadena corta

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N°33: Resultados de asentamiento a relación a/c de 0.30 con aditivos de cadena corta

Autor(es)	Aditivo mineral	Aditivo mineral (%)	Relación a/c	Aditivo	Porcentaje de aditivo (%)	Asentamiento (mm)
		4.00				127.00
		6.00			0.80	101.60
		8.00				96.52
Garcia, L. G.	Microsílice	4.00	0.30	Superplastificante SikaCem	1.20	157.48
		6.00				127.00
		8.00				96.52
		4.00				162.56
		6.00				142.24
		8.00				116.84
		8.00				116.84

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N°34: Resultados de asentamiento a relación a/c de 0.35 con aditivos de cadena corta

Autor(es)	Aditivo mineral	Aditivo mineral (%)	Relación a/c	Aditivo	Porcentaje de aditivo (%)	Asentamiento (mm)
		4.00				147.32
		6.00			0.80	121.92
		8.00				101.60
Garcia, L. G.	Microsílice	4.00	0.35	Superplastificante SikaCem	1.20	162.56
		6.00				132.08
		8.00				101.60
		4.00				177.80
		6.00				157.48
		8.00				127.00

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N°35: Resultados de asentamiento a relación a/c de 0.40 con aditivos de cadena corta

Autor(es)	Aditivo mineral	Aditivo mineral (%)	Relación a/c	Aditivo	Porcentaje de aditivo (%)	Asentamiento (mm)
		4.00				147.32
		6.00			0.80	121.92
		8.00				101.60
Garcia, L. G.	Microsílice	4.00	0.40	Superplastificante SikaCem	1.20	162.56
		6.00				132.08
		8.00				101.60
		4.00				177.80
		6.00				157.48
		8.00				127.00

Fuente: Elaboración Propia

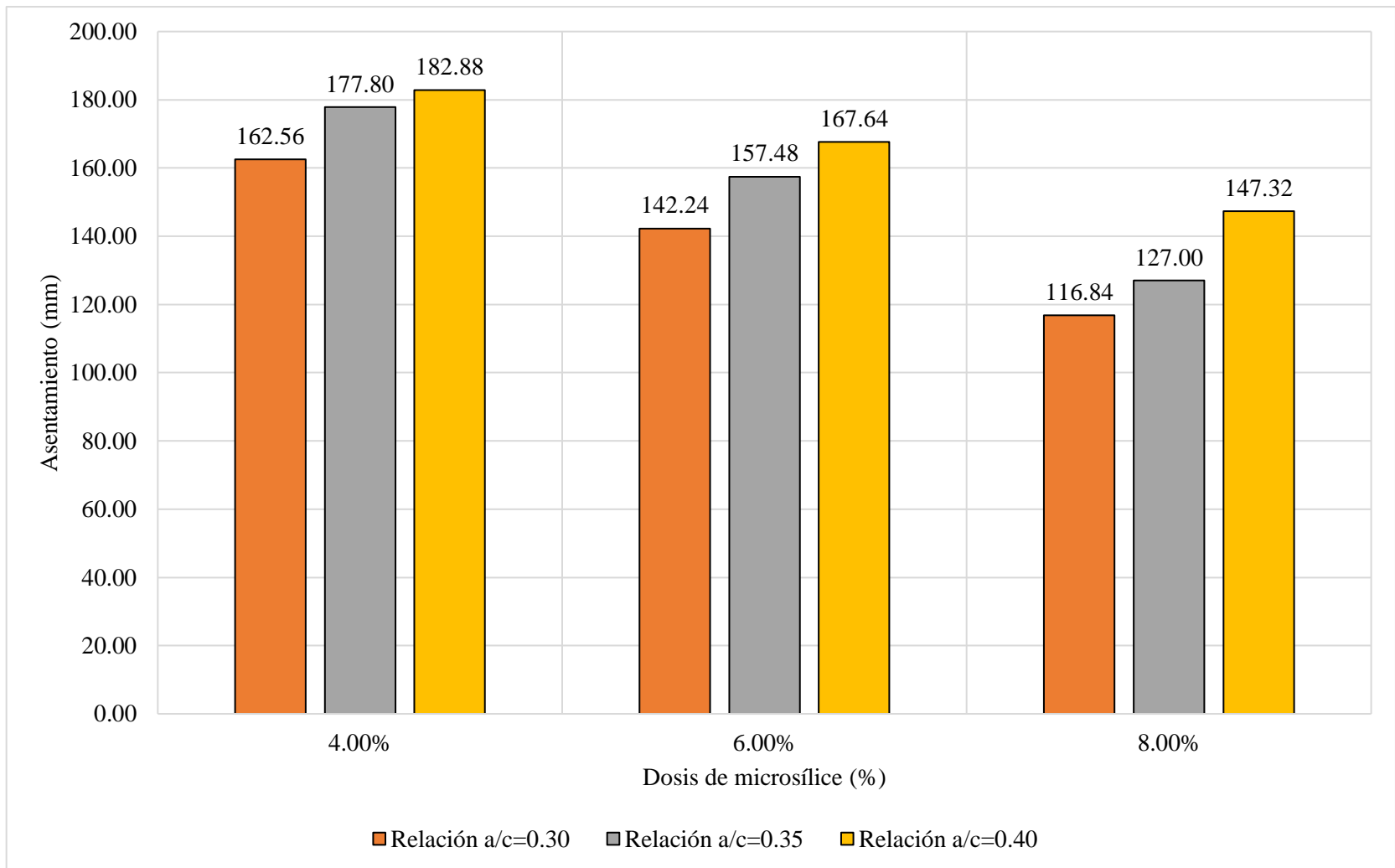


Figura N°22: Asentamiento vs dosis de microsilíce con aditivo de cadena corta de 1.6%

Fuente: Elaboración Propia

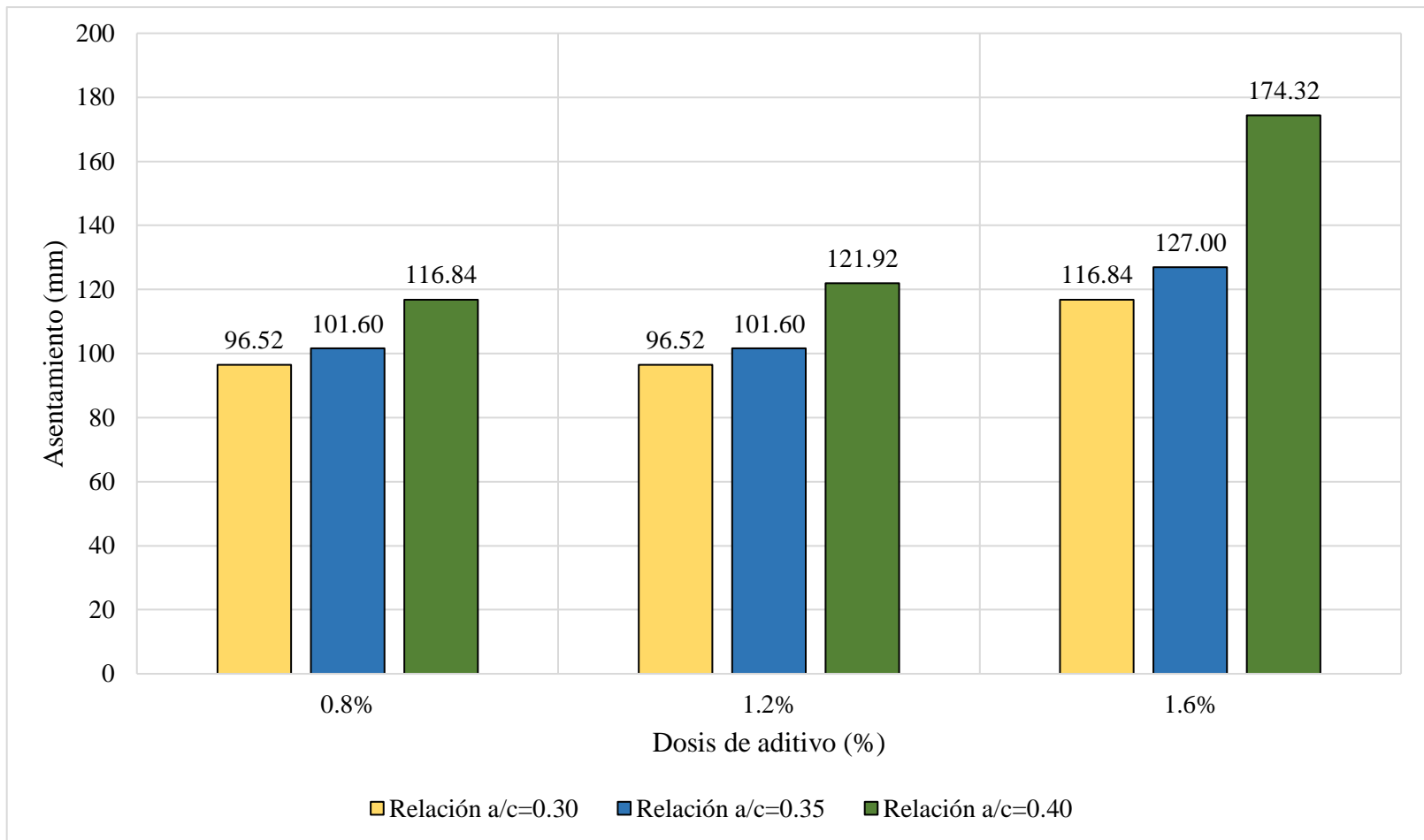


Figura N°23: Asentamiento vs dosis de cadena corta con microsílíce de 8.0% a relación de a/c de 0.30, 0.35 y 0.40

Fuente: Elaboración Propia

De la tabla 32, como un diseño inicial Perumal, Senthilkumar & Sekar elaboraron un primer diseño con relación de a/c de 0.25, con 3.0% de aditivo de cadena corta y con 0.0%, 2.5%, 5.0%, 7.5%, 10.0%, 12.5% y 15.0% de microsílíce, alcanzando asentamientos de 30.0 mm, 28.0 mm, 27.0 mm, 25.0 mm, 25.0 mm, 18.0 mm y 15.0 mm, respectivamente. Como segundo diseño con una relación de a/c de 0.29, con 3.0% de aditivo de cadena corta y con 0.0%, 2.5%, 5.0%, 7.5%, 10.0%, 12.5% y 15.0% de microsílíce, alcanzando asentamientos de 50.0 mm, 46.0 mm, 45.0 mm, 41.0 mm, 37.0 mm, 22.0 mm y 15.0 mm, respectivamente.

En las tablas 33, 34 y 35 Garcia elaboró como primer diseño con relación de a/c de 0.30, con 1.6% de aditivo de cadena corta y con 4.0%, 6.0% y 8.0% de microsílíce, alcanzando asentamientos de 162.56 mm, 142.24 mm y 116.84 mm, respectivamente. Como segundo diseño con relación de a/c de 0.35, con 1.6% de aditivo de cadena corta y 4.0 %, 6.0% y 8.0% de microsílíce, alcanzando asentamientos de 177.8 mm, 157.48 mm y 127.0 mm respectivamente. Finalmente, como tercer diseño con relación de a/c de 0.40, con 1.6% de aditivo de cadena corta y 4.0 %, 6.0% y 8.0% de microsílíce, alcanzando asentamientos de 182.88 mm, 167.64 mm y 147.32 mm respectivamente. De igual manera, se analizó para un mismo porcentaje de microsílíce (8.0%), con 0.8% de aditivo de cadena corta y con relaciones de a/c de 0.30, 0.35 y 0.40, de la misma forma para 1.2% y 1.6% de aditivo de cadena corta. Alcanzaron, para 0.8% de aditivo, asentamientos de 96.52 mm, 101.6 mm y 116.8 mm para relaciones de a/c de 0.30, 0.35 y 0.40 respectivamente; de igual manera, para 1.2% de aditivo alcanzó 96.52 mm, 101.6 mm y 121.9, finalmente para 1.6% alcanzó asentamientos de 116.8 mm, 127.0 mm y 174.3 mm.

- Cuarta hipótesis específica: Al analizar los porcentajes de aditivos de cadena larga se mejora el asentamiento del concreto con microsílíce.

Para esta hipótesis se analizó mediante la recolección de resultados de los ensayos de distintos artículos científicos y tesis de investigación en las tablas 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 y 20.

Los resultados de asentamiento se dieron para la relación a/c de 0.30, 0.32 y 0.40, dosis de aditivo de cadena larga en 0.5%, 1.8%, 1.85%, 1.96%, 2.0%, 2.22%, 2.80%, 3.14%, 3.57%, 4.28% y 4.57% y dosis de microsílíce en 0.0%, 5%, 7.5%, 10.0%, 12.5% y 15.0% se muestran en la tabla 36 y 37 y las figuras 24 y 25.

Tabla N°36: Resultados de asentamiento con relación a/c de 0.32

Autor(es)	Aditivo mineral	Aditivo mineral (%)	Relación a/c	Aditivo químico	Porcentaje de aditivo (%)	Asentamiento (mm)
Abu El-Hassan, M., Kamh, G., Fahmy, M., & Bashandy, A.	Microsílice	5.00	0.32	Superplastificante a	0.5	200
10.00		0.32	base de	0.5	165	
15.00		0.32	policarboxilato Viscocrete - 3425	0.5	135	

Fuente: Elaboración Propia

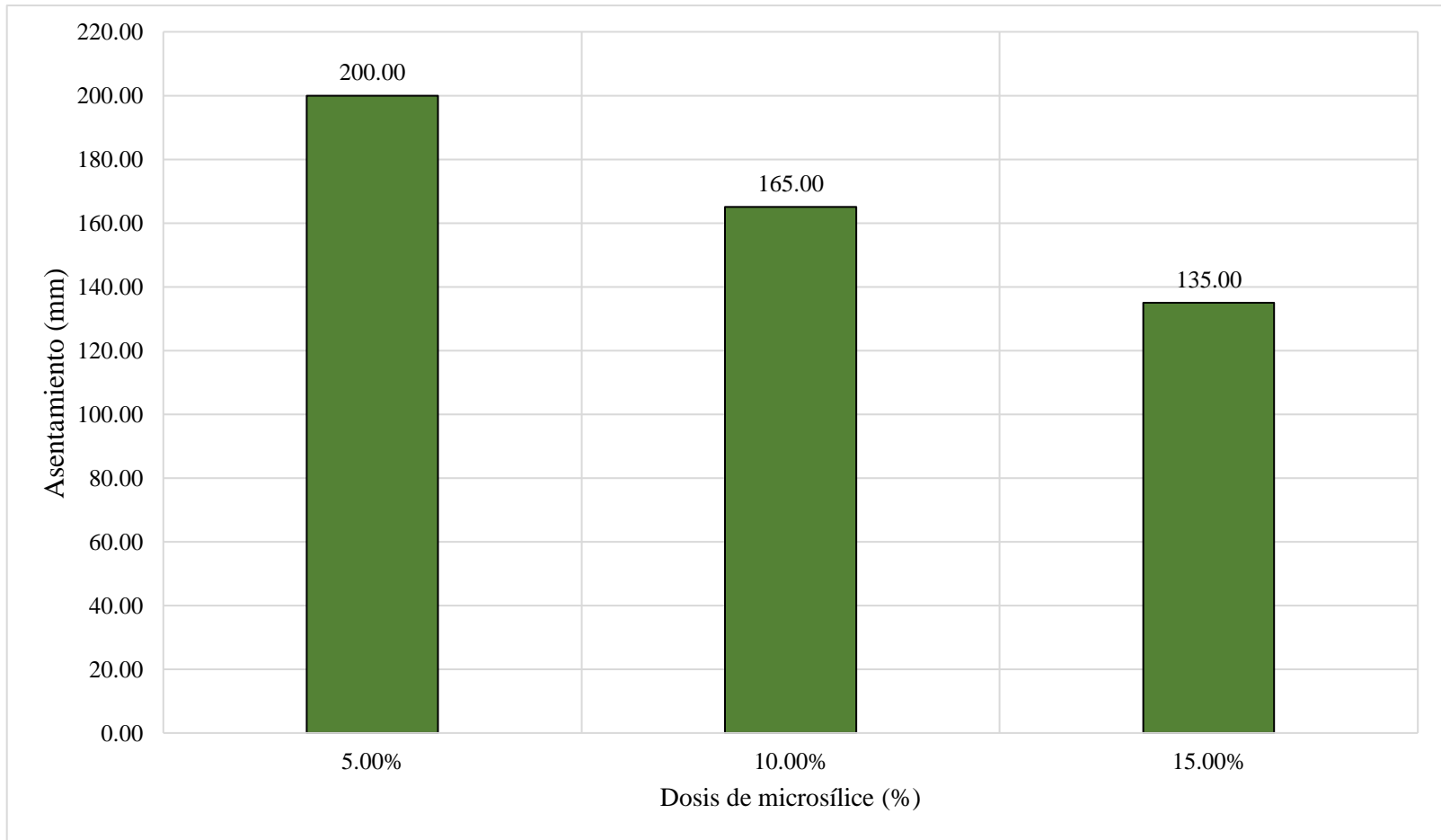


Figura N°24: Asentamiento vs dosis de microsíllice con aditivo de cadena larga de 0.5%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N°37: Resultados de asentamiento con relaciones de a/c de 0.30 y 0.40

