



UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Microsílice como adición del cemento para reducir la permeabilidad del
concreto de alta resistencia

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTORES

Mejia Mestanza, Mauricio Jesus
ORCID: 0000-0001-5490-8805

Quispe Reyes, Luis Enrique
ORCID: 0000-0002-8947-6958

ASESORA

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

Lima, Perú

2022

Metadatos Complementarios

Datos de los autores

Mejia Mestanza, Mauricio Jesus

DNI: 73791081

Quispe Reyes, Luis Enrique

DNI: 72480654

Datos de asesor

Chavarría Reyes, Liliana Janet

DNI: 25481792

Datos del jurado

JURADO 1

Carlos Magno, Chavarry Vallejos

DNI: 07410234

ORCID: 0000-0003-0512-8954

JURADO 2

Óscar, Donayre Córdova

DNI: 06162939

ORCID: 0000-0002-5142-3789

JURADO 3

César Roberto, Torres Chung

DNI: 41182279

ORCID: 0000-0002-3212-2817

Datos de la investigación

Campo del conocimiento OCDE: 02.01.01

Código del Programa: 732016

DEDICATORIA

Dedico esta investigación a mis padres que han sido el principal soporte y motivo en toda mi carrera universitaria y para la realización de esta investigación.

Mauricio Jesus Mejia Mestanza

Esta tesis es dedicada a mis padres por su inmenso apoyo, en los momentos más difíciles de mi carrera y para todos amigos que siempre me aportaron con sus ánimos en los tiempos de adversidad.

Luis Enrique Quispe Reyes

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Ing. Chavarría por sus enseñanzas y apoyo durante todo el curso y al Dr. Ing. Chavarry por su dedicación y disposición permanente con los alumnos.

Mauricio Jesus Mejia Mestanza y Luis Enrique Quispe Reyes

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	viii
ABSTRACT	ii
INTRODUCCIÓN	iii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. Descripción del problema	1
1.2. Formulación del problema.....	2
1.2.1. Problema general	2
1.2.2. Problemas específicos	2
1.3. Objetivos de la investigación.....	2
1.3.1. Objetivo general.....	2
1.3.2. Objetivos específicos	2
1.4. Delimitación de la investigación	3
1.4.1. Geográfica.....	3
1.4.2. Temporal	3
1.4.3. Temática.....	3
1.4.4. Muestral	3
1.5. Justificación del estudio.....	3
1.5.1. Conveniencia.....	3
1.5.2. Relevancia social	4
1.5.3. Aplicaciones prácticas	4
1.5.4. Utilidad metodológica.....	4
1.5.5. Valor teórico	4
1.6. Importancia	4
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	5
2.1. Marco histórico	5
2.2. Investigaciones relacionadas con el tema	5
2.2.1. En el ámbito nacional.....	5
2.2.2. En el ámbito internacional	8
2.2.3. Artículos relacionados con el tema	10

2.3. Estructura teórica y científica que sustenta el estudio	11
2.3.1. Método ACI	11
2.3.2. Concreto	12
2.3.3. Microsílice	15
2.4. Definición de términos básicos.....	15
2.4.1. Ensayos de concreto en estado endurecido.....	15
2.4.2. Durabilidad del concreto.....	17
2.4.3. Porosidad del concreto.....	17
2.4.4. Permeabilidad del concreto.....	19
2.5. Fundamentos teóricos que sustentan las hipótesis.....	19
CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS	20
3.1. Formulación de hipótesis.....	20
3.1.1. Hipótesis General.....	20
3.1.2. Hipótesis específicas.....	20
3.2. Sistema de variables	20
3.2.1. Variable Independiente	20
3.2.2. Variables dependientes	20
3.2.3. Definición conceptual	20
3.2.4. Definición operacional.....	21
3.2.5. Operacionalización de la variable.....	22
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	23
4.1. Método de la investigación.....	23
4.2. Tipo de la investigación.....	23
4.3. Nivel de la investigación	24
4.4. Diseño de la investigación.....	24
4.5. Población y muestra.....	24
4.5.1. Población.....	24
4.5.2. Muestra	24
4.6. Técnicas e instrumentación de recolección de datos	24
4.6.1. Técnica de investigación.....	24
4.6.2. Instrumentos de recolección	25

4.7. Descripción de procesamientos de análisis.....	25
---	----

CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN..... 26

5.1. Resultados de la investigación.....	26
--	----

5.2. Análisis e Interpretación de los resultados	44
--	----

5.2.1. El porcentaje óptimo de microsílíce reduce la penetración de cloruro en el concreto de alta resistencia.	44
--	----

5.2.2. El porcentaje óptimo de microsílíce reduce la penetración del agua en el concreto de alta resistencia.	46
--	----

5.2.3. El porcentaje óptimo de microsílíce reduce la porosidad en el concreto de alta resistencia.....	48
--	----

5.2.4. El porcentaje óptimo de microsílíce aumenta la resistencia a la compresión en el concreto de alta resistencia.	50
--	----

5.3. Contrastación de hipótesis	54
---------------------------------------	----

5.3.1. Contrastación de hipótesis 1	54
---	----

5.3.2. Contrastación de hipótesis 2	54
---	----

5.3.3. Contrastación de hipótesis 3	55
---	----

5.3.4. Contrastación de hipótesis 4	56
---	----

CONCLUSIONES	60
---------------------------	-----------

RECOMENDACIONES	62
------------------------------	-----------

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63
--	-----------

ANEXOS.....	66
--------------------	-----------

Anexo 1: Matriz de consistencia.....	67
--------------------------------------	----

Anexo 2. Matriz bibliográfica.....	69
------------------------------------	----

Anexo 3. Matriz de subtemas	88
-----------------------------------	----

Anexo 4. Matriz de indicadores.....	89
-------------------------------------	----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Matriz de operacionalización de variables	22
Tabla 2 Artículos de penetración de cloruro.....	26
Tabla 3 Penetrabilidad de Ion Cloruro y su relación agua cemento para cilindros curados	27
Tabla 4 Penetrabilidad de Ion Cloruro y su relación agua cemento para cilindros no curados	28
Tabla 5 Penetración de cloruros en el HPC con diferentes porcentajes de microsilíce	29
Tabla 6 Permeabilidad ion cloruro de concreto con adición de microsilíce 1 (Sika Fume).....	30
Tabla 7 Permeabilidad ion cloruro de concreto con adición de microsilíce 1 (Eucon MSA-Toxement).....	31
Tabla 8 Artículos de absorción del concreto al agua	32
Tabla 9 Ensayo de absorción de agua para las diferentes adiciones de microsilíce	32
Tabla 10 Resultados de ensayos determinar la absorción y vacíos en concreto	33
Tabla 11 Resultados de ensayos para determinar la permeabilidad del concreto al agua	34
Tabla 12 Artículos de Porosidad.....	35
Tabla 13 Porosidad en el concreto de alta resistencia con adición de microsilíce	36
Tabla 14 Porosidad en el concreto de alta resistencia con adición de microsilíce	37
Tabla 15 Artículos de resistencia a la compresión	38
Tabla 16 Resultados a la compresión a 28 días	39
Tabla 17 Resultados a la compresión a 28 días	40
Tabla 18 Resultados a la compresión a 28 días	41
Tabla 19 Resultados a la compresión a 28 días	42
Tabla 20 Comparación de resultados de penetración de ion cloruro	45
Tabla 21 Comparación de resultados de penetración de agua	47
Tabla 22 Comparación de resultados de porosidad	49
Tabla 23 Comparación de resultados de resistencia a la compresión a 28 días.....	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de porosidad	18
Figura 2. Árbol de hipótesis.....	19
Figura 3. Ensayos de penetrabilidad de ion cloruro de probetas de concreto curadas	27
Figura 4. Ensayos de penetrabilidad de ion cloruro de probetas de concreto no curadas	28
Figura 5. Ensayos de penetración de cloruro de probetas curadas y no curadas de concreto.....	29
Figura 6. Ensayo de permeabilidad al ion cloruro ASTM C1202	30
Figura 7. Ensayo a la permeabilidad al ion cloruro ASTM C1202	31
Figura 8. Profundidad de penetración del agua	33
Figura 9. Variación del porcentaje de absorción	34
Figura 10. Valores promedios de penetración de agua en el concreto	35
Figura 11. Porosidad del concreto de alta resistencia con adición de microsílíce.....	36
Figura 12. Porosidad del concreto con adición de microsílíce	37
Figura 13. Resistencia a la compresión a 28 días para las adiciones de microsílíce	40
Figura 14. Resistencia a la compresión a 28 días para las adiciones de microsílíce	41
Figura 15. Resistencia a la compresión a 28 días para las adiciones de microsílíce	42
Figura 16. Resistencia a la compresión a 28 días para las adiciones de microsílíce	43
Figura 17. Profundidad de penetración de ion cloruro	46
Figura 18. Profundidad de penetración de agua	48
Figura 19. Porcentaje de porosidad.....	49
Figura 20. Resistencia a la compresión a 28 días	53

RESUMEN

El presente trabajo de investigación titulado “Microsílice como adición del cemento para reducir la permeabilidad del concreto de alta resistencia” tiene como objetivo analizar la microsíllice como adición del cemento para reducir la permeabilidad del concreto de alta resistencia; así mismo, se busca: comprobar cómo se reduce la permeabilidad del concreto de alta resistencia, demostrar el efecto de la rapidez de penetración de cloruro, demostrar la relación agua - cemento y demostrar la resistencia en el concreto.

Los resultados obtenidos mostraron una mejora en la disminución de valores de la permeabilidad, la penetrabilidad de cloruros se redujo a 7.4mm con una dosificación de 15% de microsíllice, la absorción de agua después de inmersión disminuyó a 1.33% con adición de 8% de microsíllice, la porosidad disminuyó a 3.58% con una adición de 8% de microsíllice y la resistencia a la compresión aumentó a 710.70 kg/cm² con una adición de 10%. Finalmente, se concluye que con la microsíllice como adición del cemento de un concreto de alta resistencia disminuye la permeabilidad, obteniendo resultados de baja penetración de ion cloruro, baja penetración de agua, baja porosidad y un aumento en la resistencia a la compresión llegando a ser un concreto de alta resistencia., teniendo como dosificación óptima de microsíllice el 10% y óptima relación de agua cemento de 0.30.

Palabras claves: Concreto de alta resistencia, microsíllice, permeabilidad, penetrabilidad, absorción, porosidad

ABSTRACT

The present research work entitled "Microsilica as a cement addition to reduce the permeability of high-strength concrete" aims to analyze microsilica as a cement addition to reduce the permeability of high-strength concrete; Likewise, it is sought: to verify how the permeability of high-strength concrete is reduced, to demonstrate the effect of the speed of chloride penetration, to demonstrate the water-cement ratio and to demonstrate the resistance in concrete.

The results obtained showed an improvement in the decrease in permeability values, the chloride penetrability was reduced to 7.4mm with a 15% microsilica dosage, the water absorption after immersion decreased to 1.33% with the addition of 8% of microsilica, the porosity decreased to 3.58% with an addition of 8% microsilica and the compressive strength increased to 710.70 kg/cm² with an addition of 10%. Finally, it is concluded that with microsilica as an addition to the cement of a high-strength concrete, the permeability decreases, obtaining results of low chloride ion penetration, low water penetration, low porosity and an increase in the resistance to compression, becoming a high-resistance concrete, having 10% microsilica as the optimum dosage and an optimum water-cement ratio of 0.30.

Keywords: High-strength concrete, microsilica, permeability, penetrability, absorption, porosity

INTRODUCCIÓN

En la actualidad del Perú se puede apreciar que la mayoría de las construcciones están hechas a base de concreto, estructuras como: edificaciones altas, complejos habitacionales y otras construcciones de gran envergadura; en los cuáles es necesario el uso de los concretos de alta resistencia. El uso de este tipo concreto reduce la carga muerta estructural ya que permiten construir columnas con dimensiones reducidas y con menores volúmenes de concreto. Además, un módulo elástico mayor reduce las deflexiones en los edificios altos. Sin embargo, uno de los factores más importantes a los cuales está expuesto el concreto, es a la permeabilidad al agua o penetración de cloruros que afectan su estructura interna. Es por ello que el concreto ha sido objeto de muchas investigaciones a lo largo del tiempo, los cuales han ido aportando mejoras en sus características: ya sea en su resistencia mecánica o durabilidad a partir de sus componentes, la combinación entre ellos; por medio de fibras de refuerzo o por adición de otros componentes como la microsílíce.

La presente tesis servirá como base para poder controlar estos efectos ocasionados por la penetrabilidad de cloruros, absorción de agua, y porosidad; adicionando un porcentaje de microsílíce que permita lograr una alta resistencia a la compresión.