Autores	Aditivo mineral 1	Aditivo mineral 1 (%)	Relación a/c	Aditivo químico	Porcentaje de aditivo	Asentamiento (mm)
Reem, S., & Abdulhameed, H.	Microsílice	0.00	0.30		2.80	155
	Microsílice	5.00	0.30		3.14	151
	Microsílice	7.50	0.30	Superplastificante	3.57	143
	Microsílice	10.00	0.30	(SP) aditivo	4.28	140
	Microsílice	12.50	0.30	reductor de agua de	4.57	132
	Microsílice	0.00	0.40	alto rango que	1.80	175
	Microsílice	5.00	0.40	cumple con	1.85	168
	Microsílice	7.50	0.40	ASTMC 494 tipo F	1.96	162
	Microsílice	10.00	0.40		2.00	156
	Microsílice	12.50	0.40		2.22	142

Fuente: Elaboración Propia

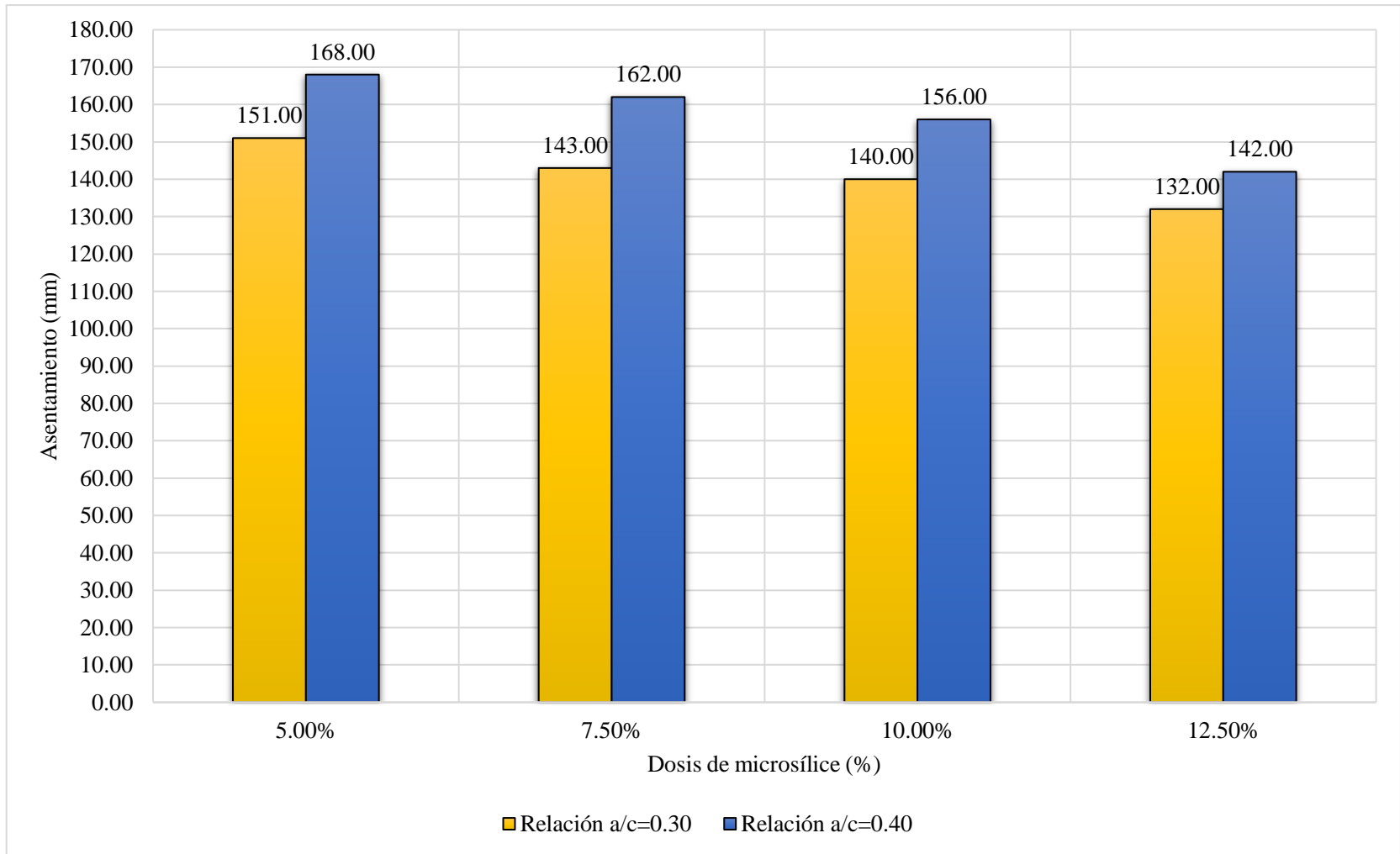


Figura N°25: Asentamiento vs dosis de microsilice a relaciones de a/c de 0.30 y 0.40

Nota: Elaboración Propia

De acuerdo a la tabla 36 y figura 24, Abu El-Hassan Kamh, Fahmy, & Bashandy con una relación de a/c de 0.32, con 3.14%, 3.57%, 4.28% y 4.57% de aditivo de cadena larga y con 5.0%, 10.0% y 15.0% de microsíllice, alcanzó asentamientos de 200.0 mm, 165.0 mm y 135.0 mm respectivamente.

Como segunda, en la tabla 37 y figura 25, deducción Reem & Abdulhameed con relación de a/c de 0.40, con 1.85%, 1.96%, 2.0% y 2.22% de aditivo de cadena larga y con 5.0%, 10.0% y 15.0% de microsíllice, alcanzó asentamientos de 168.0 mm, 162.0 mm, 156.0 mm y 142.0 mm respectivamente.

5.3. Contrastación de hipótesis

5.3.1 Contrastación de hipótesis general

El planteamiento de la evaluación de la hipótesis general nos lleva a indicar la hipótesis nula (H_0) e hipótesis alterna (H_1), para iniciar con el análisis.

Hipótesis nula (H_0): Al analizar los aditivos de cadena corta y cadena larga no mejoran las propiedades mecánicas del concreto con incorporación de microsíllice a los 28 días de curado.

Hipótesis alterna (H_1): Al analizar los aditivos de cadena corta y cadena larga mejoran las propiedades mecánicas del concreto con incorporación de microsíllice a los 28 días de curado.

Para la evaluación de la hipótesis general, se realiza el análisis comparativo a través de tablas y gráficos elaborados con el software Excel, versión 2016. Se presentaron los resultados en las tablas 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27 y 28, y en las figuras 6, 7, 8, 9, 10 y 11 en base a los resultados mostrados según lo siguiente: para cadena corta en las tablas 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9, y para cadena larga en las tablas 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 y 20.

Con los datos obtenidos del análisis comparativo se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_1) ya que, los aditivos de cadena corta de acuerdo a los resultados de resistencia a la compresión y flexión, como se muestra en las

figuras 6 y 10, para una relación a/c de 0.25 a medida que el aditivo aumenta su dosis de 1.5% a 3.0%, alcanza valores de 93.33 MPa a 110.66 MPa y de 7.15 MPa a 10.40 MPa respectivamente. Mientras que, en la resistencia a la tracción, según la figura 12, para una relación a/c de 0.25 y dosis de aditivo químico en 3.0%, alcanza 7.53 MPa.

Así mismo, los aditivos de cadena larga de acuerdo a los resultados de compresión y flexión, como se muestra en las figuras 7 y 11, para una relación a/c de 0.25 a medida que el aditivo aumenta su dosis de 2.7% a 4.0%, alcanza valores de 109.00 MPa a 127.30 MPa y de 6.75 MPa a 8.88 MPa respectivamente. Además, en la resistencia a la tracción, según la figura 13, con una relación de 0.25 y dosis de aditivo químico en 3.5%, alcanza 7.96 MPa.

Finalmente, según la figura 15 y 16 para relaciones a/c de 0.15 y 0.20, se demostró que los aditivos de cadena larga alcanzan mejores resultados de resistencia a la compresión que los aditivos de cadena corta, logrando valores de 158.90 MPa y de 155.00 MPa respectivamente para cadena larga, mientras que para la cadena corta alcanza valores de 145.00 MPa y de 142.00 MPa.

5.3.2 Contrastación de hipótesis específicas

a) **Hipótesis específica 1:** el planteamiento de la evaluación de hipótesis nos lleva a tener las siguientes hipótesis nula (H_0) e hipótesis alterna (H_1).

Hipótesis Nula (H_0): Al analizar la relación agua/cementante en el diseño de mezcla con aditivos de cadena corta no se mejora la resistencia a la compresión del concreto con incorporación de microsilíce.

Hipótesis alterna (H_1): Al analizar la relación agua/cementante en el diseño de mezcla con aditivos de cadena corta si se mejora la resistencia a la compresión del concreto con incorporación de microsilíce.

Para evaluar la primera hipótesis específica, se tomaron los datos de la tabla 30 según las tablas 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9.

Con los datos proporcionados de la tabla 30 y la figura 17 se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_1) porque, a medida que la relación a/c disminuye de 0.25 a 0.15 y la dosis de aditivo químico aumenta

de 1.0% a 5.0%, la resistencia a la compresión crece alcanzando valores de 94.19 MPa a 145.00 MPa respectivamente.

- b) Hipótesis específica 2:** El planteamiento de la evaluación de hipótesis nos lleva a tener las siguientes hipótesis nula (H_0) e hipótesis alterna (H_1).

Hipótesis Nula (H_0): Al analizar la relación agua/cementante en el diseño de mezcla con aditivos de cadena larga no se mejora las propiedades mecánicas del concreto con incorporación de microsílíce.

Hipótesis alterna (H_1): Al analizar la relación agua/cementante en el diseño de mezcla con aditivos de cadena larga si se mejora la resistencia a la compresión del concreto con incorporación de microsílíce

Para evaluar la segunda hipótesis específica, se tomaron los datos de la tabla 31 según las tablas 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 y 20.

Con los datos proporcionados de la tabla 31 y la figura 19 se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_1) porque, a medida que la relación a/c disminuye de 0.20 a 0.15 y la dosis de aditivo químico aumenta de 1.40% a 5.0%, la resistencia a la compresión crece alcanzando valores de 128.00 MPa a 158.90 MPa respectivamente.

- c) Hipótesis específica 3:** el planteamiento de la evaluación de hipótesis nos lleva a tener las siguientes hipótesis nula (H_0) e hipótesis alterna (H_1).

Hipótesis nula (H_0): Al analizar el porcentaje de aditivo de cadena corta en el diseño de mezcla no se mejora el asentamiento del concreto con incorporación de microsílíce.

Hipótesis alterna (H_1): Al analizar el porcentaje de aditivo de cadena corta en el diseño de mezcla se mejora el asentamiento del concreto con incorporación de microsílíce.

Para evaluar la tercera hipótesis específica, se tomaron los datos de las tablas 32, 33, 34 y 35.

Con los datos proporcionados de la tabla 35 y la figura 23 se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_1) debido a que, el asentamiento aumenta a medida que la dosis de aditivo químico aumenta de 0.8% a 1.6% alcanzando valores de 96.52 mm a 116.84 mm para una relación a/c de 0.30, 96.52 mm a 121.92 mm para una relación a/c de 0.35 y 116.84 mm a 174.32 mm para una relación a/c de 0.40.

- d) Hipótesis específica 4:** el planteamiento de la evaluación de hipótesis nos lleva a tener las siguientes hipótesis nula (H_0) e hipótesis alterna (H_1).

Hipótesis Nula (H_0): Al analizar el porcentaje de aditivo de cadena larga en el diseño de mezcla no se mejora el asentamiento del concreto con incorporación de microsílíce.

Hipótesis alterna (H_1): Al analizar el porcentaje de aditivo de cadena larga en el diseño de mezcla se mejora el asentamiento del concreto con incorporación de microsílíce.

Para evaluar la cuarta hipótesis específica, se tomaron los datos de las tablas 36 y 37.

Con los datos proporcionados de la tabla 36 y la figura 24 se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_1) ya que, el asentamiento aumenta para una dosis constante de 0.5% de aditivo químico a medida que la dosis de microsílíce disminuye debido a que este aditivo mineral disminuye la trabajabilidad.

DISCUSIÓN

- Respecto a los resultados obtenidos en las propiedades mecánicas de un concreto con microsílíce, los aditivos de cadena corta presentan menores valores comparados con los aditivos de cadena larga en la resistencia a la compresión a los 28 días de curado, donde se alcanzan valores de 145.00 MPa y 158.90 MPa para relación a/c de 0.15 respectivamente, pero para la misma condición Torres, Aguayo, Allena & Ellis utilizan otro aditivo de cadena larga alcanzando sólo un valor de 141.0 MPa siendo menor valor que el de cadena corta como se muestra en la figura 15, señalando así que la viscosidad del aditivo está influenciado en el diseño de mezcla ya que, los aditivos químicos con viscosidades bajas producen mayores dispersiones en el mortero y resistencias más altas conduciendo una mayor densidad endurecida y mayor hidratación con las partículas del cemento, por ello Li, Yu & Brouwers (2017) mencionan que la capacidad de adsorción de los aditivos químicos depende en gran medida de su estructura química y adsorción de partículas con la cual se debe de seleccionar cuidadosamente los tipos y dosis apropiadas de aditivos químicos de acuerdo al diseño de mezcla que se requiera. Massa, Reyes, Bernal, León & Sanchez-Espinoza (2018) señalan que, la resistencia más alta se logra con una adecuada distribución de tamaño de partículas, donde debe ser controlado adecuadamente por la cantidad de aditivo químico. El análisis comparativo confirma lo mencionado anteriormente, viéndose reflejado en la figura 9 donde al aumentar el aditivo de cadena larga en dosis de 4.0% al 5.0% la resistencia a la compresión disminuye en valores de 118.70 MPa a 101.20 MPa, debido a que al sobrepasar el valor óptimo de dosis de aditivo químico la resistencia a la compresión va disminuyendo.

Por otro lado, en la figura 10 se observa que al aumentar la dosis de aditivo de cadena corta de 1.50% a 3.0% la resistencia a la flexión aumenta de 7.15 MPa a 10.40 MPa para una dosis de 10.0% de microsílíce, mientras que para el aditivo de cadena larga al aumentar la dosis de 2.7% a 3.5%, la resistencia a la flexión aumenta de 6.75 MPa a 8.88 MPa. Además, en la figura 12 y 13 la resistencia a la tracción con una relación a/c 0.25, microsílíce 15.0% y aditivo químico al 3% el aditivo de cadena corta alcanza 7.31 MPa, mientras que el aditivo de cadena larga 7.62 MPa.

- Para las diferentes relaciones a/c mostradas en la figura 17 se observa que a medida que éstas van aumentando la resistencia a la compresión disminuye, siendo influenciados por

la dosis de aditivo de cadena corta y microsílíce. Torres, Aguayo, Allena & Ellis con una relación a/c de 0.15, microsílíce 25% y aditivo de cadena corta de 5.0% alcanza la resistencia a la compresión, a los 28 días de curado, de 145 MPa siendo está la más alta debiéndose a la dosis alta de microsílíce y aditivo de cadena corta, para poder tener una relación a/c baja, esto se aprecia con mayor énfasis en la misma figura que al aumentar la dosis de aditivo de cadena corta de 1.0% al 5.0% la relación a/c disminuye de 0.25 a 0.15 aumentando la resistencia a la compresión de 94.19 MPa a 145.00 MPa respectivamente. Así mismo, se puede observar que para una dosis de 10.0% de microsílíce, pero relaciones de a/c de 0.25 y 0.30 la resistencia a la compresión aumenta de 94.19 MPa a 105.30 MPa debido al aumento del aditivo de cadena corta que es del 1.00% al 3.5% afirmando así lo señalado por Zapata, Portela, Suárez & Carrasquillo (2013) mencionando que, las adiciones adecuadas de microsílíce y superplastificantes aumentan la resistencia a la compresión.

- De acuerdo a las figuras 19 y 20, para las diferentes relaciones a/c mostradas se observa que a medida que éstas disminuyen la resistencia a la compresión aumenta, siendo influenciados por la dosis de aditivo de cadena larga y microsílíce. Torres, Aguayo, Allena & Ellis con una relación a/c de 0.15, microsílíce 25% y aditivo de cadena larga de 5.0% alcanza resistencia a la compresión, a los 28 días de curado, de 158.90 MPa siendo la más alta. Khaloo, Asadollahi & Dehestani con una relación a/c de 0.17, dosis de microsílíce al 12.0% y aditivo químico de 1.60% alcanza una resistencia de 138.00 MPa la diferencia de resultado de resistencia a la compresión entre Torres et al. y Khaloo et al. se debe a que los primeros autores utilizan una mayor cantidad de microsílíce, esto genera una mayor demanda de agua por lo que utiliza una mayor dosis de aditivo químico permitiendo así, tener una relación a/c baja.

Ženíšek, Vlach & Laiblová con una relación a/c de 0.25, dosis de 16% de microsílíce y 4.0% de aditivo de cadena larga alcanza un valor de 133.10 MPa, en cambio Sadrmomtazi, Tajasosi & Tahmouresi con una relación a/c de 0.20, dosis de microsílíce del 15.00% y dosis de aditivo de cadena larga de 1.40% alcanza un valor de 128.00 MPa, observándose que a medida que disminuye el porcentaje de aditivo químico, pero manteniendo la dosis de microsílíce la resistencia a la compresión disminuye. Para las

altas resistencias alcanzadas Torres, Aguayo, Allena & Ellis y Ženíšek, Vlach and Laiblová

Según los valores observados en las figuras 19 y 20 en comparación con las figuras 17 y 18 se puede decir que para una misma relación a/c se alcanzan mayores valores de resistencia a la compresión, dándose a entender que los aditivos de cadena larga aportan mejores resultados que los de cadena corta.

- Se sabe que al incorporar el microsílíce en el diseño, éste aumenta la demanda de agua debido principalmente a su gran superficie específica lo que trae efectos negativos en la trabajabilidad, por lo que es necesario utilizar aditivos superplastificantes para contrarrestar este efecto. Esto se observa en la figura 21 donde Perumal, Senthilkumar & Sekar presenta dos relaciones a/c de 0.25 y 0.29 para una misma dosis de aditivo químico de cadena corta y diferentes dosis de microsílíce, a medida que éste aumenta, el asentamiento disminuye, por ende, disminuye la trabajabilidad. Por otro lado, en la figura 23 donde Garcia, utiliza una misma dosis de microsílíce de 8.0% a relaciones a/c de 0.30, 0.35 y 0.40 y dosis de aditivo químico en 0.8%, 1.2% y 1.6%, el asentamiento aumenta a medida que el aditivo químico se incrementa.
- Shah, Khan, Khan, & Jan (2013) mencionan que, para un asentamiento constante la relación a/c se reduce compensando con el aumento de dosis de aditivo químico, lo que se ve reflejado en la tabla 37 y figura 25, donde Reem & Abdulhameed para mantener un asentamiento objetivo aumenta la dosis de aditivo de cadena larga según el aumento de microsílíce, por otro lado, en la figura 24, de acuerdo a los resultados de Abu El-Hassan, Kamh, Fahmy & Bashandy muestran que con una dosis constante de 0.5% de aditivo de cadena larga y relación a/c de 0.32, a medida que la dosis de microsílíce aumenta, el asentamiento disminuye, demostrando lo señalado por Vinayagam (2012) donde afirma que, el uso de microsílíce en el concreto reduce la trabajabilidad.

CONCLUSIONES

1. El aditivo de cadena corta para una relación a/c de 0.15, con microsilíce al 25.0% y aditivo químico al 5.0% alcanza un valor de 145.00 MPa para la resistencia a la compresión, mientras que con el aditivo de cadena larga bajo las mismas condiciones alcanza 158.90 MPa de resistencia a la compresión. Al aumentar el aditivo de cadena larga en dosis de 4.0% al 5.0% la resistencia a la compresión disminuye en valores de 118.70 MPa a 101.20 MPa, lo que significa que el aditivo alcanza una dosis óptima y que al sobrepasar el 4.0% la resistencia a la compresión comienza a reducir. En la resistencia a la flexión, al aumentar la dosis de 1.50% a 3.0% de aditivo de cadena corta, aumenta de 7.15 MPa a 10.40 MPa para una dosis de 10.0% de microsilíce. Mientras que, para la cadena larga, al aumentar de dosis de 2.7% a 3.5%, también aumenta de 6.75 MPa a 8.88 MPa. En la resistencia a la tracción con una relación a/c de 0.25, microsilíce al 15.0%, para la cadena corta con dosis de 3.0% alcanza el valor de 7.31 MPa, mientras que para la cadena larga con dosis de 3.0%, alcanza 7.62 MPa. Por lo tanto, los aditivos de cadena corta y larga mejoran las resistencias mecánicas del concreto con microsilíce. Además, los aditivos de cadena larga brindan mejores beneficios que los de cadena corta en la resistencia a la compresión y tracción.
2. Con una relación a/c de 0.15, microsilíce 25% y aditivo de cadena corta de 5.0% alcanza la resistencia a la compresión, a los 28 días de curado, de 145 MPa siendo está la más alta resistencia debiéndose a la dosis alta de microsilíce y de aditivo de cadena corta para poder mantener una relación a/c baja, esto se debe ya que al aumentar la dosis de aditivo de cadena corta de 1.0% al 5.0% la relación a/c disminuye de 0.25 a 0.15 aumentando la resistencia a la compresión de 94.19 MPa a 145.00 MPa respectivamente. Así mismo, se observa que para una dosis de 10.0% de microsilíce, pero relaciones de a/c de 0.25 y 0.30 la resistencia a la compresión aumenta de 94.19 MPa a 105.30 MPa debido al aumento de 1.0% al 3.5% del aditivo de cadena corta. Por lo tanto, a medida que la relación a/c disminuye se logra alcanzar resistencias más altas con dosis más alta de aditivo de cadena corta.
3. Con una relación a/c de 0.15, microsilíce 25% y aditivo de cadena larga de 5.0% alcanza una resistencia a la compresión, a los 28 días de curado, de 158.90 MPa siendo la más alta resistencia mientras que, con una relación a/c de 0.17, microsilíce 15% y aditivo de

cadena larga 1.6% alcanza una resistencia a la compresión de 138 MPa. Por otro lado, con relación a/c de 0.25, dosis de 16% de microsílíce y 4.0% de aditivo de cadena larga alcanza un valor de 133.10, para una relación a/c más baja de 0.20, dosis de microsílíce del 15.00% y dosis de aditivo de cadena larga de 1.40% alcanza un valor de 128.00 MPa, observándose que a medida que disminuye el porcentaje de aditivo químico, pero manteniendo la dosis de microsílíce la resistencia a la compresión disminuye. Por ello, al aumentar la dosis de aditivo de cadena larga, se puede mantener relaciones a/c bajas, ya que su principal función de éste es reducir el contenido de agua.

4. Para relaciones a/c de 0.25 y 0.29, bajo una misma dosis de aditivo químico de cadena corta y diferentes dosis de microsílíce se observa que, a medida que la dosis de microsílíce aumenta el asentamiento disminuye, esto se soluciona incrementando la dosis de aditivo ya que, éste sin modificar el contenido de agua aumenta el asentamiento. Por otro lado, a una misma relación a/c de 0.30, dosis de microsílíce de 8.0% y dosis de aditivo químico en 0.8% a 1.6%, el asentamiento aumenta de 96.52 mm a 116.84 mm, mientras que para una relación a/c de 0.40 aumenta de 116.84 mm a 174.32 mm por lo que, a medida que el aditivo químico incrementa también aumenta el asentamiento.
5. Para mantener un asentamiento objetivo de 150.00 ± 20.00 mm se debe aumentar la dosis de aditivo de cadena larga conjuntamente con el aumento de microsílíce puesto que, a una dosis constante de aditivo como de 0.5%, el asentamiento disminuye al aumentar la dosis de microsílíce. Por lo tanto, el aditivo de cadena larga si mejora el asentamiento pues, la adición de microsílíce sin variar la relación a/c disminuye la trabajabilidad, pero ésta se compensa con el aumento de dosis de aditivo químico, además los aditivos de cadena larga alcanzan mayores asentamientos que los aditivos de cadena corta.

RECOMENDACIONES

1. Es recomendable utilizar mayores dosis de aditivo para encontrar los mayores valores que se pueda alcanzar en los resultados de resistencia a la compresión, flexión y tracción lo cual permitiría encontrar la dosis óptima para el diseño de mezcla de un concreto con microsílíce.
2. Se recomienda realizar un análisis inicial de adsorción de partículas entre los materiales de mezcla, ya que el microsílíce puede causar fuertes incompatibilidades con los superplastificantes generando así la demanda de cantidades elevadas del aditivo químico.
3. Para mantener relaciones a/c bajas se recomienda utilizar aditivos de cadena corta y cadena larga en dosis óptimas, ya que proporciones inadecuadas genera reducciones de resistencia mecánica.
4. Adiciones muy elevadas de aditivos de cadena corta y cadena larga pueden generar problemas de segregación en el concreto con microsílíce por lo que se recomienda realizar ensayos de control de asentamiento a través de tiempos.
5. Se recomienda utilizar aditivos de cadena larga para mejorar la trabajabilidad y reducir la tasa de pérdida de consistencia que genera el microsílíce. Aunque, los aditivos de cadena corta también mejoran la trabajabilidad, pero se necesitan dosis superiores de participación en comparación con los aditivos de cadena larga.
6. Para futuras investigaciones se recomienda profundizar la investigación de un concreto con otras adiciones minerales como el nanosílíce y aditivos químicos reductores de agua donde las propiedades mecánicas logren mejores resultados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdalla, L., Ghafor, K., & Mohammed, A. (2019). Testing and modeling the young age compressive strength for high workability concrete modified with PCE polymers. *Results in Materials*, *1*, 1-12. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rinma.2019.100004>
- Abellán, J., Fernández, J., Torres, N., & Núñez, A. (2020). Statistical Optimization of Ultra-High-Performance Glass Concrete. 243-254.
doi:<http://dx.doi.org/10.14359/51720292>
- Abu El-Hassan, M., Kamh, G., Fahmy, M., & Bashandy, A. (2020). Investigation of Using Nano-silica, Silica Fume and Fly Ash in High Strength Concrete. *Engineering Research Journal*, *43*(3), 211-221. doi:10.21608/ERJM.2020.95144
- Abuzayed, I., Alajmani, H., & Al-Tamimi, A. (2016). Evaluation of Mechanical properties and service life of high performance concrete. *NED University Journal of Research*, *13*(3), 53-59. Obtenido de
<http://aulavirtual.urp.edu.pe/bdacademicas/docview/1895872830?accountid=45097>
- Ahari, R., Erdem, T., & Ramyar, K. (2015). Effect of various supplementary cementitious materials on rheological properties of self-consolidating concrete. *Construction and Building Materials*, *75*, 89-98.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.11.014>
- Alonso, M., Martínez-Gaitero, R., Gismara-Diez, S., & Puertas, F. (2017). PCE and BNS admixture adsorption in sands with different composition and particle size distribution. *Materiales de Construcción*, *67*(326).
doi:<http://dx.doi.org/10.3989/mc.2017.08116>
- Alonso, M., Palacios, M., Puertas, F., De La Torre, A., & Aranda, M. (2007). Effect of polycarboxylate admixture structure on cement paste rheology. *Materiales de construcción*, *57*, 65-81. doi:<https://doi.org/10.3989/mc.2007.v57.i286.48>

- Alsaman, A., Dang, C., & Hale, W. (2017). Development of ultra-high performance concrete with locally available materials. *Construction and Building Materials*, 133, 135-145. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.040>
- Altun, M., Özen, S., & Mardani-Aghabaglou, A. (2020). Effect of side chain length change of polycarboxylate-ether based high range water reducing admixture on properties of self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*, 246. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118427>
- American Concrete Institute. (2017). *304.2R-17: Guide to Placing Concrete by Pumping Methods*. Obtenido de https://www.concrete.org/store/productdetail.aspx?ItemID=304217&Format=DOWNLOAD&Language=English&Units=US_AND_METRIC
- American Concrete Institute 237. (2007). 237R-07: Self-Consolidating Concrete. 30.
- American Concrete Institute 239C. (2018). The Structural Design of Ultra-High Performance Concrete. *Emerging Technology Report (ETR)*.
- American Society of Testing Materials. (2013). *Standard Specification for Chemical Additives for Use in the Production of Flowable Concrete (ASTM C1017 / C1017M-13e1)*. Obtenido de <https://www.astm.org/Standards/C1017>
- American Society of Testing Materials. (2018). *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam With Center-Point Loading) (C78/C78M-18)*. Obtenido de <https://www.astm.org>
- American Society of Testing Materials. (2020). *Standard Test Method for Determination of Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens (ASTM C39/C39M - 20)*. Obtenido de <https://www.astm.org/Standards/C39C39M-SP.htm>
- American Society of Testing Materials. (2020). *Standard Test Method for Slump of Hydraulic Cement Concrete (ASTM C143/C143M - 20)*. Obtenido de <https://www.astm.org/Standards/C143C143M-SP.htm>