Esta investigación consta de seis capítulos; El capítulo I, describe el planteamiento del problema, objetivos, la justificación, viabilidad de la investigación y las limitaciones del estudio. El capítulo II desarrolla el marco teórico en dónde se profundiza, con la ayuda de antecedentes, definiciones con las cuales podemos dar a conocer con mayor alcance los conceptos relacionados al tema de investigación planteada, apoyándonos en diversas fuentes. El capítulo III desarrolla el sistema de hipótesis: formulamos la hipótesis general, hipótesis específica y del sistema de variables. El capítulo IV, precisa el tipo, nivel, diseño y método de la investigación, la población y muestra, las técnicas de recolección y procesamiento del análisis de datos. Se realizó el diseño metodológico. El capítulo V, describe la presentación de resultados y contrastación de la hipótesis de la investigación. Por último, se desarrolla la discusión, conclusiones y recomendaciones de la investigación.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

A lo largo de la historia, el concreto ha sido el material más usado en la industria de la construcción, es el componente principal en proyectos como hospitales, colegios, viviendas, estructuras viales, entre otros. Su gran durabilidad y resistencia hacen que sea la mejor opción a emplear, sin embargo, el concreto se encuentra expuesto a agentes externos como sulfatos y cloruros, es por ello que se busca mejorar la resistencia a estos agentes. Es así que hasta hace unas décadas los investigadores e ingenieros han empezado realizar estudios e investigaciones, tanto para aumentar su resistencia a la compresión como para hacerlo resistente ante estos agentes externos. Es así, como el desarrollo del concreto de alta resistencia ha sido gradual y viene siendo cambiante a medida que nuevos materiales y técnicas se estudian y perfeccionan.

De acuerdo con el ACI (American Concrete Institute), los concretos de alta resistencia están definidos por una resistencia a la compresión superior a los 56 MPa (560 kg/cm^2) aunque reconoce que esta definición puede cambiar debido al lugar en donde se fabrique y comercialice. Así, en la década de los 50, los concretos con una resistencia a la compresión de 350 kg/cm^2 a los 28 días eran considerados de alta resistencia mientras que actualmente el límite está muy por encima, llegando a obtener resistencias de hasta 1400 kg/cm^2 en países como Estados Unidos y Japón por lo que claramente se ve que la tendencia irá en aumento con el paso del tiempo (Rivva, 2002).

El concreto de alta resistencia resuelve el problema de peso y durabilidad en edificios y estructuras, posee puntos fuertes comparables con el concreto normal, y es típicamente 25% a 35% de más alta resistencia, por lo que ofrece flexibilidad de diseño y ahorro de costos, lo que garantiza una menor carga muerta, permite mejorar la respuesta sísmica, con miembros estructurales de tamaño más pequeño, menos refuerzo de acero, y menores costos de fundiciones (Cabrera, 2015).

Una de las problemáticas de mayor preponderancia en el diseño de concreto de alta resistencia son los factores climáticos, los cuales modifican el comportamiento mecánico y propiedades físicas del concreto. Por lo cual, se considera como solución

a condiciones climáticas adversas (bajas temperaturas, altas precipitaciones, entre otras) la inclusión de aditivos en el diseño de la mezcla, que permitan la mejora de las propiedades físicas y mecánicas del concreto según las necesidades del proyecto. En Europa más del 90% de los hormigones contienen algún tipo de adición y/o aditivos, de los cuales, más del 70% son aditivos plastificantes, superplastificantes o contienen adiciones como la microsílíce, que producen mejoras en la resistencia, mejoras en la prevención a la exudación, segregación y durabilidad del concreto (European Cement Research Academy, 2005).

A nivel de Latinoamérica, se han realizado diversos estudios sobre la adición de microsílíce, nano sílice y aditivos superplastificante que lograron mejorar las propiedades mecánicas del concreto de alta resistencia y propiedades físicas como la durabilidad, permeabilidad, trazabilidad, entre otros (Chaiña y Villanueva, 2017).

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿De qué manera la microsílíce como adición del cemento reduce la permeabilidad del concreto de alta resistencia?

1.2.2. Problemas específicos

- a) ¿De qué manera el porcentaje óptimo de microsílíce reduce la de penetración del cloruro en el concreto de alta resistencia?
- b) ¿De qué manera el porcentaje óptimo de microsílíce reduce la penetración del agua en el concreto de alta resistencia?
- c) ¿De qué manera el porcentaje óptimo de microsílíce reduce la porosidad en el concreto de alta resistencia?
- d) ¿De qué manera el porcentaje óptimo de microsílíce incrementa la resistencia a la compresión en el concreto de alta resistencia?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Determinar la microsílíce como adición del cemento para reducir la permeabilidad del concreto de alta resistencia.

1.3.2. Objetivos específicos

- a) Determinar el porcentaje óptimo de microsílíce para reducir la

penetración de cloruro en el concreto de alta resistencia.

- b) Determinar el porcentaje óptimo de microsílíce para reducir la penetración del agua en el concreto de alta resistencia.
- c) Determinar el porcentaje óptimo de microsílíce para reducir la porosidad en el concreto de alta resistencia.
- d) Determinar el porcentaje óptimo de microsílíce para incrementar la resistencia a la compresión en el concreto de alta resistencia.

1.4. Delimitación de la investigación

1.4.1. Geográfica

La presente tesis se desarrolló en Lima-Perú.

1.4.2. Temporal

La presente tesis se desarrolló en el año 2022

1.4.3. Temática

- a) Campo: Elementos estructurales.
- b) Área académica: Ingeniería Civil.
- c) Línea de Investigación: Tecnología del concreto.
- d) Sub línea de investigación: Construcción.

1.4.4. Muestral

Las muestras que se estudiaron son diferentes investigaciones relacionadas a las propiedades mecánicas, físicas y mejorar su permeabilidad del concreto con incorporación de microsílíce. La muestra de estudio en la presente investigación son los ensayos de resistencia a la compresión, absorción de agua, porosidad y penetración de cloruro del concreto de alta resistencia que incluirán el porcentaje de microsílíce.

1.5. Justificación del estudio

1.5.1. Conveniencia

Servirá como base teórica de la influencia de la adición de microsílíce en las propiedades de permeabilidad del concreto de alta resistencia, para la ampliación de conocimiento sobre el tema de estudio, futuras investigaciones, consideraciones en los diseños de mezcla de concreto, asegurando la durabilidad final del concreto en condiciones adveras.

1.5.2. Relevancia social

Es importante para la sociedad debido a que tiene como finalidad la mejora de las propiedades de permeabilidad del concreto de alta resistencia para obtener construcciones de alta durabilidad en condiciones climáticas adversas que produzca un mayor beneficio para los constructores, y produzca una mejora de la calidad de vida de la población.

1.5.3. Aplicaciones prácticas

El desarrollo de la investigación aportará a la importancia de la adición del microsílíce en el concreto de alta resistencia, sirviendo de referencia para posteriores investigaciones básicas y experimentales, en las cuales se deba utilizar la información estudiada.

1.5.4. Utilidad metodológica

La investigación se basó en la búsqueda de la información de artículos científicos, conferencias especializadas y tesis nacionales e internacionales, relacionadas a la adición del microsílíce en el concreto, que posteriormente se realizará un análisis del desarrollo experimental de estas fuentes de información, para realizar una sistematización y comparación de los resultados obtenidos en cada una de las investigaciones.

1.5.5. Valor teórico

Con la investigación se busca consolidarla como un aporte de conocimiento teórico sobre la influencia de la adición del microsílíce en las propiedades de permeabilidad del concreto de alta resistencia, que permita aumentar la durabilidad del concreto en condiciones adversas para que no presenten problemas estructurales.

1.6. Importancia

La importancia de esta investigación es fundamental para ampliar el conocimiento de las propiedades de permeabilidad del concreto de alta resistencia haciendo uso del microsílíce en zonas de climas adversos en el país, ya que esto permitirá que el concreto presente una mayor durabilidad, así mismo evitar las fallas en estructuras de concreto mediante un adecuado control de calidad.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Marco histórico

El desarrollo de la tecnología del concreto ha sido siempre continuo y el concreto de alta resistencia no ha sido la excepción. A principios de la década de 1970, investigadores estadounidenses predijeron que sería improbable que el límite práctico de resistencia a la compresión de un concreto llegaría a exceder los 11000 psi (700kg/cm²) siendo los rangos comerciales para la época menores a 300 kg/cm² lo que colocaba a esa cifra en un rango bastante difícil de superar. Actualmente solamente en la ciudad de Seattle, Washington, existen dos edificios con concretos de 19000 psi (1300 kg/cm²) lo que demuestra claramente que la constante investigación de nuevos materiales ha llevado a la tecnología del concreto a niveles superlativos (Portland Cement Association, 2016). En la teoría se tiene el conocimiento que mientras se redujera la relación agua cemento la resistencia a la compresión aumentaría.

En la década de los 50 los humos de los altos hornos de la industria de las aleaciones del ferro silicón, por disposición del Gobierno de Noruega en función de su acción negativa sobre el medio ambiente, fueron decantados y recolectadas con el nombre de humos de sílice o de microsílíce como actualmente se las conoce. Los investigadores noruegos ensayaron la microsílíce como un material de reemplazo del cemento en las mezclas de concreto. Posteriormente se determinó que los concretos expuestos a la acción de los sulfatos y a los concretos expuestos a la acción de los sulfatos y a los cuales se había incorporado microsílíce eran tan resistentes a la acción disolvente de la sal como aquellos preparados utilizando un cemento resistente a la acción destructiva de los sulfatos (Rivva, 2002).

2.2. Investigaciones relacionadas con el tema

2.2.1. En el ámbito nacional

Caballero, D. (2019). “Optimización del concreto mediante la adición de nanosílíce, empleando agregados de la cantera de Añashuayco de Arequipa”. Para optar por el título de Ingeniero civil. Universidad Nacional de San Agustín – Arequipa, tiene por objetivo general, Mejorar la resistencia de concretos elaborados con agregados de la cantera de Añashuayco mediante la

adición de Nanosílice. Se presenta los resultados óptimos del incremento de resistencia a la compresión de concretos con Nanosílice respecto a concreto patrón obtenidos a 28 días de edad. Para concretos de resistencias de 175 kg/cm² el contenido óptimo de aditivo de Nanosílice es de 1.4 % del peso del cemento logrando un incremento de 72.38% que equivale a una resistencia a la compresión de 404.41kg/cm². Para concretos de resistencias de 210 kg/cm² el contenido óptimo de aditivo de Nanosílice es de 1% del peso del cemento logrando un incremento de 16.62% que equivale a una resistencia a la compresión de 422.45kg/cm². Para concretos de resistencias de 280 kg/cm² el contenido óptimo de aditivo de Nanosílice es de 1.4% del peso del cemento logrando un incremento de 35.55% que equivale a una resistencia a la compresión de 510.03 kg/cm². Para concretos de resistencias de 350 kg/cm² el contenido óptimo de aditivo de Nanosílice es de 1.4% del peso del cemento logrando un incremento de 29.15% que equivale a una resistencia a la compresión de 528.10kg/cm². Se comprobó que han sido desfavorables los resultados para el concreto patrón (sin aditivo), ya que no logran alcanzar las resistencias de diseño requerida en la Norma. En los diseños con aditivo se comprobó que controlando el agua podemos mantener el slump de diseño de 2 a 4 pulgadas. Evitando que el concreto segregue y no funcione en la práctica. La permeabilidad de los concretos con aditivo se reduce progresivamente de acuerdo al porcentaje de aditivo, dándole mayor compacidad al concreto. Se observa que disminuye un 50% en penetración, el contenido de aire está dentro del porcentaje permisible que es igual o menor a 3.5 % por lo tanto los concretos tendrán mejor resistencia a la 176 compresión uniaxial el slump para concretos con aditivo está en el rango de 2 a 4 pulgadas. Fue manejado para que no segregue, el peso unitario para concretos con aditivos que no muestran una clara variación o tendencia con respecto a un concreto patrón y se encuentran en el rango entre 2201.503 y 2283.655 kg/m³ clasificándolo como concreto normal y el contenido de agua disminuye cada vez más mientras va aumentando el porcentaje de nanosílice reduciendo agua hasta un 17.52%.