- American Society of Testing Materials C494/C494M-08a. (2008). *Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete*. Obtenido de <http://www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?C494C494M-19>
- Arend, J., Wetzel, A., & Middendorf, B. (2020). Fluorescence microscopic investigations of the retarding effect of superplasticizers in cementitious systems of UHPC. *Materials* 2020, 13(5), 1-13. doi: <https://doi.org/10.3390/ma13051057>
- Arend, J., Wetzel, A., & Middenforf, B. (2018). In-situ investigation of superplasticizers: From fluorescence microscopy to concrete rheology. *Cement and Concrete Research*, 113, 178-185. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.08.011>
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2012). *Execução de concreto dosado em central — Procedimento (ABNT NBR 7212:2012)*. Obtenido de <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=91726>
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2018). *Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilínd (NBR 5739:2018)*. Obtenido de <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=398444>
- Bastos, G., Patiño-Barbeito, F., Patiño-Cambeiro, F., & Armesto, J. (2016). Admixtures in Cement-Matrix Composites for Mechanical Reinforcement, Sustainability, and Smart Features. doi:<http://dx.doi.org/10.3390/ma9120972>
- Bedon, J. E. (2017). *Diseño óptimo para obtener Concreto de alta resistencia para obras civiles en Zonas Alto Andinas del Perú*. Obtenido de Universidad Nacional del Santa: http://revistas.unasam.edu.pe/index.php/Aporte_Santiaguino/article/view/195
- Borralleras, P. (2012). Criterios de selección del aditivo superplastificante en HAC. 3º *Congreso Iberoamericano sobre hormigón autocompactante*, 55-66.
- Borralleras, P., Jurado, J. J., Parra, S., y Caballero, J. (2018). Aditivos superplastificantes de última generación basados en polímeros PAE para el control de la viscosidad plástica del hormigón. doi:<http://dx.doi.org/10.4995/HAC2018.2018.5633>

- Brace, H., & Garcia-Taengua, E. (2019). Superplasticizer-Nanosilica Compatibility: Assessment and Optimization. *ACI Materials Journal*, *116*(2), 95-103. doi:10.14359/51714454
- Bundyra-Oracz, G., & Kurdowski, W. (2011). Influencia de la naturaleza del cemento en la compatibilidad con aditivos superplastificantes basados en carboxilatos. *Materiales de Construcción*, *61*(302), 227-237. doi:https://doi.org/10.3989/mc.2011.54309
- Çakır, Ö., & Sofyanlı, Ö. (2014). Influence of silica fume on mechanical and physical properties of recycled aggregate concrete. *Housing and Building National Research Center Journal*, *11*, 157-166. doi:https://doi.org/10.1016/j.hbrcj.2014.06.002
- Campos, T., & Geyer, A. (2019). Effects of using chemical admixture with nanosilica in the consistency and mechanical strength of concrete. *Structures and Materials Journal*. doi:http://dx.doi.org/10.1590/s1983-41952019000200009
- Caparó, A. (2017). *Diseño de mezclas de concreto de alta resistencia para elementos prefabricados y/o pretensados utilizando adiciones minerales y aditivos en edades tempranas mediante curado a vapor y curado adiabático en la ciudad de Arequipa*. Obtenido de Universidad Católica de Santa María: <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/6854>
- Chavarry, C., Chavarría, L., Valencia, A., Pereyra, E., Arieta, J., & Rengifo, C. (2020). Hormigón reforzado con vidrio molido para controlar grietas y fisuras por contracción plástica. *Pro Sciences*, *4*(31), 31-41.
- Cheah, C., Chow, W., Oo, C., & Leow, K. (2020). The influence of type and combination of polycarboxylate ether superplasticizer on the mechanical properties and microstructure of slag-silica fume ternary blended self-consolidating concrete. *Journal of Building Engineering*. doi:https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101412
- Chen, J., Ng, P., Chu, S., Guan, G., & Kwan, A. (2020). Ternary blending with metakaolin and silica fume to improve packing density and performance of binder paste. *Construction and Building Material*, *250*, 1-13. doi:https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119031

- China Building Materials Industry Association. (2005). *Test method for fluidity of cement mortar GB/T 2419-2005 (GB/T2419-2005)*. Obtenido de <https://www.chinesestandard.net/PDF/English.aspx/GBT2419-2005>
- China Building Materials Industry Association. (2017). *Standard for test method of performance on ordinary fresh concrete (GB/T 50080-2016)*. Obtenido de <https://www.codeofchina.com/standard/GBT50080-2016.html>
- Constantinescu, H., Gherman, O., Negrutiu, C., & Ioan, S. (2016). Mechanical Properties of Hardened High Strength Concrete. *Procedia Technology*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.01.047>
- Cotrina, N. E. (2018). *Comportamiento mecánico del concreto de alta resistencia de $f'c=450$ kg/cm² con aditivo superplastificante Sikamente®-290N y adición mineral Sika®Fume*. Obtenido de Universidad Nacional de Cajamarca: <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/1979>
- Cruz, S. (2017). *Concreto de alto desempeño con reemplazo parcial del cemento por microsilíce utilizando aditivo superplastificante en la región de Puno*. Obtenido de Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez: <http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/1468>
- De Schutter, G., Bartos, P. J., Domone, P., & Gibbs, J. (2008). *Self-compacting Concrete*. (W. Publishing, Ed.) Escocia. Obtenido de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bibliourp-ebooks/detail.action?docID=3417290>.
- Djono, L., & Karolina, R. (2019). The Effect of Admixture Type F and Silica Fume on High Early Strength Self Compacting Concrete. *Annual Conference of Engineering and Implementation on Vocational Education (ACEIVE 2018)*. doi:<http://dx.doi.org/10.4108/eai.3-11-2018.2285632>
- Fernandez, C., & Ramos, H. (2019). *Influencia de la microsilíce sobre la resistencia a la compresión de concretos con relaciones agua/cemento 0.3; 0.35 y 0.4 Trujillo, 2019*. Obtenido de Universidad Privada del Norte: <http://hdl.handle.net/11537/23702>

- Flores, C., y Blas, A. (2014). *Influencia de la adición de microsilíce y superplastificante en las propiedades de un concreto de alta resistencia en la ciudad de Arequipa*. Obtenido de Universidad Católica de Santa María:
<http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/4668>
- Ganesh, P., Ramachandra Murthy, A., Sundar Kumar, S., Mohammed Saffiq Rehemam, M., & Iyer, N. (2016). No AccessEffect of nanosilica on durability and mechanical properties of high-strength concrete. *Magazine of Concrete Search*, 68(5), 229-236.
doi:<https://doi.org/10.1680/jmacr.14.00338>
- Garcia, L. G. (2018). *Concreto de alto desempeño utilizando hormigón con adición de microsilíce y superplastificante en la ciudad de Huancayo*. Obtenido de Universidad Nacional del Centro del Perú:
<http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/4908>
- Gelardi, G., & Flatt, R. (2016). *Science and Technology of Concrete Admixtures*. Zurich, Suiza: Elsevier. doi:<https://doi.org/10.1016/C2015-0-00150-2>
- Gesoglu, M., Güneyisi, E., Sabah Asaad, D., & Muhyaddin, G. (2016). Properties of low binder ultra-high performance cementitious composites: Comparison of nanosilica and microsilica. *Construction and Building Materials*, 102, 706-713.
doi:<https://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.11.020>
- Ghorab, H., Kenawi, I., & Abdel All, Z. (2012). Interacción entre cementos de diferente composición y aditivos superplastificantes. *Materiales de Construcción*, 359-380.
doi:<https://doi.org/10.3989/mc.2012.63610>
- Gołaszewski, J. (2012). Influence of cement properties on new generation superplasticizers performance. *Construction and Building Materials*, 35, 586-596.
doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.04.070>
- Herendia, E. (2017). *Diseño de concreto de alta resistencia $f'c = 900 \text{ kg/cm}^2$, usando agregados del río Huallaga para la ciudad de Tarapoto, provincia de San Martín, región de San Martín*. Obtenido de Universidad Nacional de San Martín:
<http://hdl.handle.net/11458/2433>

- Hommer, H. (2009). Interaction of polycarboxylate ether with silica fume. *Journal of the European Ceramic Society*, 29, 1847-1853.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2008.12.017>
- Hou, P., Shi, J., Prabakar, S., Cheng, X., Wang, K., Zhou, X., & Shah, S. (2020). Effects of mixing sequences of nanosilica on the hydration and hardening properties of cement-based materials. *Construction and Building Materials*, 263.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120226>
- Huincho, E. (2011). *Concreto de alta resistencia usando aditivo superplastificante, microsílíce y nanosílíce con cemento portland tipo I*. Obtenido de Universidad Nacional de Ingeniería: <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/420>
- Indian Standard. (1999). *Specification for Concrete Admixtures (IS 9103)*. Obtenido de <https://law.resource.org/pub/in/bis/S03/is.9103.1999.pdf>
- Instituto Nacional de Calidad. (2012). *HORMIGÓN (CONCRETO) Método de ensayo para determinarla resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo (NTP 339.078-2012)*. Obtenido de <https://servicios.inacal.gob.pe/cidalerta/biblioteca-detalle.aspx?id=24784>
- Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual. (2019). NTP 339.047:2014 (Revisión 2019). Hormigón (CONCRETO). Definición y terminología relativas al concreto y agregados. *Norma Técnica Peruana*.
- Isfahani, F., Redaelli, E., Lollini, F., Li, W., & Bertolini, L. (2016). Effects of Nanosilica on Compressive Strength and Durability Properties of Concrete with Different Water to Binder Ratios. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2016, 1-16. doi:<http://dx.doi.org/10.1155/2016/8453567>
- Jarauta, I. (2016). *Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Zaragoza*. Obtenido de Jornada Técnica: “Tecnología Avanzada de Hormigón”: <http://www.coatz.org/wp-content/uploads/2016/12/1.-Aditivos-superfluidificantes-y-reductores-de-agua.pdf>

- Khaloo, A., Asadollahi, S., & Dehestani, M. (2017). A New Mixture Design Method for Ultra-High-Strength Concrete. *ACI Materials Journal*, *114*(2), 215-224.
doi:10.14359/51689475
- Khaloo, A., Mobino, M., & Hosseini, P. (2016). Influence of different types of nano-SiO₂ particles on properties of high-performance concrete. *Construction and Building Materials*, *113*, 188-201. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.03.041>
- Khodabakhshian, A., Ghalehnovi, M., de Brito, J., & Shamsabadi, E. (2018). Durability performance of structural concrete containing silica fume and marble industry waste powder. *Journal of Cleaner Production*, *170*, 42-60.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.116>
- Kosmatka, S., Kerkhoff, B., Panarese, W., & Tanesi, J. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*. Skokie, Illinois, Estados Unidos: Portland Cement Association.
- Kostrzanowska-Siedlarz, A., & Golaszewski, J. (2016). Rheological properties of High Performance Self-Compacting Concrete: Effects of composition and time. *Construction and Building Materials*, *115*, 705-715.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.04.027>
- Kwon, S., & Wang, X. (2019). Optimization of the Mixture Design of Low-CO₂ High-Strength Concrete Containing Silica Fume. *Advances in Civil Engineering*.
doi:<http://dx.doi.org/10.1155/2019/7168703>
- Lei, D., Guo, L., Sun, W., Liu, J., Shu, X., & Guo, X. (2016). A new dispersing method on silica fume and its influence on the performance of cement-based materials. *Construction and Building Materials*, *115*, 716-726.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.04.023>
- Li, L., Zheng, J., Zhu, J., & Kwan, A. (2018). Combined usage of micro-silica and nano-silica in concrete: SP demand, cementing efficiencies and synergistic effect. *Construction and Building Materials*, *168*, 622-632.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.02.181>

- Li, P., Yu, Q., & Brouwers, H. (2017). Effect of PCE-type superplasticizer on early-age behaviour of ultra-high performance concrete (UHPC). *Construction and Building Materials*, 153, 740-750. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.07.145>
- Liu, H., Luo, G., Wang, L., Wang, W., Li, W., & Yafeng, G. (2019). Laboratory Evaluation of Eco-Friendly Pervious Concrete Pavement Material Containing Silica Fume. *Applied Sciences*, 9(1). doi:<http://dx.doi.org/10.3390/app9010073>
- Liu, J., Wang, K., Zhang, Q., Han, F., Sha, J., & Liu, J. (2017). Influence of superplasticizer dosage on the viscosity of cement paste with low water-binder ratio. *Construction and Building Materials*, 149, 359-366. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.05.145>
- Mansor, A., Hamed, A., & Borg, R. (2016). *Effect of Silica Fume on High Performance Concrete Strength*. Obtenido de ResearchGate GmbH: <https://www.researchgate.net/publication/299436712>
- Massana, J., Reyes, E., Bernal, J., León, N., & Sanchez-Espinoza, E. (2018). Influence of nano- and micro-silica additions on the durability of a high-performance self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*, 165, 93–103. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.100>
- Matsuzawa, K., Shimazaki, D., Kawakami, H., & Sakai, E. (2019). Effect of non-adsorbed superplasticizer molecules on fluidity of cement paste at low water-powder ratio. *Cement and Concrete Composites*, 97, 218-225. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2018.12.025>
- Meng, W., Kumar, A., & Khayat, K. (2019). Effect of silica fume and slump-retaining polycarboxylate-based dispersant on the development of properties of portland cement paste. *Cement and Concrete Composites*, 99, 181-190. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2019.03.021>
- Meng, W., Lunkad, P., Kumar, A., & Khayat, K. (2016). Influence of Silica Fume and PCE Dispersant on Hydration Mechanisms of Cement. *The Journal of Physical Chemistry*, 120(47), 26814–26823. doi:<https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.6b08121>

- Motahari, S., Ramezaniapour, A., Ebadi, T., Isapour, S., & Karakouzian, M. (2017). A new approach for application of silica fume in concrete: Wet granulation. *Construction and Building Materials*, 157, 573-581.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.09.132>
- Nayak, N., & Jain, A. (2012). *Handbook on Advanced Concrete Technology*. Alpha Science International. Obtenido de <https://search.proquest.com/legacydocview/EBC/5334822?accountid=45097>
- Nili, M., & Ehsani, A. (2015). Investigating the effect of the cement paste and transition zone on strength development of concrete containing nanosilica and silica fume. *Materials and Design*, 75, 174-183.
doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2015.03.024>
- Özen, S., Altun, M., & Mardani-Aghabaglou, A. (2020). Effect of the polycarboxylate based water reducing admixture structure on self-compacting concrete properties: Main chain length. *Construction and Building Materials*, 255.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119360>
- Pedro, D., De Brito, J., & Evangelista, L. (2017). Mechanical characterization of high performance concrete prepared with recycled aggregates and silica fume from precast industry. *Journal of Cleaner Production*, 164, 939-949.
doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.249>
- Perumal, D., Senthilkumar, S., & Sekar, K. (2018). Experimental Investigations on Strength Characteristics of High Performance Concrete Using Silica Fume and Superplasticizer. *International Open Access Journal*. Obtenido de https://www.academia.edu/37818819/Experimental_Investigations_on_Strength_Characteristics_of_High_Performance_Concrete_Using_Silica_Fume_and_Superplasticizer
- Plank, J., Saki, E., Miao, C., Yu, C., & Hong, J. (2015). Chemical admixtures — Chemistry, applications and their impact on concrete microstructure and durability. *Cement and Concrete Research*, 78, 81-99.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2015.05.016>

- Plank, J., Schroefl, C., Gruber, M., Lesti, M., & Sieber, R. (2009). Effectiveness of Polycarboxylate Superplasticizers in Ultra-High Strength Concrete: The Importance of PCE Compatibility with Silica Fume. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 7, 5-12. doi: <https://doi.org/10.3151/jact.7.5>
- Priya, H. (2015). *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, 598-604. Obtenido de <http://aulavirtual.urp.edu.pe/bdacademicas/docview/1712466237?accountid=45097>
- Reem, S., & Abdulhameed, H. (2019). Investigation on Performance of Concrete Incorporating Silica Fume and Local UAE Materials. *Key Engineering Materials*, 803, 222-227. doi:<http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.803.222>
- Sadrmomtazi, A., Tajasosi, S., & Tahmouresi, B. (2018). Effect of materials proportion on rheology and mechanical strength and microstructure of ultra-high performance concrete (UHPC). *Construction and Building Materials*, 187, 1103-1112. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.08.070>
- Sanchez, E., Bernal, J., León, N., & Moragues, A. (2016). Propiedades reológicas y mecánicas de un hormigón autocompactante con adición de nano-sílice y micro-sílice. *Revista Alconpat*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=427645284001>
- Saridemir, M., Severcan, M., Çiflikli, M., & Acer, Ş. (2015). Evaluation of the relationships between the strength properties of hsc containing SF and GP at a low water-binder ratio. *Transactions of Civil Engineerin*, 39, 523-538. doi:10.22099/IJSTC.2015.3518
- Schröfl, C., Gruber, M., & Plank, J. (2012). Preferential adsorption of polycarboxylate superplasticizers on cement and silica fume in ultra-high performance concrete (UHPC). *Cement and Concrete Research*, 42, 1401-1408. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2012.08.013>
- Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción. (2009). *NORMA E.060 Concreto Armado*. Lima: DIGIGRAF CORP. SA.

- Shah, A., Khan, S., Khan, R., & Jan, I. (2013). Effect of high range water reducers (HRWR) on the properties and strength development characteristics of fresh and hardened concrete. *Transactions of Civil Engineering*, 37, 513-517. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/260292371>
- Shaikh, F., & Supit, S. (2016). Effects of Superplasticizer Types and Mixing Methods of Nanoparticles on Compressive Strengths of Cement Pastes. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 28(2). doi:[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001373](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001373)
- Smarzewski, P. (2019). Influence of silica fume on mechanical and fracture properties of high performance concrete. *Procedia Structural Integrity*, 5-12. doi:<https://doi.org/10.1016/j.prostr.2019.08.002>
- Soliman, N., & Tagnit-Hamou, A. (2017). Using Particle Packing and Statistical Approach to Optimize Eco-Efficient Ultra-High-Performance Concrete. 847-858. doi:<http://dx.doi.org/10.14359/51701001>
- Strzalkowski, J., & Garbalinska, H. (2019). The Influence of Silica Fume on the Mechanical and Thermal Parameters of Portland Cement Concretes. *Journal of Ecological Engineering*. doi:<https://doi.org/10.12911/22998993/112503>
- Sudarsana Rao, H., Sashidhar, C., Vaishali, G. G., & Venkata Reddy, T. C. (2014). Mix Design of High Performance Concrete Using Silica Fume and Superplasticizer. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 3, 10735-10742. Obtenido de https://www.academia.edu/23956090/Mix_Design_of_High_Performance_Concrete_Using_Silica_Fume_and_Superplasticizer
- Tai, Y., El-Tawil, S., Meng, B., & Hansen, W. (2020). Parameters Influencing Fluidity of UHPC and Their Effect on Mechanical and Durability Properties. *American Society of Civil Engineers*, 32(10). doi:[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0003392](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003392)
- Tebbal, N., Rahmouni, Z., & Mazza, M. (2017). Combined effect of silica fume and additive on the behavior of high performance concretes subjected to high

temperatures. *Mining Science*, 24, 129–145.

doi:<http://dx.doi.org/10.5277/msc172408>

Torres, A., Aguayo, F., Allena, S., & Ellis, M. (2019). The Effect of Various Superplasticizers on Ultra High Strength Concrete. *Proceedings of the International Conference of Sustainable Production and Use of Cement and Concrete*, 22, 167-173. doi:https://doi.org/10.1007/978-3-030-22034-1_19

Türk Standardi. (2002). *Testing fresh concrete- Part 2: Slump test (TS EN 12350-2)*.

Obtenido de

<https://intweb.tse.org.tr/standard/standard/Standard.aspx?081118051115108051104119110104055047105102120088111043113104073088090081066049071049107049080071>

Türk Standardi. (2010). *Testing hardened concrete – Part 5: Flexural strength of test specimens (EN 12390-5)*. Obtenido de

<https://intweb.tse.org.tr/Standard/Standard/Standard.aspx?053107106111065067115113049116090107100056052055108081090071086075069085047110067109075073081116103090081086073108065117084119102117117086055107052120118114073081098098072068085051076079112114>

Türk Standardi. (2010). *Testing hardened concrete – Part 6: Tensile splitting strength of test specimens (EN 12396 – 6)*. Obtenido de

<https://intweb.tse.org.tr/standard/standard/Standard.aspx?081118051115108051104119110104055047105102120088111043113104073081049104070065084067055090066067>

Una Norma Española. (2018). *Métodos de ensayo de cementos. Parte 1: Determinación de resistencias (UNE – EN 196 – 1)*. Obtenido de <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0060675>

Vidya, B., Blessy Zion, G., & Rao, K. (2017). A Study on Development of High Strength Concrete (95 MPa). *IUP Journal of Structural Engineering*, 10(3), 7-19. Obtenido de

<http://aulavirtual.urp.edu.pe/bdacademicas/docview/1927092906?accountid=45097>

- Villanueva, F. (2015). *Obtención de un concreto de alta resistencia para un $f_c=800\text{kg/cm}^2$ usando agregados de La Cantera El Chiche - Cajamarca , aditivos y adición mineral*. Obtenido de Universidad Nacional de Cajamarca:
<http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/640>
- Vinayagam, P. (2012). Experimental investigation on high performance concrete using silica fume and superplasticizer. *International Journal of Computer and Communication Engineering*, 1(2), 168-171. doi:10.7763/IJCCE.2012.V1.44
- Wang, D., Shi, C., Wu, Z., Xiao, J., Huang, Z., & Fang, Z. (2015). A review on ultra high performance concrete: Part II. Hydration, microstructure and properties. *Construction and Building Materials*, 96, 368-377.
 doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.08.095>
- Wu, Z., Shi, C., Khayat, K., & Wan, S. (2016). Effects of different nanomaterials on hardening and performance of ultra-high strength concrete (UHSC). *Cement and Concrete Composites*, 70, 24-34.
 doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2016.03.003>
- Yang, Z., Hui, Z., & Sun, W. (2015). Effect of the Types of Superplasticizers on the Fresh, Mechanical, and Durability Properties of the High-Performance Concrete. *Journal of Testing and Evaluation*, 44(1S), 1-11. doi:10.1520/JTE20140442
- Zapata, L., Portela, G., Suárez, O., & Carrasquillo, O. (2013). Rheological performance and compressive strength of superplasticized cementitious mixtures with micro/nano-SiO₂ additions. *Construction and Building Materials*, 41, 708-716.
 doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.12.025>
- Ženišek, M., Vlach, T., & Laiblová, L. (2015). Dosage of Silica Fume in High Performance Concrete. *Key Engineering Materials*. doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.677.98
- Ženišek, M., Vlach, T., & Laiblová, L. (2017). Mixing of Concretes with Extremely Low Water-Cement Ratio. *Solid State Phenomena*, 259, 41-45.
 doi:<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.259.41>

Zeyad, A., & Almalki, A. (2020). Influence of mixing time and superplasticizer dosage on self-consolidating concrete properties. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(3), 6101-6115. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.04.013>

Zhao, H., Sun, W., Wu, X., & Gao, B. (2020). -Influence of Addition of Polycarboxylate-Based Superplasticizer on Properties of High Performance Concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 32(3). doi:[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0003025](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003025)

Zuñiga, M., y Condori, Y. (2019). *Influencia de adiciones de microsílíce en la resistencia a la compresión del concreto producido con agregados de la cantera de Arunta de la ciudad de Tacna*. Obtenido de Universidad Privada de Tacna: <http://repositorio.upt.edu.pe/handle/UPT/918>

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia - Influencia de los aditivos de cadena corta y cadena larga en las propiedades mecánicas del concreto con incorporación de microsílíce

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Indicadores	Instrumento	Método	
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General		Relación agua/cementante con aditivos de cadena corta		El Método de investigación es Deductivo ya que parte de demostrar a través de la compilación de datos para obtener resultados óptimos, teniendo como orientación Básica basándose en un enfoque Cuantitativo debido a que pretende deducir la influencia de los aditivos de cadena corta y larga con incorporación de microsílíce para mejorar las propiedades mecánicas del concreto.	
¿Cómo los aditivos de cadena corta y cadena larga influyen en las propiedades mecánicas del concreto con microsílíce?	Analizar los aditivos de cadena corta y cadena larga para mejorar las propiedades mecánicas del concreto con microsílíce.	Al analizar la influencia de los aditivos de cadena corta y cadena larga se mejora las propiedades mecánicas del concreto con incorporación de microsílíce.	Variable Independiente: Aditivos de cadena corta y cadena larga	Relación agua/cementante con aditivos de cadena larga	Resultados de ensayos de laboratorio realizado en publicaciones científicas y tesis de investigación, de acuerdo a: NORMA E0.60 NTP 334.087 NTP 334.088 o ASTM C1017M ASTM C192		El Tipo de investigación es Descriptiva ya que se busca determinar la influencia de los aditivos de cadena corta y larga con incorporación de microsílíce para mejorar las propiedades mecánicas del concreto.
				Porcentaje de aditivo de cadena corta			
				Porcentaje de aditivo de cadena larga			

Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicos		
¿Cómo la relación agua/cementante en el diseño con aditivos de cadena corta influyen en la resistencia a la compresión del concreto con microsilíce?	Analizar la relación agua/cementante en el diseño con aditivos de cadena corta para mejorar las propiedades mecánicas del concreto con microsilíce.	Al analizar la relación agua/cementante en el diseño con aditivos de cadena corta se mejoran las propiedades mecánicas del concreto con microsilíce.	Resistencia a la compresión con aditivos de cadena corta	El Nivel de investigación es Descriptivo debido a que se busca especificar las propiedades mecánicas del concreto bajo la influencia de los aditivos.
¿Cómo la relación agua/cementante en el diseño con aditivos de cadena larga influyen en la resistencia a la compresión del concreto con microsilíce?	Analizar la relación agua/cementante en el diseño con aditivos de cadena larga para mejorar las propiedades mecánicas del concreto con microsilíce.	Al analizar la relación agua/cementante en el diseño con aditivos de cadena larga se mejoran las propiedades mecánicas del concreto con microsilíce.	Resistencia a la compresión con aditivos de cadena larga	El Diseño de investigación es Experimental , de Direccionalidad y Longitudinal y Retrospectivo puesto que se utilizan datos de diversas fuentes y publicaciones experimentales fundamentadas, estudio de diseño de cohortes retrospectivo, por la que se observan los fenómenos ya ocurridos teniendo registros adecuados, pero serán revisados.
¿Cómo los porcentajes de aditivos de cadena corta influyen en el asentamiento del concreto con microsilíce?	Analizar los porcentajes de aditivos de cadena corta para mejorar el asentamiento del concreto con microsilíce.	Al analizar los porcentajes de aditivos de cadena corta se mejora el asentamiento del concreto con microsilíce.	Asentamiento con aditivos de cadena corta	
¿Cómo los porcentajes de aditivos de cadena larga influyen en el asentamiento del concreto con microsilíce?	Analizar los porcentajes de aditivos de cadena larga para mejorar el asentamiento del concreto con microsilíce.	Al analizar los porcentajes de aditivos de cadena larga se mejora el asentamiento del concreto con microsilíce.	Asentamiento con aditivos de cadena larga	

Fuente: Elaboración propia

Anexo 2: Matriz M1 - Selección documental (1)

Autor(es)	Resumen	Ideas principales	Subtemas (Indicadores)	Conclusiones
Alsaman, A., Dang, C., & Hale, W.	Examinan el efecto de la gradación de la arena, el tipo y contenido de cemento y los regímenes de curado sobre la resistencia a la compresión del concreto, con el uso de materiales locales para ahorrar materiales y energía y reducir el costo del concreto.	Resultados de ensayos de resistencia a la compresión a las edades de 28, 56 y 90 días, siendo los requeridos solamente los evaluados para el concreto con adición de microsílíce y superplastificante.	<ul style="list-style-type: none"> - Resultados de resistencia a la compresión a edades de 7, 28, 56 y 90 días. - Aditivo plastificante a base de carboxilato 	Un HRWR es necesario para que UHPC logre la trabajabilidad deseada, pero la dosis y los efectos del HWRWR pueden variar. Sin embargo, el tiempo de fraguado del UHPC usando grandes dosis de superplastificante puede extenderse. Para resolver este problema potencial, se puede emplear un acelerador para reducir el tiempo de fraguado.
Khodabakhshian, A., Ghalehnovi, M., de Brito, J., & Shamsabadi, E.	Presentan los resultados de una investigación experimental de las propiedades de durabilidad llevada a cabo en 16 mezclas de concreto que contienen polvo de desecho de mármol y humo de sílice como reemplazo parcial del cemento Portland ordinario.	Resultados de ensayos de resistencia a la compresión a las edades de 7, 28, 56, 91 y 180 días, solamente los evaluados para el concreto con adición de microsílíce con incorporación de superplastificante.	<ul style="list-style-type: none"> - Proporciones de humo de sílice (0%, 2.5%, 5%, 10%) y polvo de desecho de mármol (0%, 5%, 10%, 20%) - Superplastificante a base de policarboxilato éter - Resultados de resistencia a la compresión a edades de 7, 28, 56, 91 y 180 días - Resultados de asentamiento 	La relación a/c de las diversas mezclas para mantener el nivel de trabajabilidad, ya que el efecto negativo de MWP y SF sobre la trabajabilidad disminuyó a medida que aumentaba el contenido de superplastificante.