Zúñiga y Condori (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”. Para optar por el título de Ingeniero civil. Universidad Privada de Tacna – Tacna, tiene por objetivo general, Determinar la influencia de las adiciones de microsílíce en la propiedad mecánica de resistencia de compresión del concreto. Concluimos que las adiciones de microsílíce (Chema Fume) si influyen en la resistencia a la compresión del concreto, ya que en los dos tipos de diseño de mezclas del concreto MMS-4, MMS-8 con adiciones de microsílíce se produjo un aumento en la resistencia a la compresión del concreto mayores a la resistencia de compresión de mezcla del concreto MP=312. 22 kg/cm², teniendo como resistencia máxima a los 28 días para MMS-4 = 334. 89 kg/cm² y para MMS-8 = 396. 69 kg/cm². En lo que respecta al diseño de mezcla patrón concluimos que cumplió con los parámetros establecidos de diseño, en cuanto a la resistencia a la compresión de la briqueta se logró una resistencia máxima a los 28 días de 312. 22 kg/cm². La máxima resistencia a la compresión del concreto fue de 396. 69 kg/cm², lo obtuvo el diseño de mezcla de concreto MMS-8 con adición de 8% de microsílíce.

Amez y Enrico (2020). “Influencia de los aditivos de cadena corta y cadena larga en las propiedades mecánicas del concreto con incorporación de microsílíce”. Para optar por el título de Ingeniero civil. Universidad Ricardo Palma – Lima, tiene por objetivo general, Analizar los aditivos de cadena corta y cadena larga para mejorar las propiedades mecánicas del concreto con microsílíce. El aditivo de cadena corta para una relación a/c de 0.15, con microsílíce 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 microsílíce. 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, microsílíce 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 microsílíce. Además, los aditivos de cadena larga brindan mejores beneficios que los de cadena corta en la resistencia a la compresión y tracción. 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 resistencia debiéndose a la dosis alta de microsílíce 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 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 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.

2.2.2. En el ámbito internacional

Falcón y Contreras (2012). “Evaluación Física y Mecánica de Concreto Convencional Sustituyendo Dosis de Cemento por Microsílíce con un Asentamiento de 5” y una Resistencia a la Compresión de 250 kg/cm²”. Para optar por el título de Ingeniero civil. Universidad Nueva Esparta - Caracas, tiene por objetivo general, Evaluar el comportamiento físico y mecánico del concreto convencional sustituyendo dosis de cemento por microsílíce, con un asentamiento de 5” y una resistencia a la compresión de 250 kg/cm². Con respecto al diseño de la mezcla patrón podemos decir que se cumplió con el

parámetro establecido de asentamiento, debido a que las mezclas presentaron un promedio de 5” y no se apreció segregación de los agregados. En cuanto a la resistencia mecánica a la compresión se logró una resistencia promedio de 314 kg/cm², la cual se encuentra dentro del rango deseado debido a que, en el diseño de mezcla, se aplicó un factor de seguridad de 60 kg/cm² que nos arroja un valor de resistencia a compresión de 310 kg/cm². En cuanto a la absorción, se evidencia que la sustitución de cemento por microsílíce en la mezcla de concreto produce una reducción de la misma, ya que el microsílíce, por ser más fino que el cemento, incrementa la densidad del material, lo que da como resultado una reducción de la porosidad y con ello la penetración del agua.

Pérez (2008). “Caracterización de morteros con adición de combinaciones de micro sílice y nanosílíce”. Tesis para optar por el título de Ingeniero civil en obras civiles. Universidad Austral de Chile – Valdivia, tiene por objetivo general, Caracterizar algunas de las propiedades mecánicas y físicas de un mortero tratado con adiciones de nanosílíce, microsílíce y combinaciones de ambas. Esta caracterización se realizará en forma práctica mediante ensayos de laboratorio y una caracterización microscópica superficial. En la resistencia a la compresión se presentan mejoras en todos los tipos de adición. En el caso de la incorporación única de microsílíce se observa que se alcanzan las dosis óptimas en un porcentaje de adición de alrededor del 5% para todas las razones agua/cemento, con variaciones de la resistencia alrededor de un 13%. Usando solo nanosílíce se registran dosis óptimas alrededor de un 0,5% para todas las razones agua/cemento, produciéndose aumento de la resistencia a la compresión de un 20%. En el caso de las combinaciones para las diferentes incorporaciones de microsílíce (como aditivo base constante) se obtienen dosis óptima de adición de nanosílíce alrededor de un 1,0% para todas las razones agua/cemento, con variaciones que van desde el 19 al 27%. Los óptimos de adición se pueden establecer claramente solo en la trabajabilidad y resistencia a la compresión. En la trabajabilidad se obtiene un óptimo de adición alrededor del 2,5% en la adición única de microsílíce. En la incorporación de nanosílíce y/o combinaciones se alcanza una excelente

docilidad entre un 0,5% y 1,0%, independiente de la razón agua/cemento. En la resistencia mecánica a la compresión los óptimos según el tipo de adición son los siguientes: microsílíce 5% - nanosílíce 0,5% - combinaciones, 1,0% de nanosílíce, independientes de las relaciones de agua/cemento. La combinación con mejores resultados corresponde a la incorporación de microsílíce en un 3,5% con un óptimo de adición de nanosílíce alrededor de un 1,0%. En esta combinación es la única que presenta una tendencia de mejora en el flexo tracción y logra las mayores resistencias mecánicas a la compresión, para cada relación de agua/cemento.

Birardi y Rojas (2014). “Evaluación de mezclas de concreto con diferentes porcentajes de adiciones de sílice y aditivo plastificante para su optimización”. Tesis para optar por el título de Ingeniero civil. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado – Barquisimeto, tiene por objetivo general, Evaluar mezclas de concreto con diferentes porcentajes de adiciones de sílice y aditivo plastificante para su optimización. Con respecto a la trabajabilidad de las mezclas de concreto estudiadas, las adicionadas con sílice, obtuvieron mayores asentamientos respecto al valor de diseño, es debido a que las partículas de sílice absorben de forma notable el agua de la mezcla, en consecuencia, las mezclas adicionadas se hacen menos trabajables que la mezcla patrón. En referencia a los pesos unitarios, se puede decir que disminuyen bajo la presencia de adición de arena de sílice, ya que aumenta los porcentajes de aire ocluido a medida que se adiciona mayor cantidad de sílice. La resistencia a la compresión de las probetas adicionadas, fue menor que la resistencia de las probetas patrones, el cual la de 16% de adición obtuvo una menor resistencia respecto a la de 8%, esto a consecuencia del tamaño nominal de la sílice, que produce que las reacciones en combinación con el cemento sean más lentas.

2.2.3. Artículos relacionados con el tema

Hommer (2009) en su artículo científico “Interaction of polycarboxylate ether with silica fume” expone que investigó acerca de la interacción del humo de sílice con éteres de policarboxilato cargados negativamente haciendo la

comparación con un poliacrilato y dos polietilenglicoles no iónicos mediante mediciones de potencial de adsorción y flujo a un valor de pH ligeramente alcalino, en el concluye 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.

Gimenez, Olavarrieta, Silva y Gallegos (2018) en su artículo “Estudio físico mecánico de concretos sustituidos con polvo de sílice expuestos en ambiente agresivo simulado” investigó el ensayo de probetas cilíndricas en un ambiente de exposición simulado por inmersión en solución de NaCl al 3%. En la cual realizó la evaluación física y mecánica en probetas cilíndricas armadas de 30 cm de alto y 15 cm de diámetro, de concretos elaborados con sustitución parcial del cemento por dosis sílice en 10% y 15% relaciones agua cemento de 0,45 y 0,65 y resistencia de diseño de 250 kg/cm². El periodo de ensayo fue de 5 meses en el cual se analizó la influencia de las sustituciones de polvo sílice en las mezclas de concreto con respecto a las mezclas patrón, obteniendo un aumento en la resistencia mecánica con respecto a la de diseño, en la relación a/c 0,45, para la relación a/c 0,65 alcanzó valores aceptables en cuanto a las mezclas sustituidas con respecto a la resistencia mecánica comparada con la de diseño, en los ensayos de porosidad y absorción capilar no fueron satisfactorios para ninguna relación a/c probablemente por la falta de curado previo a la exposición.

2.3. Estructura teórica y científica que sustenta el estudio

2.3.1. Método ACI

Es el método más utilizado en el Perú y el cual se utiliza en esta investigación, el cual sintetiza los siguientes pasos a seguir para la elaboración de un diseño de mezclas los cuales son:

- a. Elección del revenimiento
- b. Elección del tamaño máximo de agregado
- c. Cálculo del agua de mezclado y el contenido de aire
- d. Selección de la relación agua- cemento
- e. Cálculo del contenido de cemento

- f. Estimación del contenido de agregado grueso
- g. Estimación del contenido de agregado fino
- h. Ajuste por humedad del agregado
- i. Ajustes en las mezclas de prueba

2.3.2. Concreto

Se define al concreto como una mezcla íntima y homogénea de áridos finos, áridos gruesos, un aglomerante y agua en las debidas proporciones para que fragüe y endurezca. En el momento de su mezclado, pueden añadirse otros productos o materiales para mejorar alguna de sus características determinadas; por ende, existen diferentes tipos de concretos como lo son el ordinario, en masa, armado, pretensado, mixto, ciclópeo, ligero, entre otros (Méndez, 2012, pág. 25).

Dado que el concreto es una mezcla de diversos elementos, su adecuada dosificación es indispensable para poder preparar una mezcla que cumpla las normas de calidad requeridas en cada país. Los principales componentes del concreto son cemento, agregados fino, agregado grueso, agua y aditivos, en nuestro caso este sería la fibra de vidrio incorporado a la mezcla de concreto (Díaz, 2005, pág. 03).

a) Cemento

El cemento es el elemento básico de la industria de la construcción, en la que se utiliza como aglomerante en forma de mortero y como componente principal del concreto. Asimismo, su uso en la industria está muy diversificado, ya que se utiliza en elementos prefabricados, pavimentos, tubos, presforzados, fibrocemento, entre otros. Existen los cementos naturales que son los que se obtienen a partir de rocas que contienen cal y arcilla, y los cementos artificiales, fabricados con piedra caliza, arcilla y yeso como materias primas. Estos últimos son los de mayor interés económico porque constituyen prácticamente la totalidad de los que se utilizan en la industria. El más importante de los cementos artificiales es el cemento Pórtland (Irving, 2010, pág. 15).

b) Cemento Pórtland

El Cemento Pórtland no sólo es el tipo de cemento más importante, sino también el más común a nivel mundial. Este material es obtenido mediante la calcinación, a temperaturas ligeramente inferiores a las de fusión, de una mezcla de materiales calizos y arcillosos. Propiamente el cemento hidráulico es aquel que se obtiene de la cocción de materiales calcáreos y arcilla, a una temperatura de 1400 - 1500 °C, el cual, al ser mezclado y amasado con agua, fragua con este último y tiene la propiedad de endurecerse hasta tomar una consistencia pétreo sólida. De esta manera, la resistencia del cemento es el resultado del proceso de hidratación de sus componentes (Irving, 2010, pág. 15-18).

El cemento portland se divide en cinco categorías normadas por las especificaciones del ASTM, de normas para el Cemento Portland (C150), y las NTP (Normas Técnicas Peruanas) 334.009-2013, cada categoría posee características físicas y químicas específicas (Flavio, 2009, pág. 17).

Cemento tipo I: Es el cemento destinado a obras de concreto en general, cuando en las mismas no se especifica la utilización de los otros 4 tipos de cemento.

Cemento tipo II: Se utiliza en obras de concreto en general y cuando se espera un ataque moderado de los sulfatos o cuando se requiere un calor de hidratación moderado, para lograr este tipo de características se regulan la cantidad máxima de silicato tricálcico (C₃S) y aluminato tricálcico (C₃A), este cemento alcanza una resistencia similar al cemento Tipo 1 pero requiere más tiempo de fraguado.

Cemento tipo III: Este desarrolla una alta resistencia en un tiempo menor, en 7 días tiene la misma resistencia que un concreto tipo 1 o 11 en 28 días. Para lograr este rápido fraguado se aumentan las cantidades de silicato tricálcico (C₃S) y aluminato tricálcico (C₃A). Este cemento desprende grandes cantidades de calor por lo que no es recomendado para chorreas masivas.

Cemento tipo IV: Este es un cemento de secado lento por lo que no genera gran cantidad de calor de hidratación siendo ideal para chorreas masivas que

no requieran una alta resistencia inicial, para lograr esto se regulan las cantidades de silicato tricálcico (C_3S) y aluminato tricálcico (C_3A), ya que estos son los elementos que se encargan de fraguado inicial por lo que liberan la mayor cantidad de calor de hidratación.