Fuente: Elaboración propia

Anexo 3: Matriz M1 - Selección documental (2)

Autor(es)	Resumen	Ideas principales	Subtemas (Indicadores)	Conclusiones
Smarzewski, P.	<p>Determinaron la energía de fractura de hormigón de alto rendimiento (HPC) que contiene humo de sílice (SF) presentan su investigación sobre los cambios de las propiedades mecánicas, incluida la resistencia a la compresión, la resistencia a la tracción por división, el módulo de elasticidad, la energía de fractura y la longitud característica de seis HPC causadas por la adición de SF.</p>	<p>Resultados de sus ensayos de resistencia a la compresión con adición de humo de sílice.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Las adiciones de SF en la HPC fueron de 0%, 5%, 10%, 15%, 20% y 25% en peso de contenido de cemento - Superplastificante a base de policarboxilato éter constante - Resultados de resistencia a la compresión a edad de 28 días 	<p>La sustitución ideal en la mezcla de HPC del humo de sílice no debe superar el 10% para una relación de agua/cemento y superplastificante constante.</p>
Reem, S., & Abdulhameed, H.	<p>Realizaron una investigación sobre el desempeño del concreto de alta resistencia que contiene humo de sílice como reemplazo parcial del cemento Portland ordinario que incorpora superplastificantes y materiales locales de los Emiratos Árabes Unidos (EAU) mediante el estudio de sus propiedades mecánicas y durabilidad.</p>	<p>Influencia del plastificante para una trabajabilidad inicial objetiva.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Sustitución del cemento por humo de sílice en 5%, 7.5%, 10%, 12.5% y 15% - Relación de agua/cemento de 0.30 y 0.40 - Superplastificante (SP) aditivo reductor de agua de alto rango que cumple con ASTM C 494 tipo F - Resultados de resistencia a la compresión a edades de 7, 28 y 91 días - Resultados de asentamiento 	<p>La dosis de superplastificante necesaria para mantener un asentamiento inicial aumentó con la adición del porcentaje de humo de sílice usado en las mezclas de concreto; y las mezclas con relación de a/c más altas requieren menos superplastificante para mantener una trabajabilidad inicial asumida.</p>

Fuente: Elaboración propia

Anexo 4: Matriz M1 - Selección documental (3)

Autor(es)	Resumen	Ideas principales	Subtemas (Indicadores)	Conclusiones
Chen, J., Ng, P., Chu, S., Guan, G., & Kwan, A.	<p>Buscó verificar y revelar cómo y por qué la mezcla ternaria de cemento, Metacaolín (MK) y Humo de sílice (SF) mejora las propiedades frescas y endurecidas en el concreto con varios contenidos de MK y SF y una relación agua/cemento constante para fluidez, adhesividad, resistencia, además se agregó un superplastificante (SP) a base de policarboxilato en estado de solución acuosa .</p>	<p>Resultados de sus ensayos de resistencia a la compresión a la edad de 28 días, siendo evaluados para el concreto con adición de microsilíce con incorporación de superplastificante.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Reemplazo parcial de cemento por metacaolín y humo de sílice - Superplastificante a base de policarboxilato éter - Resultados de resistencia a la compresión a 28 días. 	<p>Los efectos de relleno del MK y SF están influenciados por la presencia de cualquier superplastificante (SP), que dispersa las partículas finas para reducir la aglomeración.</p>
Khaloo, A., Asadollahi, S., & Dehestani, M.	<p>Desarrollaron un nuevo método de diseño de mezclas para hormigón de ultra alta resistencia (UHSC) que incorpore humo de sílice. Al principio, el estudio se ocupa de los procedimientos, ventajas y desventajas de los métodos comunes de diseño de mezclas para producir UHSC, y luego presenta los procedimientos de diseño de mezclas del método propuesto seguidos de experimentos de validación.</p>	<p>Evaluación del diseño de mezcla del UHSC a diferentes relaciones de a/c y superplastificante.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - El humo de sílice fue reemplazado en 10%, 15% y 20% de la masa de cemento - Cuatro HRWRA disponibles comercialmente: PCE1 y PCE2 basados en policarboxilato éter (PCE) y NSF1 y NSF2 basados en naftaleno sulfonato formaldehído (NSF) - Relaciones de a/c de: 0.26, 0.23, 0.20 y 0.17 - Resultados de resistencia a la compresión a los 28 días 	<p>El hormigón de ultra alta resistencia se puede obtener con éxito con un método analítico, además la resistencia a la compresión disminuyó con un aumento en el contenido de agua en cualquier nivel de reemplazo de humo de sílice, siendo un papel importante del requerimiento inicial de agua para lograr la resistencia a la compresión superior a 100 MPa objetiva.</p>

Fuente: Elaboración propia

Anexo 5: Matriz M1 - Selección documental (4)

Autor(es)	Resumen	Ideas principales	Subtemas (Indicadores)	Conclusiones
E. Sanchez, J. Bernal, N. León, A. Moragues	El objetivo de este trabajo es obtener hormigones autocompactantes con nano-sílice, humo de sílice y mezclas binarias de ambas adiciones que satisfagan la demanda de altas resistencias mecánicas y durables.	Analizar la influencia de microsílice con superplastificante en un concreto autocompactante analizando su resistencia a la compresión, tracción y módulo de elasticidad.	<ul style="list-style-type: none"> - Resistencia al a compresión - Resistencia a la flexión - Superplastificante PCE 	En mezclas binarias y con la misma cantidad total de adiciones y a largas edades, los valores de la relación se aproximan a los valores intermedios de las dos adiciones en la misma proporción. El comportamiento singularmente bueno de la mezcla [nmSi]-2.5/2.5 podría sugerir que existe una relación optima de superficie /agua libre que mejoraría el comportamiento de cualquiera de las dos adiciones estudiadas individualmente.
Ženíšek Michal, Vlach Tomáš and Laiblová Lenka	Este artículo trata de una dosificación eficaz de humo de sílice en hormigón de alto rendimiento, en una proporción de 0-25% en peso de cemento. La resistencia a la compresión, el comportamiento reológico y los beneficios económicos fueron las principales cuestiones de este trabajo.	El objetivo de la investigación fue determinar la dosis óptima de humo de sílice desde estos puntos de vista: resistencia a la compresión, comportamiento reológico y beneficio económico. La relación cemento / humo de sílice (sf / c) se probó para la mezcla de referencia en el rango de 0 a 0.25.	<ul style="list-style-type: none"> - Resistencia al a compresión - Resistencia a la flexión - Superplastificante PCE 	La resistencia a la compresión más alta (140.5 MPa) se logró con un 25% de humo de sílice por peso de cemento. Sin embargo, se necesitó aproximadamente 2 minutos más de mezclado en comparación con las mezclas restantes. En el caso del tiempo de mezcla estándar, la resistencia a la compresión fue menor (129.9 MPa).

Fuente: Elaboración propia

Anexo 6: Matriz M1 - Selección documental (5)

Autor(es)	Resumen	Ideas principales	Subtemas (Indicadores)	Conclusiones
Li, L., Zheng, J., Zhu, J., & Kwan, A.	Investigaron los efectos combinados de Microsílice (MS) y Nanosílice (NS) sobre el comportamiento compresivo del hormigón. Para las pruebas se produjeron mezclas de hormigón con relación variable de agua/materiales cementosos (W/CM), contenido de MS y contenido de NS, pero una trabajabilidad similar. Las mezclas de hormigón se controlaron para que tuvieran la misma trabajabilidad requerida ajustando la dosis de superplastificante.	Investigaron los efectos combinados de Microsílice (MS) y Nanosílice (NS) sobre el comportamiento compresivo del hormigón	<ul style="list-style-type: none"> - Resultados de resistencia a la compresión a 28 días - Resultados de módulo de elasticidad - Resultados de asentamiento - Gráfica de variación de dosis de SP vs relación a//c 	Se puede concluir que las adiciones de MS y NS sin cambiar la relación W/CM disminuiría la trabajabilidad, pero la disminución de la trabajabilidad podría compensarse aumentando la dosis de SP. Con la misma relación W / CM, la adición de 0.5% a 1% de NS aumentaría sustancialmente la demanda de SP. Sin embargo, con la misma fuerza, la adición de NS no aumentaría significativamente la demanda de SP. Además, la adición combinada de 5% MS y 1% NS disminuiría efectivamente la demanda de SP a una resistencia a la compresión superior a 60 MPa

Fuente: Elaboración propia

Anexo 7: Matriz M1 - Selección documental (6)

Autor(es)	Resumen	Ideas principales	Subtemas (Indicadores)	Conclusiones
Khaloo, A., Mobino, M., & Hosseini, P.	Tuvieron como objetivo evaluar los efectos de aplicar ratios de reposición bajos (0.75% y 1.50% del peso del ligante) de nano-SiO ₂ con diferentes superficies específicas sobre las propiedades del hormigón de alto rendimiento (HPC). Realizaron pruebas mecánicas (resistencias a la tracción por compresión y tracción) para investigar los efectos macroscópicos y microscópicos de partículas nano-SiO ₂ sobre características de HPC.	Evaluar los efectos de aplicar ratios de reposición bajos (0.75% y 1.50% del peso del ligante) de nano-SiO ₂ con diferentes superficies específicas sobre las propiedades del hormigón de alto rendimiento (HPC).	<ul style="list-style-type: none"> - Resultados de asentamiento - Resultados de resistencia a la compresión a edades hasta los 91 días de diferentes relaciones a/c - Resultados de resistencia a la tracción de diferentes relaciones a/c 	El rendimiento de las partículas de nano-SiO ₂ dependía significativamente de sus áreas de superficie específicas y de la proporción de agua/aglutinante (a/c) de las mezclas. Al disminuir la relación de a/c de 0.35 a 0.25, las partículas de nano-SiO ₂ con menor área de superficie específica se desempeñaron mejor que las más finas (mayor área de superficie específica). Sin embargo, la influencia sobre las resistencias a la compresión y tracción varió debido a las diferencias en el rendimiento de las partículas de nano-SiO ₂ que afectaron las propiedades mecánicas y de durabilidad.

Fuente: Elaboración propia

Anexo 8: Matriz M1 - Selección documental (7)

Autor(es)	Resumen	Ideas principales	Subtemas (Indicadores)	Conclusiones
<p>Lei, D., Guo, L., Sun, W., Liu, J., Shu, X., & Guo, X.</p>	<p>Investigaron la influencia de las propiedades físicas y químicas del humo de sílice modificado sobre el rendimiento de los materiales a base de cemento. Este artículo analiza en detalle el efecto de la solución modificada con diferentes concentraciones y valores de pH sobre la cantidad de adsorción de iones de calcio en la superficie del humo de sílice, por lo que determinaron el sistema modificado óptimo.</p>	<p>Influencia de las propiedades físicas y químicas del humo de sílice modificado sobre el rendimiento de los materiales a base de cemento</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Superplastificante Sika Co - Cantidad de adsorción del superplastificante de policarboxilato - Resistencia a la compresión a edades de 3, 7 y 28 días 	<p>La cantidad de adsorción de copolímeros de policarboxilato sobre la superficie del humo de sílice modificado aumenta obviamente, la fracción de dispersión homogénea del humo de sílice modificado en la solución de poros de cemento simulada aumenta significativamente. Los efectos del humo de sílice modificado sobre la fluidez, las propiedades mecánicas, el calor de hidratación, el agua no evaporable, los productos de hidratación, la estructura de los poros y la morfología de los materiales a base de cemento son optimizadores que el humo de sílice comercial.</p>

Fuente: Elaboración propia

Anexo 9: Matriz M1 - Selección documental (8)

Autor(es)	Resumen	Ideas principales	Subtemas (Indicadores)	Conclusiones
Isfahani, F., Redaelli, E., Lollini, F., Li, W., & Bertolini, L.	Investigaron los efectos de la adición de diferentes dosis de nanosílice (0.5%, 1% y 1.5% con respecto al cemento) sobre las propiedades de resistencia a la compresión y durabilidad del hormigón con relaciones agua/aglutinante de 0.65, 0.55 y 0.5	Efectos del nanosílice sobre las propiedades de resistencia a la compresión del hormigón con relaciones de agua/aglutinante distintas.	<ul style="list-style-type: none"> - Resultados de asentamiento - Resultados de resistencia a la compresión a 7 y 28 días 	Los resultados mostraron que la resistencia a la compresión mejoró significativamente en el caso de agua/aglutinante = 0.65, mientras que para agua/aglutinante = 0.5 no se encontraron cambios. Al aumentar el contenido de nanosílice, la capacidad de absorción del agua disminuyó solo para agua/aglutinante = 0.55.
Shaikh, F., & Supit, S.	Presentan los efectos de cinco tipos diferentes de superplastificantes sobre la trabajabilidad y la resistencia a la compresión de pastas de cemento que contienen partículas de nanosílice (NS) y carbonato de nanocalcio (NC) cada una al 2% en peso como reemplazo parcial del cemento.	Efectos de los superplastificantes sobre la trabajabilidad y la resistencia a la compresión de pastas de cemento que contienen partículas de nanosílice (NS) y carbonato de nanocalcio (NC).	<ul style="list-style-type: none"> - Propiedades físicas y químicas de los superplastificantes - Resultados de resistencia a la compresión a los 3, 7 y 28 días 	Los resultados muestran que la solución SP2 mostró la máxima mejora en la trabajabilidad de las pastas que contienen ambas nanopartículas entre todos los SP considerados en este estudio. Independientemente de NS y NC, su dispersión ultrasónica en solución SP aseguró una mejor dispersión que otros métodos de mezcla y, por lo tanto, una mejor trabajabilidad. El aumento máximo de la resistencia a la compresión se observa cuando las nanopartículas se dispersan en el superplastificante (SP4).

Fuente: Elaboración propia

Anexo 10: Matriz M1 - Selección documental (9)

Autor(es)	Resumen	Ideas principales	Subtemas (Indicadores)	Conclusiones
Ahari, R., Erdem, T., & Ramyar, K.	Investigaron las propiedades reológicas de 57 mezclas de concreto autocompactante (SCC) con varios materiales cementosos suplementarios (SCM) para obtener un valor de asentamiento constante.	Demanda de HRWR en las mezclas de cemento binarios y ternarios.	-Las concentraciones de HRWR para producir un diámetro de flujo de asentamiento de 650 mm para cada mezcla de SCC para diferente relaciones de a/c	Para un mismo valor de asentamiento, las mezclas que contiene SF, MK y FAC muestran una mayor demanda de HRWR en comparación con las mezclas hechas con FAF, BFS y solo PC, el SF presenta mayor demanda de HRWR en mezclas de SCC, en todas las mezclas de SCC el contenido de HRWR aumenta a medida que la relación de a/c disminuía.
Ženíšek, M., Vlach, T., & Laiblová, L.	Este artículo trata sobre las formas de método de mezclado para hormigón con una relación agua-cemento (a/c) extremadamente baja típica de los hormigones de rendimiento ultra alto. Para ello, se utilizó la mezcla con una relación a / c de 0,2 y una cantidad de superplastificantes del 6% en peso de cemento.	El objetivo de la investigación fue explorar y resumir las ventajas y desventajas de varios métodos de mezcla. Trabajabilidad, consumo eléctrico durante la mezcla y cambios de la resistencia.	-Resistencia a la compresión - Resultados de asentamiento - Superplastificante PCE - Microsílice	Las resistencias a la compresión y a la flexión medidas fueron prácticamente las mismas para todas las mezclas preparadas, lo que indica que todas las mezclas ensayadas estaban bien preparadas.