Cemento tipo V: Este es un cemento con gran resistencia al ataque de sulfatos, por lo que es muy utilizado en estructuras hidráulicas expuestas a aguas con gran concentración de álcalis o estructuras expuestas a agua de mar. Para lograr esto se reduce la cantidad de aluminato tricálcico (C_3A) ya que este es el componente más vulnerable a los sulfatos.

c) Agregados

Son materiales inertes que se combinan con los aglomerantes (cemento, cal, etc.) y el agua formando los concretos y morteros. La importancia de los agregados radica en que constituyen alrededor del 75% en volumen, de una mezcla típica de concreto. Es importante que los agregados tengan buena resistencia, durabilidad y resistencia a los elementos, que su superficie esté libre de impurezas como barro, limo y materia orgánica, que puedan debilitar el enlace con la pasta de cemento (Abanto, 1995, pág23). Se clasifican en agregado fino el cual se considera como agregado fino a la arena o piedra natural finamente triturada de dimensiones reducidas, que pasan por el tamiz 3/8" (9.52mm) y que es retenida en el tamiz N°200 (0.074mm) NTP 400.037. El agregado grueso es el que queda retenido en el tamiz N°4 (4.75mm) proveniente de la desintegración natural o mecánica de las rocas y que cumplen con los límites establecidos en la norma NTP 400.037 o ASTM C33.

d) Agua

El agua que debe ser utilizada para la producción de concreto debe satisfacer los requisitos de la norma NTP 339.088, y ASTM C 109M.

e) Trabajabilidad

La consistencia está definida por el grado de humedecimiento de la mezcla, depende principalmente de la cantidad de agua utilizada, el equipo necesario para realizar la consistencia del concreto consiste en un tronco de cono, los dos círculos de las bases son paralelos entre si midiendo 20 cm y 10 cm los

diámetros respectivos, la altura del molde es de 30 cm (Abanto, 1995, pág. 47).

f) Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión puede ser definida como la máxima medida de resistencia que ofrece un espécimen de concreto a una carga axial. Esta se determina de acuerdo con lo estipulado en la norma ASTM C39.

2.3.3. Microsílice

El cemento durante el proceso de hidratación libera cal, que en presencia de un material amorfo rico en sílice (como la microsíllice), en condiciones de humedad y a temperatura ambiente, forma productos cementantes secundarios estables física y químicamente que contribuyen a las resistencias del concreto; además, los productos formados no liberan calor de hidratación y son resistentes químicamente, lo que hace concretos más durables. De otra parte, el tamaño de partícula le permite ocupar los vacíos que normalmente quedan en la pasta de cemento, dando un efecto de densificación, contribuyendo en la masa de concreto a una menor porosidad, menor permeabilidad, mayor resistencia y mayor durabilidad.

2.4. Definición de términos básicos

2.4.1. Ensayos de concreto en estado endurecido

a) Ensayo de Resistencia a la flexión del concreto

La resistencia a la flexión del concreto es una medida de la resistencia a la tracción del concreto (hormigón). Es una medida de la resistencia a la falla por momento de una viga o losa de concreto no reforzada. Se mide mediante la aplicación de cargas a vigas de concreto de 6 x 6 pulgadas (150 x 150 mm) de sección transversal y con luz de como mínimo tres veces el espesor. La resistencia a la flexión se expresa como el Módulo de Rotura (MR) en libras por pulgada cuadrada (MPa) y es determinada mediante los métodos de ensayo ASTM C78 (cargada en los puntos tercios) o ASTM C293 (cargada en el punto medio).

b) Ensayo de Resistencia a la tracción del concreto

El método de ensayo de tracción directa consiste en someter a una sollicitación de tracción axial un espécimen, cilíndrico o prismático, de relación de h/d, entre 1.6 a 1.8 resultante del aserrado de las extremidades de una probeta moldeada, para eliminar las zonas de mayor heterogeneidad. Los especímenes se pagan por sus extremos, mediante resinas epóxicas, a dos placas de acero que contienen varillas de tracción, centradas y articuladas mediante rótula, las mismas que se sujetan a los cabezales de una máquina de ensayos de tracción convencional.

c) Ensayo de Resistencia a la compresión del concreto

La resistencia a la compresión se calcula a partir de la carga de ruptura dividida por el área de la sección que resiste a la carga y se reporta en unidades de libra-fuerza por pulgada cuadrada (psi) en unidades corrientes utilizadas en EEUU o en megapascuales (MPa) en unidades SI. Los requerimientos para la resistencia a la compresión pueden variar desde 2.500 psi (17 MPa) para concreto residencial hasta 4.000 psi (28 MPa) y más para estructuras comerciales. Para determinadas aplicaciones se especifican resistencias superiores hasta de 10.000 psi (70 MPa) y más. El ACI (Instituto Americano del Concreto) describe que el concreto de alta resistencia, es aquel que tiene una resistencia a la compresión, $f'_c \geq 420 \text{ kg/cm}^2$.

d) Ensayo para la determinación de la temperatura de mezclas de concreto

Permite determinar la temperatura del concreto fresco para verificar el cumplimiento de los requerimientos especificados. La temperatura del concreto depende del aporte calorífico de cada uno de sus componentes, además del calor liberado por la hidratación del cemento, la energía de mezclado y el medio ambiente

e) Ensayo de peso unitario

El ensayo permite conocer las propiedades de una mezcla de concreto fresco, para el control de la mezcla dada cuando es requerido. Brinda un valor para la densidad y el rendimiento de la mezcla, así como una estimación del contenido

de aire de la misma. Es aplicable a las mezclas de concreto fresco fabricadas tanto en laboratorio como en campo.

f) Ensayo de contenido de aire del concreto

Este método de ensayo, abarca la determinación del contenido de aire, en el concreto fresco recién mezclado, mediante la observación de los cambios de volumen del concreto, producidos por un cambio en la presión. Este método de ensayo ha sido elaborado para ser usado en concretos y morteros preparados con agregados relativamente densos, para los cuales el factor de corrección por agregado puede determinarse satisfactoriamente. No es aplicable para concretos hechos con agregados livianos, escoria de alto horno enfriada por aire o agregados con alta porosidad; en estos casos, debe emplearse el Método de Ensayo ASTM C173/C173 M. Este método tampoco puede aplicarse en concretos no plásticos, como los comúnmente utilizados en la fabricación de tubos.

2.4.2. Durabilidad del concreto

La durabilidad del concreto está ligada directamente a no perder las propiedades y características para las cuales fue diseñado, ya sea debido a la propia acción del tiempo, debido a ataques químicos u otros que ocasionen el deterioro del concreto. Es entonces que la permeabilidad del concreto tiene mucha relevancia cuando se habla de la durabilidad del mismo, ya que si un concreto tiene una permeabilidad alta éste se vuelve vulnerable a los ataques químicos en su matriz y aún más dañinos e importantes los ataques químicos sobre el refuerzo de acero en su interior, teniendo como consecuencia lógica el no cumplimiento de las propiedades y características para las cuales fue diseñada la estructura.

2.4.3. Porosidad del concreto

Durante el proceso de fraguado del concreto, debido a los procesos de exudación, asentamiento e hidratación del cemento; es que tiene cabida la formación de la porosidad del concreto (formación de poros y redes de poros en el concreto), siendo esta etapa una de las más importantes en la adquisición

de sus propiedades finales. La porosidad del concreto está relacionada de manera directa con la resistencia y la permeabilidad, ya que ésta será la responsable del ingreso de agentes externos en la matriz del concreto. Podemos entonces hacer una clasificación de la porosidad de acuerdo a los poros y red de poros:

- a) Porosidad abierta, es la que se refiere a los poros conectados con el exterior.
- b) Porosidad permeable, parte de la porosidad abierta que corresponde a los poros intercomunicados entre sí, permitiendo el paso de agua al interior del concreto.
- c) Porosidad superficial en fondo de saco, corresponde a una parte de la porosidad abierta, cuyos poros no están comunicados entre sí.
- d) Porosidad cerrada, incluye los poros no conectados con el exterior.

En la figura 1 se ilustran los tipos de poros que pueden existir en una matriz cementante, concluyendo para este caso que la permeabilidad solo depende de la porosidad permeable.

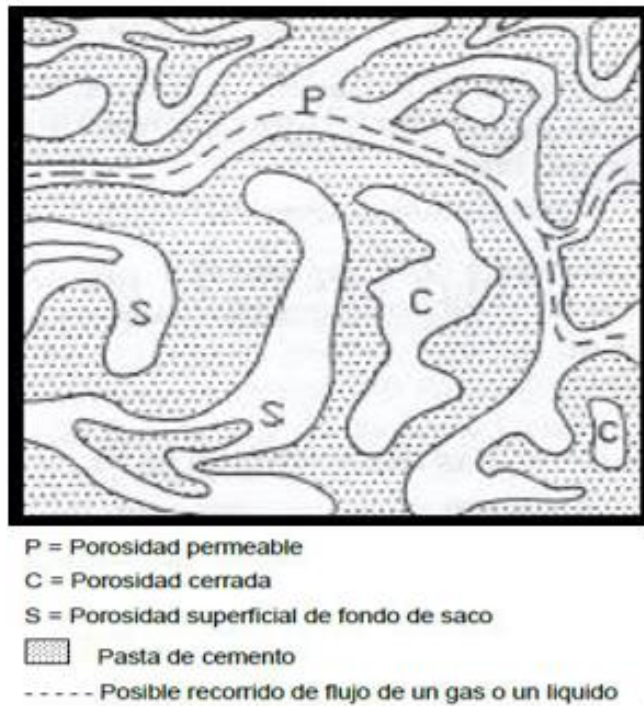


Figura 1. Tipos de porosidad

Fuente: Gómez, (2008)

2.4.4. Permeabilidad del concreto

La permeabilidad del concreto es la capacidad de éste para resistir al paso de fluidos o gases a través de su estructura y esta resistencia es una función directa de la porosidad del material que a su vez está directamente relacionado a la homogeneidad de la mezcla. En estructuras que están en contacto permanente con agua o destinadas a la contención de agua, la permeabilidad del concreto es la responsable de garantizar la durabilidad y correcto funcionamiento de las estructuras de concreto. Al tener un concreto baja permeabilidad, éste es menos vulnerable a los ataques físicos, químicos y biológicos que sufre durante su vida útil, ya que evita de mejor manera la presencia de líquidos y gases en el interior del concreto. Para el caso particular de esta investigación el agua es el elemento principal mediante el cual los agentes dañinos ingresan y causan el deterioro tanto del concreto como del acero de refuerzo en el interior del mismo. Existen varios mecanismos de penetración de agua al interior del concreto, siendo las principales: la absorción capilar y la penetración de agua bajo presión hidrostática.

2.5. Fundamentos teóricos que sustentan las hipótesis.

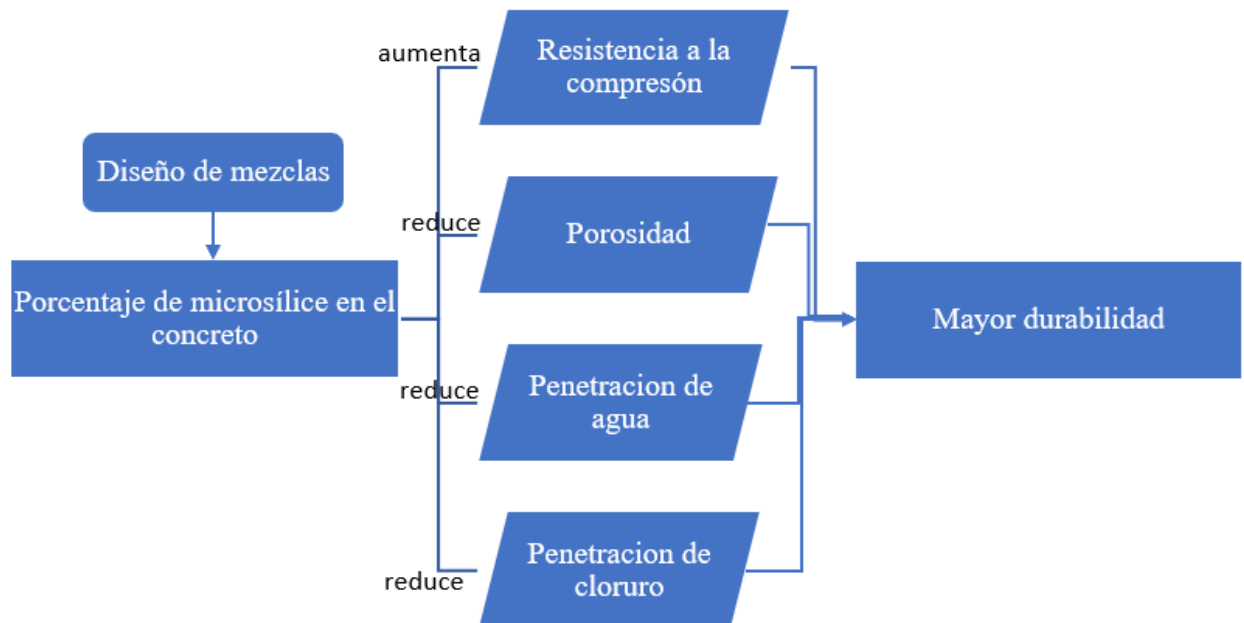


Figura 2. Árbol de hipótesis

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS

3.1. Formulación de hipótesis

3.1.1. Hipótesis General

Al determinar el porcentaje óptimo de microsílíce como adición del cemento reduce la permeabilidad del concreto de alta resistencia.

3.1.2. Hipótesis específicas

- a) El porcentaje óptimo de microsílíce reduce la penetración de cloruro en el concreto de alta resistencia.
- b) El porcentaje óptimo de microsílíce reduce la penetración del agua en el concreto de alta resistencia.
- c) El porcentaje óptimo de microsílíce reduce la porosidad en el concreto de alta resistencia.
- d) El porcentaje óptimo de microsílíce aumenta la resistencia a la compresión en el concreto de alta resistencia.

3.2. Sistema de variables

3.2.1. Variable Independiente

Microsílíce

3.2.2. Variables dependientes

Permeabilidad del concreto de alta resistencia

3.2.3. Definición conceptual

Microsílíce: fue adoptado por la ASTM y el ACI para referirse al humo de sílice condensado, es un subproducto de la industria de las aleaciones de hierro, como el ferro silíceo. En términos simples, es el hollín que queda adherido a las mangas del filtro cuando los gases pasan a través de éste (Euclid Group Toxement, 2016).

Permeabilidad del concreto de alta resistencia: se refiere a la cantidad de migración de agua a través del concreto cuando el agua se encuentra a presión, o a la capacidad del concreto de resistir la penetración de agua u otras sustancias como líquido, gases, ion cloruro, etc. (López, 2004).

3.2.4. Definición operacional

Microsílice: Porcentaje de adición de microsíllice a la mezcla de cemento, lo que significa añadir miles de partículas muy pequeñas al concreto fabricado, generando un efecto similar al que se produce cuando el agregado fino se acomoda y ocupa los espacios entre las partículas del agregado grueso pues la microsíllice llena los espacios entre las partículas de cemento en un proceso llamado, empaquetamiento de partículas (Vega, 2019).

Permeabilidad del concreto de alta resistencia: se puede determinar directamente mediante la Ley de Darcy o estimarla utilizando tablas empíricas derivadas de ella. Además, evaluar las características de resistencia a la compresión, absorción de agua, porosidad y penetración de cloruro en el concreto (Martínez, 2017).

3.2.5. Operacionalización de la variable

Tabla 1

Matriz de operacionalización de variables

Variables	Indicadores	Unidad de medida	Instrumentos
Microsílice	Porcentaje de microsílice	%	Fuentes bibliográficas especializadas (tesis y artículos) Método ACI-NTP 334.082
	Resistencia a la compresión	kg/cm ²	Fuentes bibliográficas especializadas (tesis y artículos) NTP 339.034 Norma ASTM C39/39M
Propiedades físicas y mecánicas del concreto de alta resistencia	Penetración de cloruro	Coulombs	Fuentes bibliográficas especializadas (tesis y artículos) Norma ASTM C1202
	Penetración del agua	mm	Fuentes bibliográficas especializadas (tesis y artículos) Norma ASTM C642
	Porosidad	%	Fuentes bibliográficas especializadas (tesis y artículos) Norma ASTM C642

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación es un estudio documental porque se apoya y realiza a través de la consulta de documentos como libros , revistas e información relevante y fidedigna de especialistas e investigadores acerca del comportamiento del concreto con incorporación de sílice de cemento, es bibliográfica porque se basa en un marco de especialidad y técnico basado en las distintas normas utilizadas, y descriptivo porque se describirá los pasos utilizados para elaborar esta investigación, compilando los resultados de ensayos en estado fresco y endurecido del concreto de alta resistencia con adición de microsílíce de cemento , organizando los resultados de manera esquemática para interpretar y analizar dicha información y poder determinar su influencia .

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

Así mismo, la presente investigación acoge la tipología empleada por metodología efectuado por Chavarry et ál. (2020) 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 la influencia de las temperaturas extremas en el asentamiento del concreto a través del tiempo.

4.1. Método de la investigación

El método es deductivo debido a que contrasta teorías e investigaciones pasadas con respecto a la adición de microsílíce en un concreto de alta resistencia, el enfoque es mixto debido a que se recolecta y analiza datos cuantitativos y cualitativos que permiten responder al planteamiento del problema, y de orientación aplicada porque intenta resolver el problema de permeabilidad existente en el concreto de alta resistencia.

4.2. Tipo de la investigación

La investigación es descriptiva, correlacional y explicativa, ya que requiere una descripción de las características más significativa de la adición de microsílíce,

como factor de mejora de la permeabilidad del concreto de alta resistencia. Es el estudio y análisis de la investigación a problemas concretos, en circunstancias y características reales.

4.3. Nivel de la investigación

El nivel de la investigación es descriptivo debido a que permite estudiar las variables mediante procedimientos para el análisis estadístico de la adición de microsílíce del cemento en un concreto de alta resistencia.

4.4. Diseño de la investigación

El diseño es experimental ya que los datos son recolectados de otras investigaciones que fueron realizadas de forma experimental, es longitudinal, retrospectivo ya que las variables influyen en nuestras hipótesis y la forma de recopilación de información fue importante en nuestras variables.

4.5. Población y muestra

4.5.1. Población

La población de la presente investigación está determinada por todos los artículos científicos, tesis universitarias, documentos especializados sobre la adición de microsílíce en la mezcla de cemento para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del concreto de alta resistencia.

4.5.2. Muestra

Se considera como muestra a los resultados obtenidos en los ensayos realizados en probetas que nos permitan describir el comportamiento de la aplicación obtenidas en los artículos científicos, tesis universitarias, documentos especializados sobre la adición de microsílíce en la mezcla de cemento para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del concreto de alta resistencia.

4.6. Técnicas e instrumentación de recolección de datos

4.6.1. Técnica de investigación

La técnica para la investigación es la revisión documental de los resultados obtenidos de las pruebas y ensayos realizados por los autores en cada una de las investigaciones utilizadas ya que, de esta manera, se puede obtener

resultados de la variación de la permeabilidad del concreto de alta resistencia en base a las normas y especificaciones.

4.6.2. Instrumentos de recolección

Los instrumentos de recolección para los datos utilizados en esta investigación son los formatos de resultados en ensayos brindados por los autores citados, basándonos en las especificaciones técnicas correspondientes ya mencionadas. Para la recopilación de fuentes de estudio se utilizarán base científica indexadas como:

- a) SCIELO – Scientific Electronic Library Online (Biblioteca Científica Electrónica en línea)
- b) Dialnet
- c) WorldWideScience.org
- d) Google Scholar (Google Académico)
- e) Proquest
- f) Scopus

4.7. Descripción de procesamientos de análisis

Se registraron los resultados que hayan sido obtenidos de las investigaciones seleccionadas para hacer comparaciones, contrastar resultados y verificar así, en qué medida aporta al desempeño mecánico de la estructura. Después de una correcta verificación, utilizaremos los datos para su análisis estadístico con un rango de confiabilidad. Las herramientas utilizadas para el procesamiento de datos y posterior análisis son: Microsoft Excel 2019, el cual permite una correcta representación de gráficos que nos permiten demostrar la relación entre las variables.

CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

5.1. Resultados de la investigación

- a) El porcentaje óptimo de microsílíce reduce la penetración de cloruro en el concreto de alta resistencia.

Tabla 2

Artículos de penetración de cloruro

Ítem	Autor	Artículo	Relación a/c	Microsílíce (%)
1	Barreto, Jessica; Cufiño, Denny's	Influencia del porcentaje de agregado reciclado en la penetrabilidad al ion cloruro y en la permeabilidad al agua para concretos reciclados.	0.4, 0.55 y 0.65	0, 5 y 10
2	López, Lucio	Influencia de la penetración de Iones Cloruros en el Hormigón Armado a diferentes relaciones Agua/Cemento y Condiciones de Exposición.	0.45	0, 5, 10 y 15
3	Montaña, Cristhian; Carmona, Rodrigo	Impacto de las adiciones para concreto en la reducción de la permeabilidad al ion cloruro vs la relación agua cemento.	0.25, 0.35, 0.5, 0.65 y 0.75	5

Fuente: Elaboración propia

Artículo 1

Tabla 3

Penetrabilidad de Ion Cloruro y su relación agua cemento para cilindros curados

Adición Microsílice (%)	Relación a/c	Penetrabilidad de Ion Cloruro (mm)
0	0.45	40.30
	0.55	59.29
	0.65	100.00
5	0.45	22.53
	0.55	70.90
	0.65	77.82
10	0.45	26.13
	0.55	54.55
	0.65	86.87

Fuente: Elaboración propia

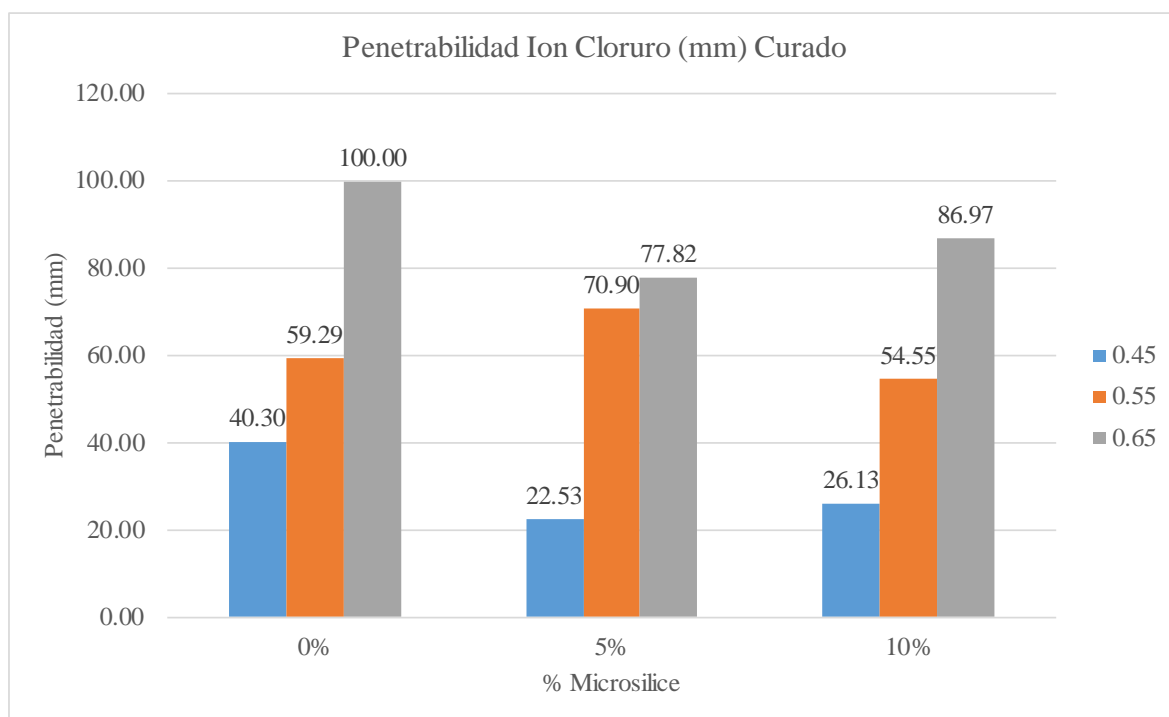


Figura 3. Ensayos de penetrabilidad de ion cloruro de probetas de concreto curadas

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4

Penetrabilidad de Ion Cloruro y su relación agua cemento para cilindros no curados

Adición Microsílice (%)	Relación a/c	Penetrabilidad de Ion Cloruro (mm)
0	0.45	51.6
	0.55	61.38
	0.65	100
5	0.45	100
	0.55	91.57
	0.65	68.68
10	0.45	25.61
	0.55	53.45
	0.65	95.66