Fuente: Elaboración propia

Anexo 11: Matriz M1 - Selección documental (10)

Autor(es)	Resumen	Ideas principales	Subtemas (Indicadores)	Conclusiones
Li, P., Yu, Q., & Brouwers, H.	Investigaron el efecto y comprensión del mecanismo del superplastificante (SP) de tipo PCE sobre el potencial zeta de las partículas, el flujo de propagación, la cinética de hidratación, el tiempo de fraguado, la contracción autógena y la contracción química de las pastas de UHPC en edades tempranas. Además, analizaron la capacidad de dispersión y retención de fluidos del SP, el efecto retardador del SP, los efectos del proceso físico y químico.	Efectos del mecanismo del superplastificante tipo PCE sobre el tiempo de fraguado y flujo de propagación en las pastas de UHPC en edades tempranas	<ul style="list-style-type: none"> - Composición química de los superplastificantes tipo PCE '- Flujo de esparcimiento - Flujo de propagación - Resultados de resistencia a la compresión y flexión a 1, 3 y 7 días 	La capacidad de dispersión del SP tipo PCE está determinada por su estructura química, que muestra una relación exponencial entre la fluidez de las pastas y las dosis de SP. Las capacidades de retención de líquidos de los UHPC son sensibles a la proporción de agua a polvo, mientras que la adición adicional de SP no mejorará la vida útil después de exceder la dosis de saturación. Tanto el PCE adsorbido como el PCE que permanece en la fase acuosa contribuyen al efecto de retardo. El efecto de retardo de los polímeros PCE conduce al retraso del proceso de hidratación, lo que en consecuencia conduciría a un desarrollo más lento de la resistencia temprana del UHPC.
Campos, T., & Geyer, A.	Produjeron dos mezclas de hormigón con los mismos materiales y proporciones idénticas, pero con diferentes superplastificantes, uno con nanosílice (CnS) y otro sin nanosílice (CC) utilizado como referencia para analizar los efectos de la presencia de aditivo mineral en el desarrollo de la consistencia y la resistencia mecánica del hormigón.	Evaluar los efectos del uso de aditivos superplastificantes con nanosílice en suspensión coloidal en la consistencia y resistencia mecánica del hormigón.	<ul style="list-style-type: none"> -Resistencia a la compresión - Resistencia a la Flexión - Resistencia a la Tracción - Flujo de asentamiento - Superplastificante PCE - Microsílice, Nanosílice 	Con respecto a la resistencia mecánica, la presencia de nS en el aditivo contribuyó a la ganancia en la capacidad de carga del hormigón, ampliando las posibilidades de aplicación de la mezcla. Finalmente, a partir de los resultados obtenidos en esta investigación, es posible notar el efecto del aditivo superplastificante con nanosílice en suspensión coloidal sobre la consistencia y resistencia mecánica de los hormigones.

Fuente: Elaboración propia

Anexo 12: Matriz M1 - Selección documental (11)

Autor(es)	Resumen	Ideas principales	Subtemas (Indicadores)	Conclusiones
Saridemir, M., Severcan, M., Çiflikli, M., & Acer, Ş.	Investiga el efecto del hormigón de alta resistencia (HSC) fabricado con humo de sílice (SF) y piedra pómez molida (GP). El cemento Portland fue reemplazado por SF, GP y combinación de SF y GP hasta un 25%. Además, los resultados experimentales indican que SF y SF en combinación con GP pueden mejorar las propiedades del hormigón tanto a corto como a largo plazo, mientras que GP necesita un tiempo comparativamente más largo para obtener un efecto adecuado.	El principal objetivo de este artículo es evaluar el efecto de SF, GP y SF en combinación con GP sobre las propiedades de resistencia a largo y corto plazo de HSC. Hay tres series de experimentos en esta investigación.	<ul style="list-style-type: none"> - Resistencia a la compresión - Resistencia a la Flexión - Resistencia a la Tracción - Flujo de asentamiento - Superplastificante PCE 	Los resultados experimentales indican que HSC se puede obtener con SF, GP y SF en combinación con GP. En particular, se recomienda que el 15% en peso de SF se pueda utilizar como reemplazo del cemento para obtener HSC con excelentes propiedades.
Gesoglu, M., Güneyisi, E., Sabah Asaad, D., & Muhyaddin, G.	Investigan el efecto del uso de mezclas binarias y ternarias de nanosílice (NS) y microsílice sobre las propiedades mecánicas de compuestos cementosos de bajo aglutinante de ultra alto rendimiento (UHPC). Para ello, se diseñaron dos grupos de hormigón con y sin humo de sílice por peso de cemento con una relación agua/ ligante constante.	Influencia del SP sobre la combinación binaria y ternaria de los concretos.	<ul style="list-style-type: none"> - Resistencia a la compresión a los 1, 3, 7, 14, 28, 56 y 90 días - Resistencia a la tracción a los 1, 3, 7, 14, 28, 56 y 90 días - Superplastificante a base de policarboxilato - Relación a/c de 0.20 	Los hormigones con 1% NS o 10% SF tenían una demanda de superplastificantes comparable que coincidía bien con el comportamiento observado en las resistencias a la compresión. La mejora bastante limitada de la resistencia con el uso de NS también se atribuyó al aumento del superplastificante en aras de la trabajabilidad constante.

Fuente: Elaboración propia

Anexo 13: Matriz M1 - Selección documental (12)

Autor(es)	Resumen	Ideas principales	Subtemas (Indicadores)	Conclusiones
Sadrmomtazi, A., Tajasosi, S., & Tahmouresi, B.	Investigan los efectos de las proporciones de los materiales constituyentes sobre la resistencia mecánica y la microestructura del UHPC y también intenta evaluar las propiedades reológicas del UHPC utilizando una prueba de flujo de compresión.	Efecto del contenido de SF, las dosis de SP y la relación a/c sobre las propiedades frescas, la resistencia mecánica y la microestructura del UHPC	<ul style="list-style-type: none"> - Resistencia a la compresión a los 28 días - Resistencia a la flexión - Superplastificante a base de policarboxilato - Relación a/c de 0.20 	La elección de un SP adecuado es de suma importancia, por lo que si no se elige bien su composición con matriz cementosa, se produzca una disminución de la fluidez y reología.
Wu, Z., Shi, C., Khayat, K., & Wan, S.	En este estudio, los efectos de diferentes nano-CaCO ₃ y nano-SiO ₂ contenido en la capacidad, el calor de hidratación, las propiedades mecánicas, el cambio de fase y la estructura de los poros del hormigón de ultra alta resistencia (UHSC) fueron Investigado.	Se investigaron cinco contenidos diferentes de cada nanomaterial. Las fases cristalinas y la estructura de los poros de las muestras se investigaron mediante gravimetría térmica (TG) y porosimetría de intrusión de mercurio (MIP), respectivamente. El estudio busca comprender los mecanismos de hidratación de este tipo y contenido de nanomateriales.	<ul style="list-style-type: none"> - Resistencia a la compresión, resistencia a la flexión - Superplastificante PCE - Microsílice, Nanosílice 	Aunque los nanomateriales pueden llenar los huecos entre las partículas de cemento para reemplazar parte del agua atrapada y, en consecuencia, aumente la cantidad de agua libre. Se adsorbería más agua libre y superplastificante en la superficie de los nanomateriales debido a su gran superficie, lo que provocaría una disminución del contenido de agua libre y, por lo tanto, aumentaría la demanda de agua.

Fuente: Elaboración propia

Anexo 14: Matriz M1 - Selección documental (13)

Autor(es)	Resumen	Ideas principales	Subtemas (Indicadores)	Conclusiones
Nili, M., & Ehsani, A.	En el presente trabajo investigan el efecto de nanosílice sobre las propiedades de resistencia del hormigón y la pasta de cemento correspondiente a edades tempranas y mayores. También se realizó un estudio de microestructura por SEM, XRD y EDS para conocer las razones de los resultados obtenidos	Investigar su efecto sobre las propiedades de resistencia del hormigón y la pasta de cemento correspondiente a edades tempranas y mayores.	<ul style="list-style-type: none"> - Resistencia a la compresión - Superplastificante PCE - Microsílice, Nanosílice 	Seleccionaron las dosis adecuadas de superplastificante para ajustar la consistencia de las mezclas, evitar el sangrado y promover la dispersión de nanopartículas, microsílice y cemento-partículas para alcanzar la resistencias adecuadas.
Torres, A., Aguayo, F., Allena, S., & Ellis, M.	Evaluar el impacto de varios superplastificantes en el rendimiento del hormigón de ultra alta resistencia (UHSC)	Impacto de varios superplastificantes en el rendimiento del hormigón de ultra alta resistencia (UHSC)	<ul style="list-style-type: none"> - Utilizaron cuatro tipos superplastificantes: dos superplastificantes basados en policarboxilatos éter (PCE) diferentes de un fabricante líder, un superplastificante polinaftaleno sulfonato (PNS), y un superplastificante PCE local - Relación a/c de 0.15 y 0.20 <p>Resultados de resistencia a la compresión a las edades de 7, 14 y 28 días</p>	Los dos productos de marca produjeron las viscosidades más bajas, la mayor dispersión del mortero y las resistencias a la compresión más altas. Mientras que los resultados de los dos superplastificantes del proveedor local fueron los opuestos, con la viscosidad más alta, lo que produjo una menor dispersión del mortero y una menor resistencia a la compresión.

Fuente: Elaboración propia

Anexo 15: Matriz M1 - Selección documental (14)

Autor(es)	Resumen	Ideas principales	Subtemas (Indicadores)	Conclusiones
Vidya, B., Blessy Zion, G., & Rao, K.	Investigaron la influencia del tiempo de mezclado en las propiedades del hormigón fresco del concreto de alta resistencia (HSC) a través del efecto de CONPLAST SP-430 durante 3 (C-3) y 5 minutos de mezcla (C-5), por ello observaron el efecto del período de mezcla para conocer el efecto de los parámetros sobre el hormigón fresco.	efecto del período de mezcla para conocer el efecto de los parámetros sobre el hormigón fresco.	<ul style="list-style-type: none"> - Lograr un HSC de 95 MPa usando un 10% de reemplazo de cemento con microsílíce y superplastificante - Superplastificante CONPLAST SP 430 - Resultados de resistencia a la compresión a los 1, 3, 7 y 28 días. - Resultados de asentamiento. 	El aumento del tiempo de mezcla da como resultado una distribución más uniforme del producto de hidratación, lo que da como resultado una mayor resistencia a la compresión, también que con el aumento en el tiempo de mezcla, la resistencia a la compresión aumenta con una menor dosis de CONPLAST SP 430.
Perumal, D., Senthilkumar, S., & Sekar, K.	En este artículo formula un procedimiento para diseñar un HPC mediante la combinación de métodos de diseño de mezcla utilizando aditivos superplastificante y aditivos microsílíce. Se han llevado a cabo investigaciones experimentales en las muestras de HPC para determinar la trabajabilidad y las propiedades relacionadas con la resistencia.	Los objetivos de la presente investigación son desarrollar un procedimiento de diseño de mezcla simplificado, especialmente para HPC, variando el porcentaje de reemplazo de cemento por SF (0-15%) a una dosis constante de superplastificante, basado en los métodos de mezcla del código BIS y ACI. procedimiento de diseño y literatura disponible sobre HPC.	<ul style="list-style-type: none"> - Resistencia a la compresión, flexión y tracción - Flujo de asentamiento - Superplastificante PCE - Microsílíce 	El porcentaje óptimo de reemplazo de cemento por SF es del 10% para las pruebas anteriores para los grados de concreto M80 y M100. La resistencia a la compresión máxima alcanzada fue de 122.10 MPa a la edad de 56 días, resistencia a la flexión 10.4 MPa.

Fuente: Elaboración propia

Anexo 16: Matriz M1 - Selección documental (15)

Autor(es)	Resumen	Ideas principales	Subtemas (Indicadores)	Conclusiones
Motahari, S., Ramezaniapour, A., Ebadi, T., Isapour, S., & Karakouzian, M.	<p>El uso de humo de sílice como reemplazo parcial del cemento disminuiría la fluidez de las mezclas de concreto. Si esta reducción de la fluidez se compensa con un aumento de agua, entonces, debido a un aumento en la proporción de agua a aglutinante, no se producirá ninguna mejora al reemplazar parcialmente el cemento con humo de sílice. El uso de aditivos reductores de agua, como plastificantes y superplastificantes, podría permitir mejoras mediante el uso de humo de sílice.</p>	<p>Evaluaron cómo mejoran las propiedades del hormigón endurecido y cómo una aplicación facilita el proceso si se utiliza la técnica de granulación húmeda para aumentar la densidad del humo de sílice que se mezcla con superplastificante sólido.</p>	<p>-Resultados de resistencia a la compresión a los 7, 28 y 90 días - Pruebas de absorción - Volumen de huecos permeables en muestras - Superplastificante sólido de sulfanato de formaldeide de naftaleno y HWRA líquido</p>	<p>Un aumento en la resistencia y la resistividad eléctrica de la superficie, y una disminución en la permeabilidad tanto para el humo de sílice en suspensión como para los gránulos, en comparación con la muestra de control, por lo que el humo de sílice granular podría ser un sustituto confiable del humo de sílice en suspensión en varias aplicaciones de construcción debido a la conveniencia de su transporte, mantenimiento y aplicación.</p>
Kostrzanowska-Siedlarz, A., & Golaszewski, J.	<p>Utilizando reometría, investigan los vínculos entre el asentamiento (límite elástico g), el tiempo de asentamiento (viscosidad plástica h) y la composición de la mezcla de HPSCC y el tiempo. Propone un modelo estadístico que destaca los roles relativos de los elementos del diseño de la mezcla, concluyendo que el contenido de pasta de cemento y la relación a/c son solo dos parámetros significativos del diseño de la mezcla debido a las propiedades reológicas adecuadas.</p>	<p>La influencia de los factores de composición seleccionados sobre las propiedades reológicas del hormigón para el concreto autocompactante de alto rendimiento (HPSCC) y sus cambios a lo largo del tiempo fue el objetivo del estudio.</p>	<p>- Resultados de resistencia a la compresión a 28 días - Superplastificante a base de polieter</p>	<p>Muestran que el aumento del volumen de pasta de cemento y/o la relación a/c y/o la adición de superplastificante o la reducción del volumen de humo de sílice y/o la reducción de arena aumenta el asentamiento (disminución del límite elástico) y al mismo tiempo reduce el tiempo de asentamiento del hormigón fresco (reducción de la viscosidad plástica).</p>

Fuente: Elaboración propia

Anexo 17: Matriz M2 - Presentación y justificación de subtemas y su conexión con los objetivos de investigación

Subtemas (Indicadores)	Definición / Justificación del subtema	Objetivos específicos
Asentamiento con aditivos de cadena corta	El asentamiento es la contracción vertical de los materiales cementantes frescos, antes del inicio de fraguado, la adición de aditivos de cadena corta tiene la capacidad de reducir agua hasta alcanzar valores superiores del 12% para tener una determinada consistencia del concreto.	Analizar los porcentajes de aditivos de cadena corta para mejorar el asentamiento del concreto con microsílíce
Asentamiento con aditivos de cadena larga	El asentamiento es la contracción vertical de los materiales cementantes frescos, antes del inicio de fraguado, la adición de aditivos de cadena larga tiene la capacidad de reducir agua hasta alcanzar valores superiores hasta el 42%, capaces de varias enormemente la trabajabilidad del concreto.	Analizar los porcentajes de aditivos de cadena larga para mejorar el asentamiento del concreto con microsílíce
Resistencia mecánica con aditivos de cadena corta	El concreto con la adición de aditivos de cadena corta normalmente se obtiene un aumento de la resistencia mecánica porque se disminuye la relación agua-cemento.	Analizar la relación agua/cementante en el diseño con aditivos de cadena corta para mejorar las propiedades mecánicas del concreto con microsílíce
Resistencia mecánica con aditivos de cadena larga	El concreto con la adición de aditivos de cadena larga se obtiene un aumento de la resistencia mecánica porque se disminuye la relación agua-cemento.	Analizar la relación agua/cementante en el diseño con aditivos de cadena larga para mejorar las propiedades mecánicas del concreto con microsílíce

Fuente: Elaboración propia

Anexo 18: Matriz M3 - Síntesis por subtema (1)

Autor(es)	Aditivo mineral	SUBTEMAS (Indicadores) 1	SUBTEMAS (Indicadores) 2	SUBTEMAS (Indicadores) 3	SUBTEMAS (Indicadores) 4
Alsaman, A., Dang, C., & Hale, W.	Microsílice	NP	NP	NP	Humo de sílice en 5, 10, 15 y 20% como reemplazo del cemento Superplastificante a base de carboxilato Resistencia a la compresión a los 1, 7, 28, 56 y 90 días Relación a/c de 0.20
Khodabakhshian, A., Ghalehnovi, M., de Brito, J., & Shamsabadi, E.	Microsílice	NP	Pruebas de asentamiento, para mantener un objetivo de 80 ± 10 mm (clase de asentamiento S2)	NP	Utilizaron SF en 0%, 2.5%, 5% y 10% como reemplazo de cemento Portland Utilizaron un superplastificante de policarboxilato-éter, suministrado por Shimi Sakhteman Co Relación a/c de 0.45
Smarzewski, P.	Microsílice	NP	NP	NP	Adiciones de humo de sílice en 0%, 5%, 10%, 15%, 20% y 25% en peso de contenido de cemento Superplastificante a base de policarboxilato éter Resistencia a la compresión y tracción a los 28 días Relación a/c de 0.25
Reem, S., & Abdulhameed, H.	Microsílice	NP	Resultados de asentamiento de acuerdo al porcentaje de SP% para una trabajabilidad objetiva de 150 ± 20 mm	NP	Porcentajes de reemplazo de humo de sílice de 5%, 7.5%, 10%, 12.5% y 15% Superplastificante (SP) aditivo reductor de agua de alto rango que cumple con ASTM C 494 tipo F Resultados de resistencia de compresión a los 7, 28 y 90 días Relación a/c de 0.40 y 0.30

Fuente: Elaboración propia

Anexo 19: Matriz M3 - Síntesis por subtema (2)

Autor(es)	Aditivo mineral	SUBTEMAS (Indicadores) 1	SUBTEMAS (Indicadores) 2	SUBTEMAS (Indicadores) 3	SUBTEMAS (Indicadores) 4
Chen, J., Ng, P., Chu, S., Guan, G., & Kwan, A.	Microsílice	NP	La fluidez estática de la pasta aglutinante siguió el método del mini cono de asentamiento Resultados de dispersión del flujo	NP	Humo de sílice en 5%, 10%, 15%, 20% y 25% en reemplazo del cemento Superplastificante (SP) a base de policarboxilato en estado de solución acuosa Resistencia a la compresión a los 28 días Relación a/c 0.60
Khaloo, A., Asadollahi, S., & Dehestani, M.	Microsílice	Prueba de cono de Marsh ASTMD6910 Cantidad de HRWRA para mantener un asentamiento mínimo de 100 mm (dosis de 1.6%)	Prueba de cono de Marsh ASTMD6910 Cantidad de HRWRA para mantener un asentamiento mínimo de 100 mm (dosis de 1% y 1.6%)	Humo de sílice fue utilizado para reemplazar el 10%, 15% y 20% de la masa de cemento Dos HRWRA disponibles comercialmente: NSF1 y NSF2 basados en naftaleno sulfonato formaldehído (NSF) Resistencia a la compresión a los 28 días Relación a/c de 0.26, 0.23, 0.20 y 0.17	Humo de sílice fue utilizado para reemplazar el 10%, 15% y 20% de la masa de cemento Dos HRWRA disponibles comercialmente: PCE1 y PCE2 basados en policarboxilato éter (PCE) Resistencia a la compresión a los 28 días Relación a/c de 0.26, 0.23, 0.20 y 0.17

Fuente: Elaboración propia

Anexo 20: Matriz M3 - Síntesis por subtema (3)

Autor(es)	Aditivo mineral	SUBTEMAS (Indicadores) 1	SUBTEMAS (Indicadores) 2	SUBTEMAS (Indicadores) 3	SUBTEMAS (Indicadores) 4
E. Sanchez, J. Bernal, N. León, A. Moragues	Microsílice	NP	NP	NP	Se utilizó un Superplastificante Sika Viscocrete 5720 en 2% a 6%. Además, se la agrego humo de sílice Elkem MicrosilicaMS 940 en proporciones de 2.5% a 8%. Se ensayó por resistencia a la compresión y tracción. La relación a/c es 0.36
Ženíšek Michal, Vlach Tomáš and Laiblová Lenka	Microsílice	NP	Se ensayaron las probetas para el asentamiento	NP	Se utilizó un Superplastificante Sika Viscocrete 5720 en 2% a 6%. Además, se la agrego nanosílice Levasil 200/40% en dosis de 2.5% a 8%. Se ensayó por resistencia a la compresión y tracción. La relación a/c es 0.36 Se usó un superplastificante a base de policarboxilato, adicionando humo de sílice marca Elkem 940 US en proporción de 0 a 0.20 respecto al cemento. Se ensayó por resistencia a la compresión. La relación a/c es desde 0.23 a 0.3.
Li, L., Zheng, J., Zhu, J., & Kwan, A.	Microsílice y nanosílice	NP	Añadieron el SP a la mezcla de concreto en pequeños incrementos hasta un asentamiento de 150 ± 50 mm (100-200 mm) Resultados de asentamiento	NP	Contenido de MS varió entre 0% y 5% y el contenido de NS varió entre 0%, 0.5% y 1% Superplastificante a base de policarboxilato Relación a/c de 0.30, 0.35, 0.40 y 0.45

Fuente: Elaboración propia

Anexo 21: Matriz M3 - Síntesis por subtema (4)

Autor(es)	Aditivo mineral	SUBTEMAS (Indicadores) 1	SUBTEMAS (Indicadores) 2	SUBTEMAS (Indicadores) 3	SUBTEMAS (Indicadores) 4
Khaloo, A., Mobino, M., & Hosseini, P.	Nanosílice	NP	Asentamiento constante de 26 ± 1 cm, SP en diferentes dosis. Pero los resultados de asentamiento difieren con asentamiento objetivo	NP	Dos tipos de Nanosílice (N200 y N380) en 0.75% y 1.50% del peso de ligante Superplastificante a base de policarboxilato Resultados de resistencia a la compresión y tracción a los 3, 28 y 91 días Relación a/c de 0.25, 0.30 y 0.35
Lei, D., Guo, L., Sun, W., Liu, J., Shu, X., & Guo, X.	Microsílice	NP		NP	Humo de sílice Elkem Carbon Co Superplastificante de policarboxilato de Sika Co, dosis en 1% Resistencia a la compresión y flexión a los 3, 7 y 28 días Relación a/c de 0.29
Isfahani, F., Redaelli, E., Lollini, F., Li, W., & Bertolini, L.	Nanosílice	NP	Resultados de asentamiento de	NP	Dosis de nanosílice (0.5%, 1% y 1.5% con respecto al cemento) No especifican el tipo de superplastificante utilizado Resultados de resistencia a la compresión a los 7 y 28 días Relación a/c de 0.5, 0.55 y 0.65

Fuente: Elaboración propia

Anexo 22: Matriz M3 - Síntesis por subtema (5)

Autor(es)	Aditivo mineral	SUBTEMAS (Indicadores) 1	SUBTEMAS (Indicadores) 2	SUBTEMAS (Indicadores) 3	SUBTEMAS (Indicadores) 4
Shaikh, F., & Supit, S.	Nanosílice	NP	Resultados de flujo de asentamiento	Partículas de nanosílice (NS) y carbonato de nanocalcio (NC) cada una al 2% en peso como reemplazo parcial del cemento 03 Superplastificantes de cadena corta: a base de sulfonato de naftaleno modificado, polímero a base de poliéter en agua, Solución a base de sales inorgánicas y compuestos orgánicos modificados Resultados de resistencia a compresión a los 3, 7 y 28 días Relación a/c de 0.40	Partículas de nanosílice (NS) y carbonato de nanocalcio (NC) cada una al 2% en peso como reemplazo parcial del cemento 02 Superplastificantes de cadena larga: Solución acuosa a base de tensioactivo y a base de policarboxilato éter Resultados de resistencia a compresión a los 3, 7 y 28 días Relación a/c de 0.40

Fuente: Elaboración propia

Anexo 23: Matriz M3 - Síntesis por subtema (6)

Autor(es)	Aditivo mineral	SUBTEMAS (Indicadores) 1	SUBTEMAS (Indicadores) 2	SUBTEMAS (Indicadores) 3	SUBTEMAS (Indicadores) 4
Ahari, R., Erdem, T., & Ramyar, K.	Microsílice	NP	Humo de sílice en 4%, 8% y 12% del peso de cemento HRWR a base de policarboxilato de éter conforme a ASTM C494 Tipo F Relación a/c de 0.44, 0.50 y 0.56 Las dosis de HRWR usadas en las mezclas se ajustaron para asegurar un flujo de asentamiento inicial de 650 ± 10 mm	NP	NP
Li, P., Yu, Q., & Brouwers, H.	Nanosílice	NP	Resultados de fluidez y vida útil de los asentamientos	NP	Cuatro tipos de superplastificantes Resultados de resistencia a la compresión a los 1, 3 y 7 días Relación a/c de 0.2
Ženíšek, M., Vlach, T., & Laiblová, L.	Microsílice	NP	Ensayo de asentamiento	NP	Se utilizó un superplastificante en 6%, con adición de microsílice. Se ensayaron por flexión, tracción y compresión. La relación a/c 0.2
Campos, T., & Geyer, A.	Nanosílice	NP	Ensayos de asentamiento para el concreto con adición de humo de sílice y de superplastificante TEC FLOW 50N Ensayos de asentamiento para el concreto con adición de humo de sílice y de superplastificante con adición coloidal de nanosílice Silicon NS AD 400	NP	Superplastificante TEC FLOW 50N con adición de humo de sílice. Fue ensayado por Compresión a los 28 días. Relación a/c de 0.40 Superplastificante con adición coloidal de nanosílice Silicon NS AD 400. Fue ensayado por compresión a los 28 días. Relación a/c de 0.40

Fuente: Elaboración propia

Anexo 24: Matriz M3 - Síntesis por subtema (7)

Autor(es)	Aditivo mineral	SUBTEMAS (Indicadores) 1	SUBTEMAS (Indicadores) 2	SUBTEMAS (Indicadores) 3	SUBTEMAS (Indicadores) 4
Saridemir, M., Severcan, M., Çiflikli, M., & Acer, Ş.	Microsílice	NP	Todas las muestras se diseñaron para tener los mismos valores de asentamiento 140 ± 20 mm.	NP	Se utilizó superplastificante Glenium 51 en 2.5, 3, 3.5 y 4%, además de la adición de humo de sílice en 5, 10, 15, 20 y 25 %. Se ensayó por compresión, tracción, flexión de manera experimental. Manteniendo una a/c de 0.25
Gesoglu, M., Güneyisi, E., Sabah Asaad, D., & Muhyaddin, G.	Microsílice y nanosílice	NP	NP	NP	Resultados de resistencia a la compresión a los 1, 3, 7, 14, 28, 56 y 91 días Resultados de resistencia a la flexión a los 7, 28 y 91 días
Sadrumontazi, A., Tajasosi, S., & Tahmouresi, B.	Microsílice	NP	NP	NP	Resultados de resistencia a la compresión a los 7 y 28 días Resultados de resistencia a la flexión a los 28 días
Wu, Z., Shi, C., Khayat, K., & Wan, S.	Microsílice, Nano-CaCO ₃ , Nano-SiO ₂	NP	Resultados de asentamiento	NP	Resultados de resistencia a la compresión y flexión a los 1, 3, 7, 28 y 91 días
Nili, M., & Ehsani, A.	Microsílice	NP	Resultados de asentamiento	NP	

Fuente: Elaboración propia

Anexo 25: Matriz M3 - Síntesis por subtema (8)

Autor(es)	Aditivo mineral	SUBTEMAS (Indicadores) 1	SUBTEMAS (Indicadores) 2	SUBTEMAS (Indicadores) 3	SUBTEMAS (Indicadores) 4
Torres, A., Aguayo, F., Allena, S., & Ellis, M.	Microsílice	NP	NP	Un superplastificante de polinaftaleno sulfonato (PNS) Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días Relación a/c de 0.20 y 0.15	Dos superplastificantes basados en policarboxilatos éter (PCE) diferentes de un fabricante líder y un PCE local Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días Relación a/c de 0.20 y 0.15
Vidya, B., Blessyzion, G., & Rao, K.	Microsílice	Ensayos de asentamiento al mezclar el superplastificante en diferentes tiempos (3 y 5 minutos)	NP	Superplastificante CONPLAST SP 430 a base de naftaleno sulfonato humo de sílice Elkem India en dosis de 10% Ensayos de resistencia a la tracción, flexión y compresión Relación a/c de 0.25	NP
Perumal, D., Senthilkumar, S., & Sekar, K.	Microsílice	Ensayos para estado fresco	NP	Superplastificante CONPLAST SP 430 a base de naftaleno sulfonato es cte. Además, el humo de sílice es Elkem India que fue probado en dosis de 0% a 15%. Se ensayó por tracción, flexión y compresión. La relación a/c es	NP

Fuente: Elaboración propia

Anexo 26: Matriz M3 - Síntesis por subtema (9)

Autor(es)	Aditivo mineral	SUBTEMAS (Indicadores) 1	SUBTEMAS (Indicadores) 2	SUBTEMAS (Indicadores) 3	SUBTEMAS (Indicadores) 4
Motahari, S., Ramezaniapour, A., Ebadi, T., Isapour, S., & Karakouzian, M.	Microsílice	La prueba de asentamiento en concreto fresco se realizó de acuerdo con el método de prueba ASTM C143	NP	Humo de sílice granulado (GSF) y humo de sílice en suspensión (SSF) Superplastificante de un sólido basado en sulfonato de formaldeide de naftaleno Resistencia a la compresión a los 7, 28 y 90 días Relación a/c de 0.35 y 0.45 Condensado de humo de sílice en 5% y 10% Superplastificante a base de poliéter	NP
Kostrzanowska-Siedlarz, A., & Golaszewski, J.	Microsílice	Resultados de flujo de asentamiento a los 20 y 60 minutos	NP	Resistencia a la compresión a los 28 días Relación a/c de 0.30, 0.38 y 0.34	NP

Fuente: Elaboración propia