Fuente: Elaboración propia

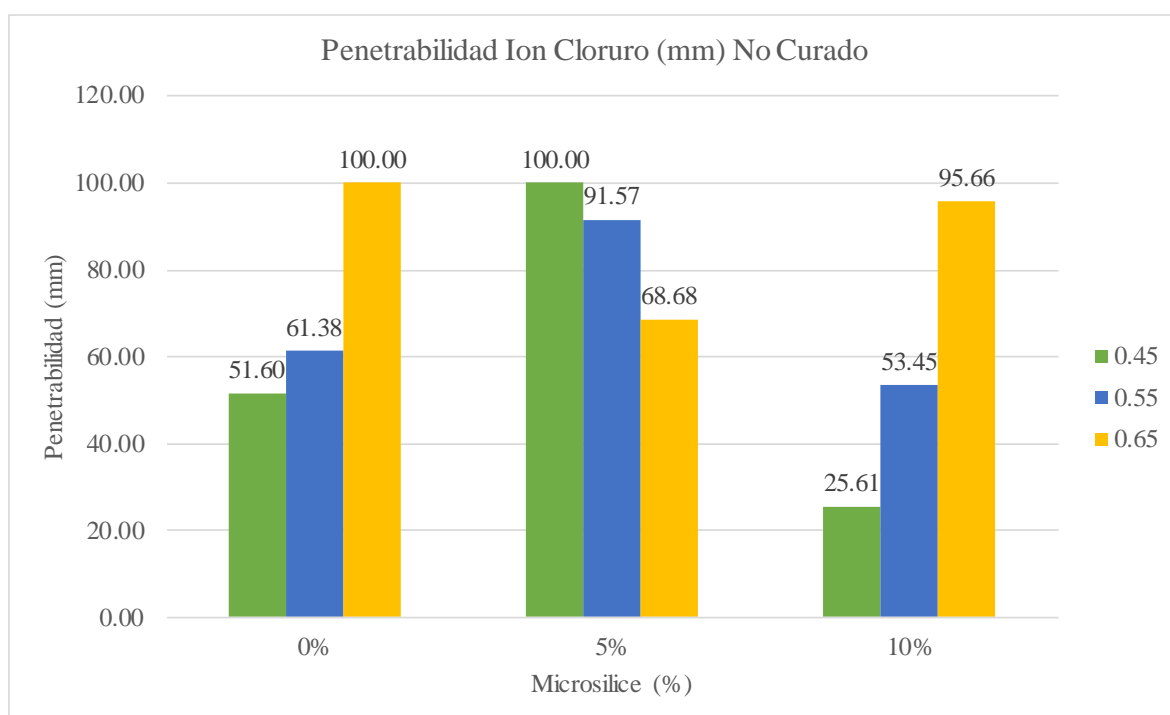


Figura 4. Ensayos de penetrabilidad de ion cloruro de probetas de concreto no curadas

Fuente: Elaboración propia

Artículo 2

Tabla 5

Penetración de cloruros en el HPC con diferentes porcentajes de microsilíce

Adición Microsilíce (%)	Penetración de CL (mm)	
	Curado	Sin curar
0	14	16
5	11.2	12
10	10.3	11.7
15	7.4	9.6

Fuente: Elaboración propia

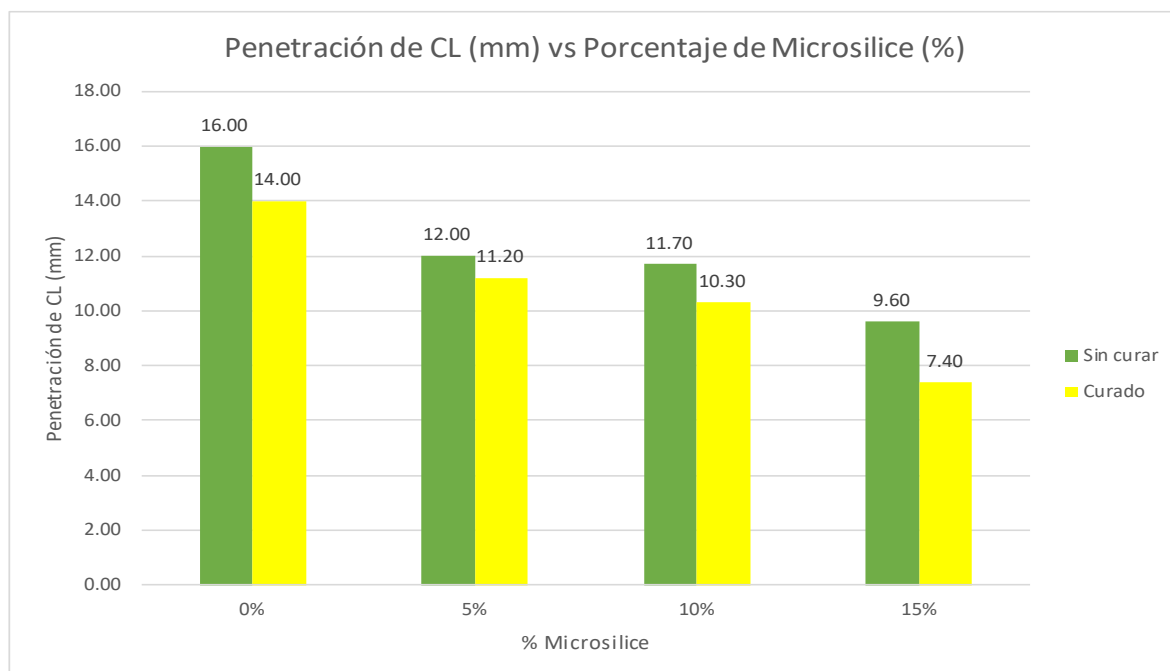


Figura 5. Ensayos de penetración de cloruro de probetas curadas y no curadas de concreto

Fuente: Elaboración propia

Artículo 3

Tabla 6

Permeabilidad ion cloruro de concreto con adición de microsílíce 1 (Sika Fume)

Adición Microsílíce (%)	Relación a/c	Carga Promedio (coulomb)	Permeabilidad ion cloruro
5	0.25	324.50	Muy baja
	0.35	399.00	Muy baja
	0.50	665.50	Muy baja
	0.65	1177.00	Baja
	0.75	1960.50	Baja

Fuente: Elaboración propia

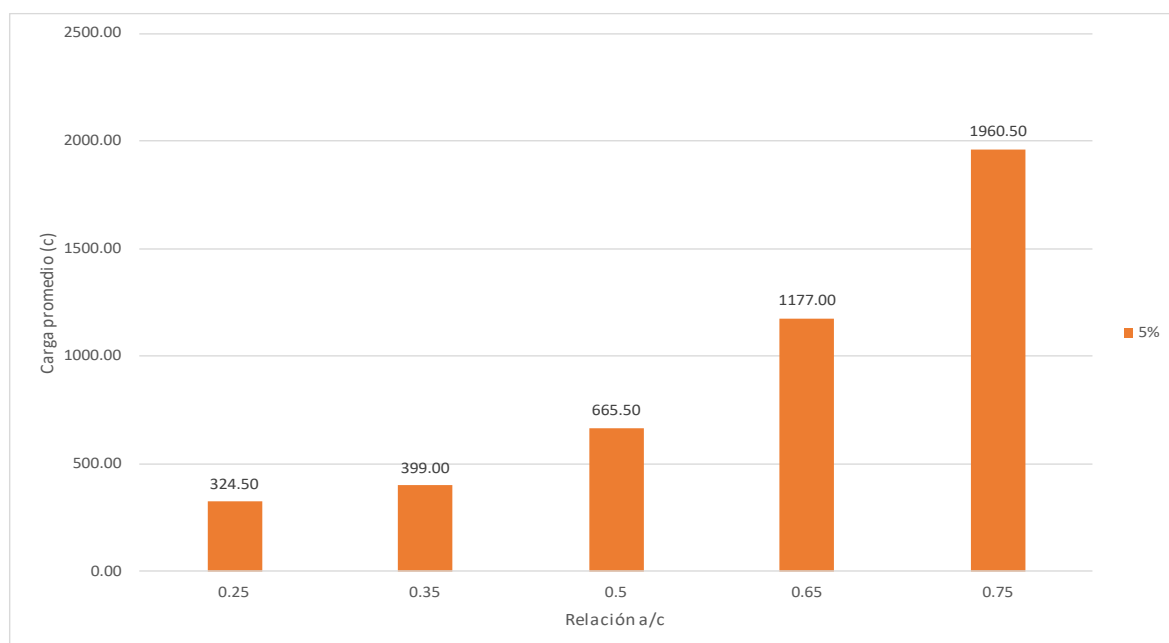


Figura 6. Ensayo de permeabilidad al ion cloruro ASTM C1202

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7

Permeabilidad ion cloruro de concreto con adición de microsílíce 1 (Eucon MSA-Toxement)

Adición Microsílíce (%)	Relación a/c	Carga Promedio (coulomb)	Permeabilidad ion cloruro
5%	0.25	764.00	Muy baja
	0.35	1294.00	Baja
	0.5	1622.00	Baja
	0.65	1722.00	Baja
	0.75	2272.50	Moderado

Fuente: Elaboración propia

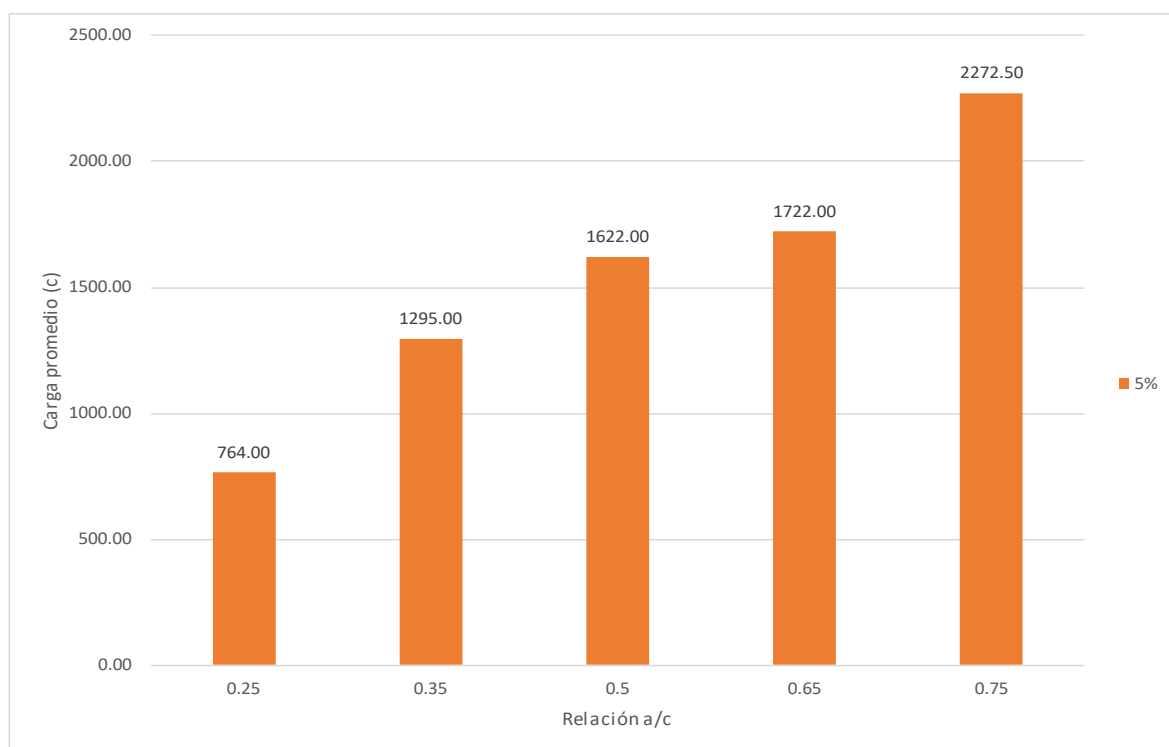


Figura 7. Ensayo a la permeabilidad al ion cloruro ASTM C1202

Fuente: Elaboración propia

- b) El porcentaje óptimo de microsílíce reduce la penetración del agua en el concreto de alta resistencia.

Tabla 8

Artículos de absorción del concreto al agua

Ítem	Autor	Articulo	Relación a/c	Microsílíce (%)
1	Barreto, Jessica; Cufiño, Denny's	Influencia del porcentaje de agregado reciclado en la penetrabilidad al ion cloruro y en la permeabilidad al agua para concretos reciclados.	0.45, 0.55 y 0.65	0, 5 y 10
2	García, José	Análisis de la adición de microsílíce en la permeabilidad de un concreto convencional 280kg/cm ² en la ciudad de Lima.	0.45, 0.55 y 0.65	0, 3 y 8

Fuente: Elaboración propia

Articulo 1

Tabla 9

Ensayo de absorción de agua para las diferentes adiciones de microsílíce

Especímenes	Relación a/c	Adición Microsílíce (%)	Profundidad de penetración (mm)
30% AR+0%S		0	0.01706
30% AR+5%S	a/c= 0.45	5	0.01017
30% AR+10%S		10	0.00940
30% AR+0%S		0	0.02054
30% AR+5%S	a/c= 0.55	5	0.01415
30% AR+10%S		10	0.00887
30% AR+0%S		0	0.02026
30% AR+5%S	a/c= 0.65	5	0.01575
30% AR+10%S		10	0.01035

Fuente: Elaboración propia

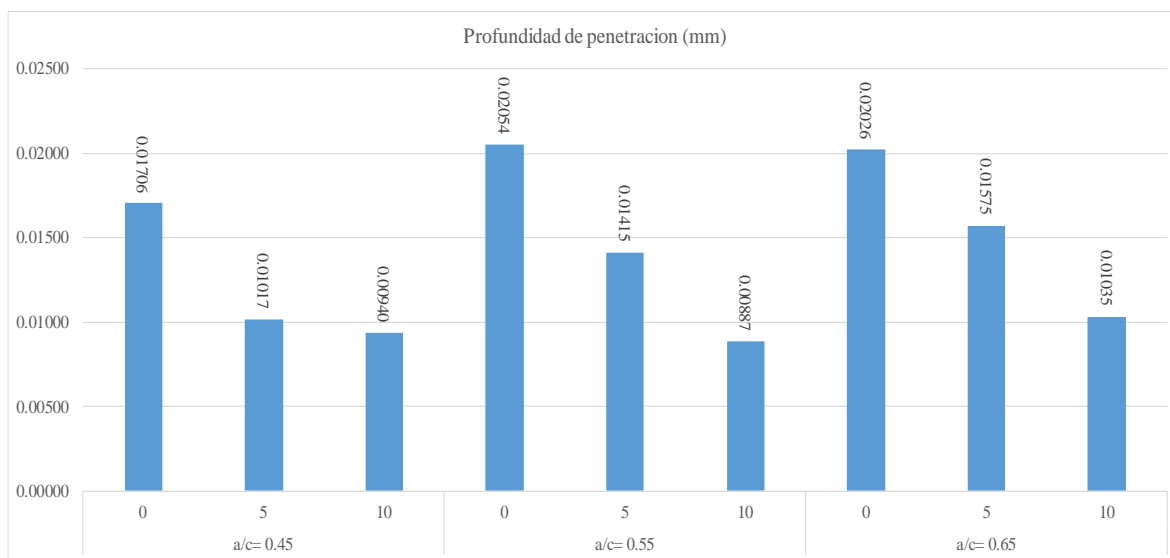


Figura 8. Profundidad de penetración del agua

Fuente: Elaboración propia

Artículo 2

Tabla 10

Resultados de ensayos determinar la absorción y vacíos en concreto

Especímenes	Relación a/c	Adición Microsílice (%)	Absorción después de inmersión (%)
C280MS0	a/c= 0.55	0	2.03
C280MS3		3	1.97
C280MS8		8	1.33

Fuente: Elaboración propia

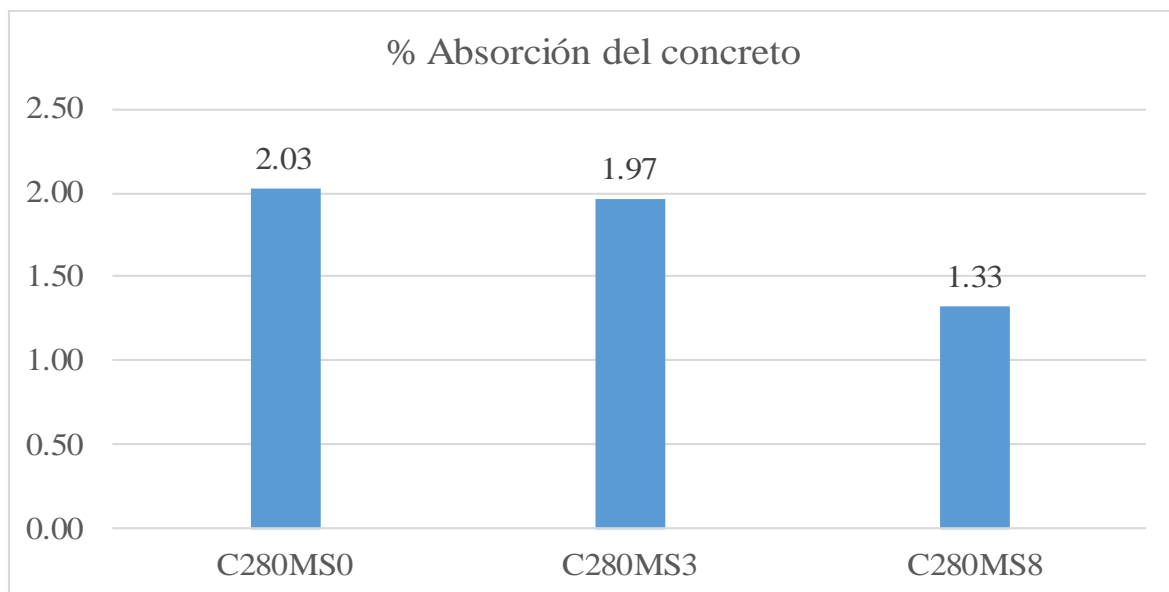


Figura 9. Variación del porcentaje de absorción

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11

Resultados de ensayos para determinar la permeabilidad del concreto al agua

Especímenes	Relación a/c	Probetas	Profundidad de penetración (cm)	Promedio profundidad de penetración (cm)
C280MS0		C280MS0-07	6.34	6.91
		C280MS0-08	7.00	
		C280MS0-09	7.40	
C280MS3	a/c= 0.55	C280MS3-07	6.22	5.70
		C280MS3-08	8.47	
		C280MS3-09	5.17	
C280MS8		C280MS8-07	3.85	3.31
		C280MS8-08	3.41	
		C280MS8-09	2.66	

Fuente: Elaboración propia

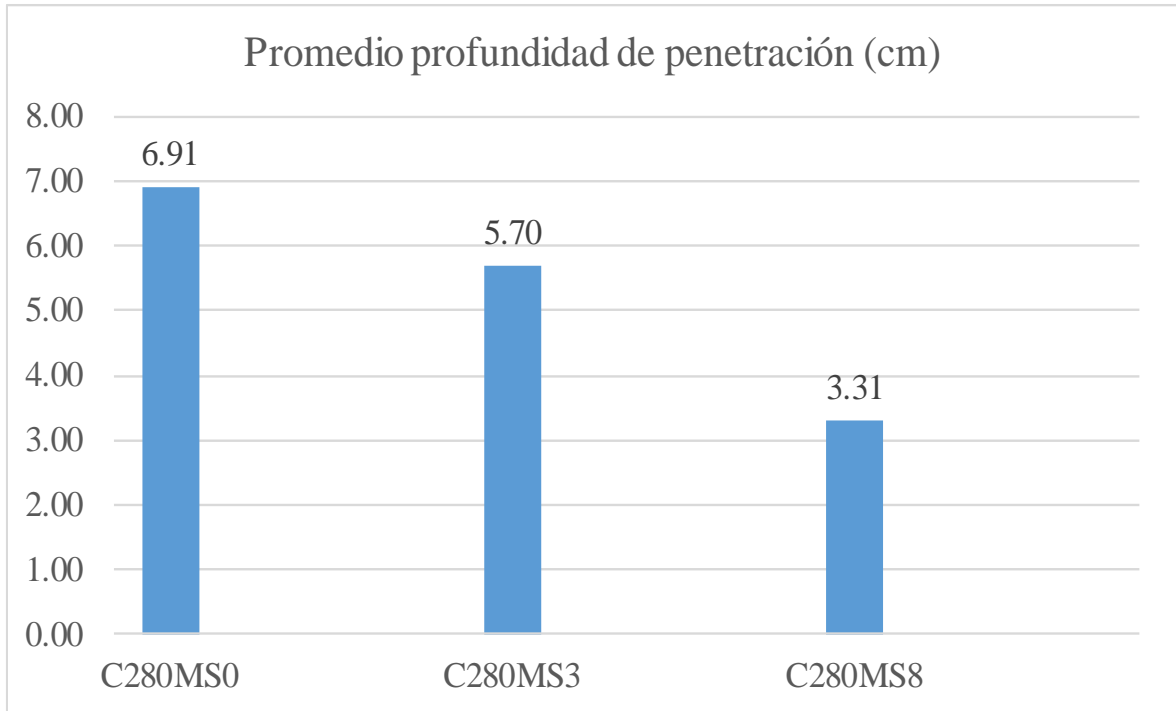


Figura 10. Valores promedios de penetración de agua en el concreto

Fuente: Elaboración propia

- c) El porcentaje óptimo de microsílíce reduce la porosidad en el concreto de alta resistencia.

Tabla 12

Artículos de Porosidad

Ítem	Autor	Artículo	Microsílíce (%)
1	Lucio, López	Influencia de la penetración de Iones Cloruros en el Hormigón Armado a diferentes relaciones Agua/Cemento y Condiciones de Exposición.	0, 5, 10 y 15
2	García, José	Análisis de la adición de microsílíce en la permeabilidad de un concreto convencional 280kg/cm ² en la ciudad de Lima.	0, 3 y 6

Fuente: Elaboración propia

Artículo 1

Tabla 13

Porosidad en el concreto de alta resistencia con adición de microsílíce

Adición Microsílíce (%)	Porosidad de muestra sin curar (%)	Porosidad de muestra curada (%)
0	12.2	13.2
5	14.6	14.4
10	14.4	14.3
15	14.8	16.3

Fuente: Elaboración Propia

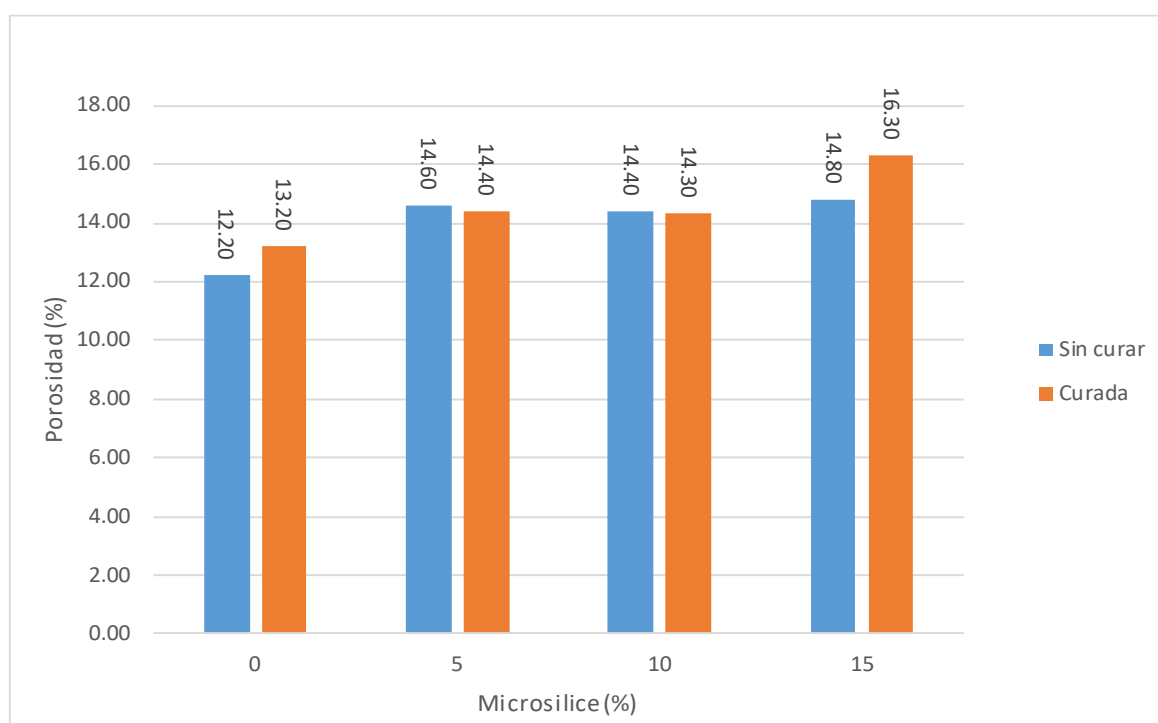


Figura 11. Porosidad del concreto de alta resistencia con adición de microsílíce

Fuente: Elaboración propia

Artículo 2

Tabla 14

Porosidad en el concreto de alta resistencia con adición de microsílíce

Espécimen	Adición Microsílíce (%)	Porosidad (%)
C280MS0	0	4.88
C280MS3	3	4.80
C280MS8	8	3.58

Fuente: Elaboración propia

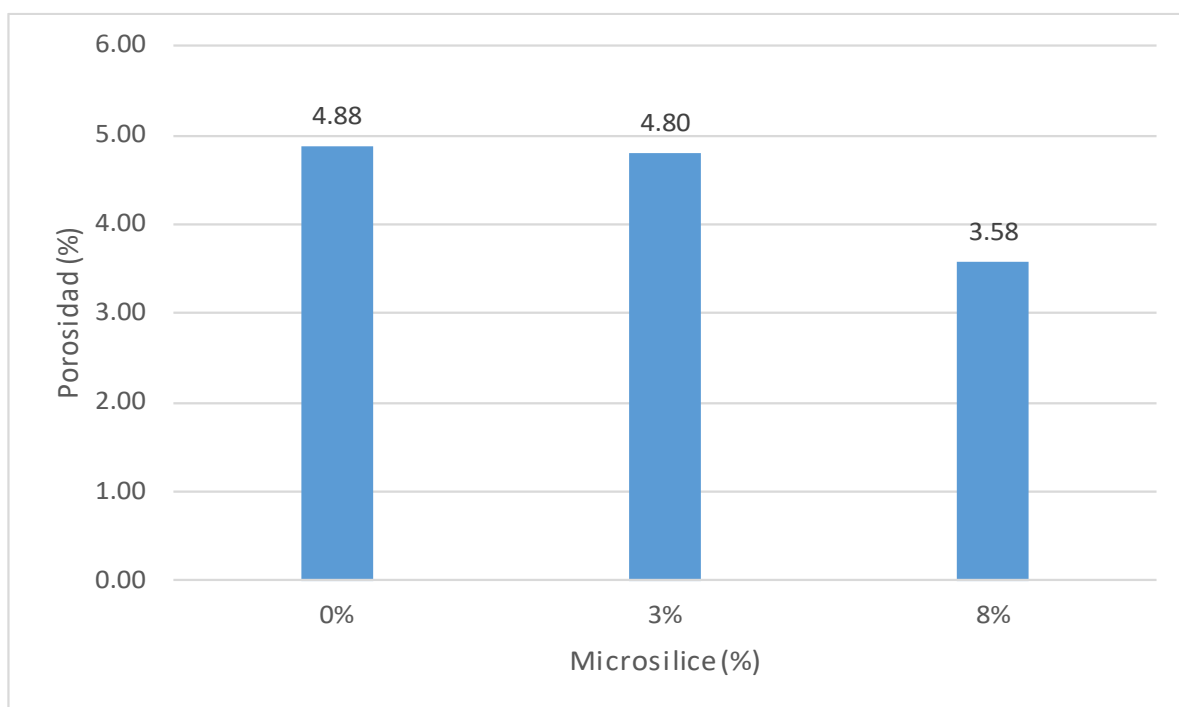


Figura 12. Porosidad del concreto con adición de microsílíce

Fuente: Elaboración propia

- d) El porcentaje óptimo de microsílíce aumenta la resistencia a la compresión en el concreto de alta resistencia.

Tabla 15

Artículos de resistencia a la compresión

Ítem	Autor	Artículo	Relación a/c	Microsílíce (%)
1	García, Luis	Concreto de alto desempeño utilizando hormigón con adición de microsílíce y superplastificante en la ciudad de Huancayo.	0.30, 0.35 y 0.40	0, 4, 6 y 8
2	Vega, Eric	Evaluación experimental del uso de microsílíce para la elaboración de concreto de alta resistencia.	0.36	0, 10, 15 y 20
3	Anicama, Lindsay	Aplicación de aditivo microsílíce, y superplastificante para el diseño de mezclas de concreto de alto desempeño.	0.38	0, 9, 10 y 11
4	Zúñiga, Mariela; Condori, Yudit	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.	0.55	0, 4 y 8

Fuente: Elaboración propia

Artículo 1

Tabla 16

Resultados a la compresión a 28 días

Relación a/c	Adición Microsílice (%)	Resistencia a la compresión a 28 días
0.3	0	654.60
	4	673.50
	6	691.50
	8	710.70
0.35	0	610.30
	4	629.10
	6	644.70
	8	660.20
0.4	0	546.60
	4	557.20
	6	579.40
	8	598.30

Fuente: Elaboración propia

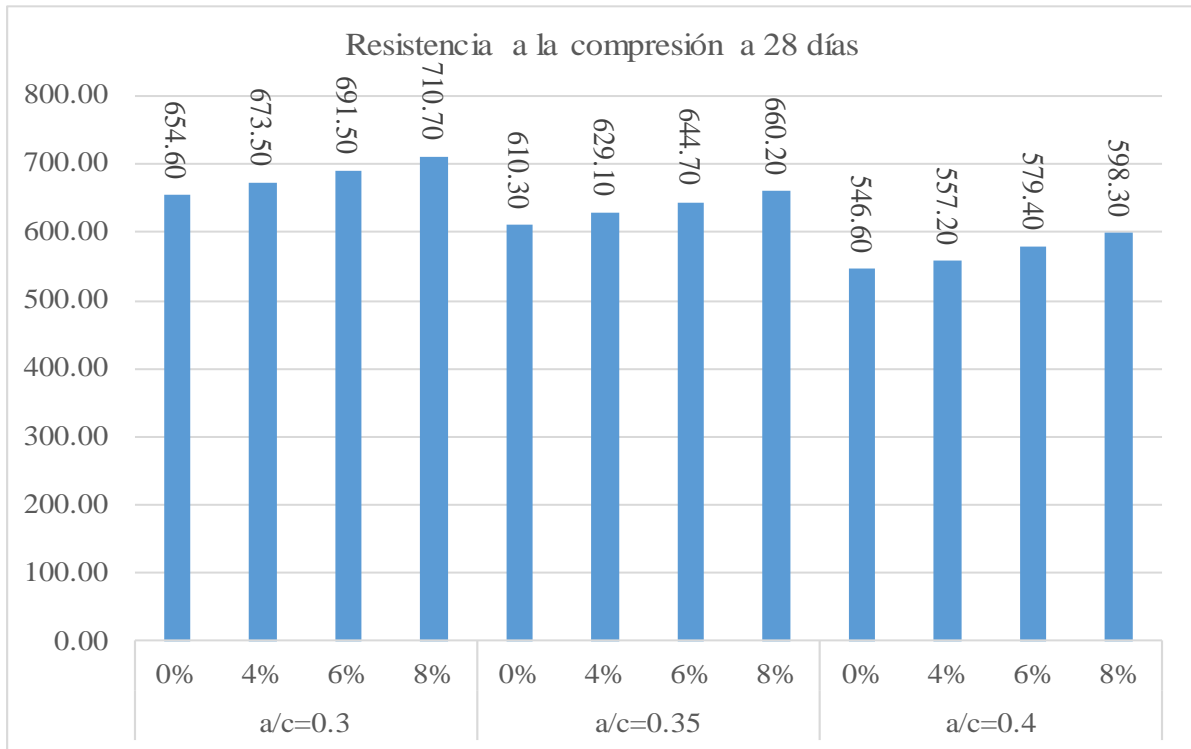


Figura 13. Resistencia a la compresión a 28 días para las adiciones de microsílíce

Fuente: Elaboración propia

Artículo 2

Tabla 17

Resultados a la compresión a 28 días

Relación a/c	Espécimen	Adición Microsílice (%)	Resistencia a la compresión a 28 días
0.36	SP 1-36	0.00	358
	MS-10	10.00	502
	MS-15	15.00	475
	MS-20	20.00	442

Fuente: Elaboración propia

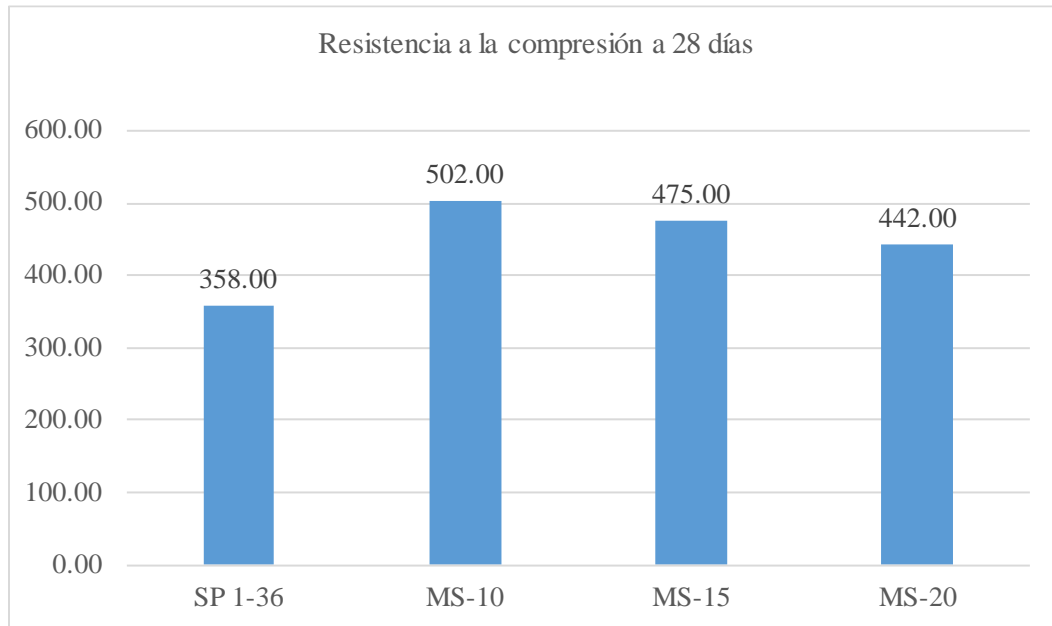


Figura 14. Resistencia a la compresión a 28 días para las adiciones de microsílíce

Fuente: Elaboración propia

Artículo 3

Tabla 18

Resultados a la compresión a 28 días

Relación a/c	Adición Microsílíce (%)	Resistencia a la compresión a 28 días
0.38	0	457.03
	9	479.9
	10	508.6
	11	474.36

Fuente: Elaboración propia

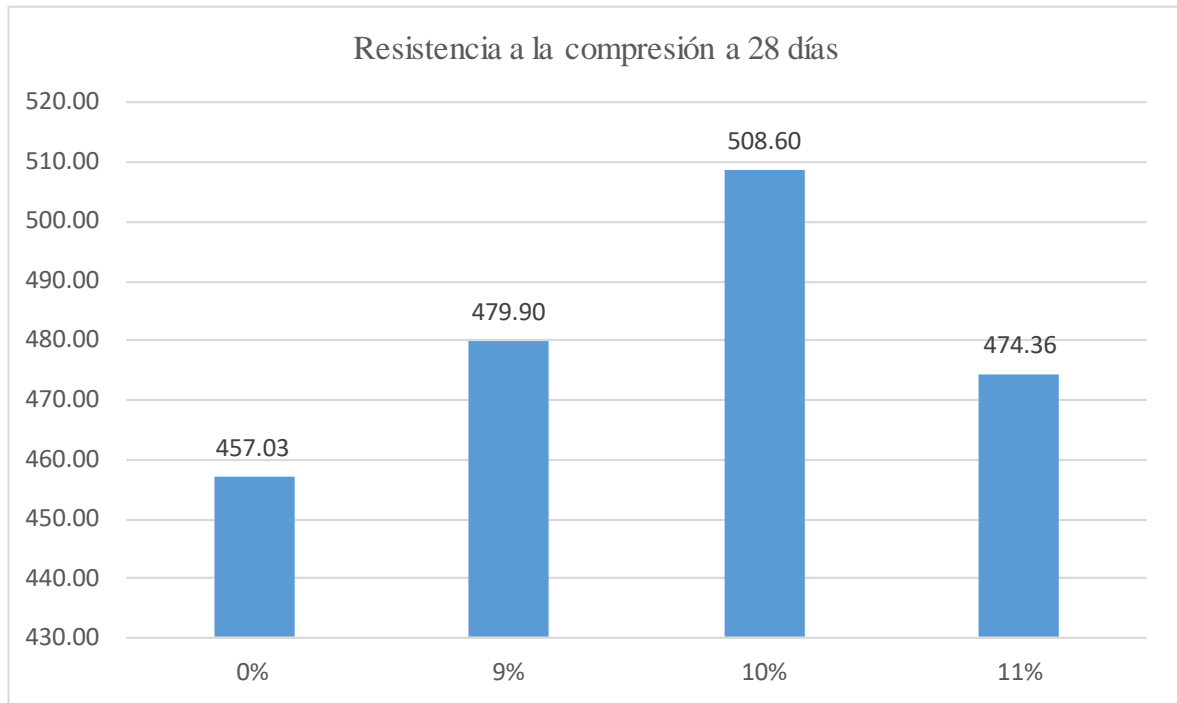


Figura 15. Resistencia a la compresión a 28 días para las adiciones de microsilice

Fuente: Elaboración propia

Artículo 4

Tabla 19

Resultados a la compresión a 28 días

Relación a/c	Adición Microsilice (%)	Resistencia a la compresión a 28 días
0.55	0	312.22
	4	334.89
	8	396.69

Fuente: Elaboración propia

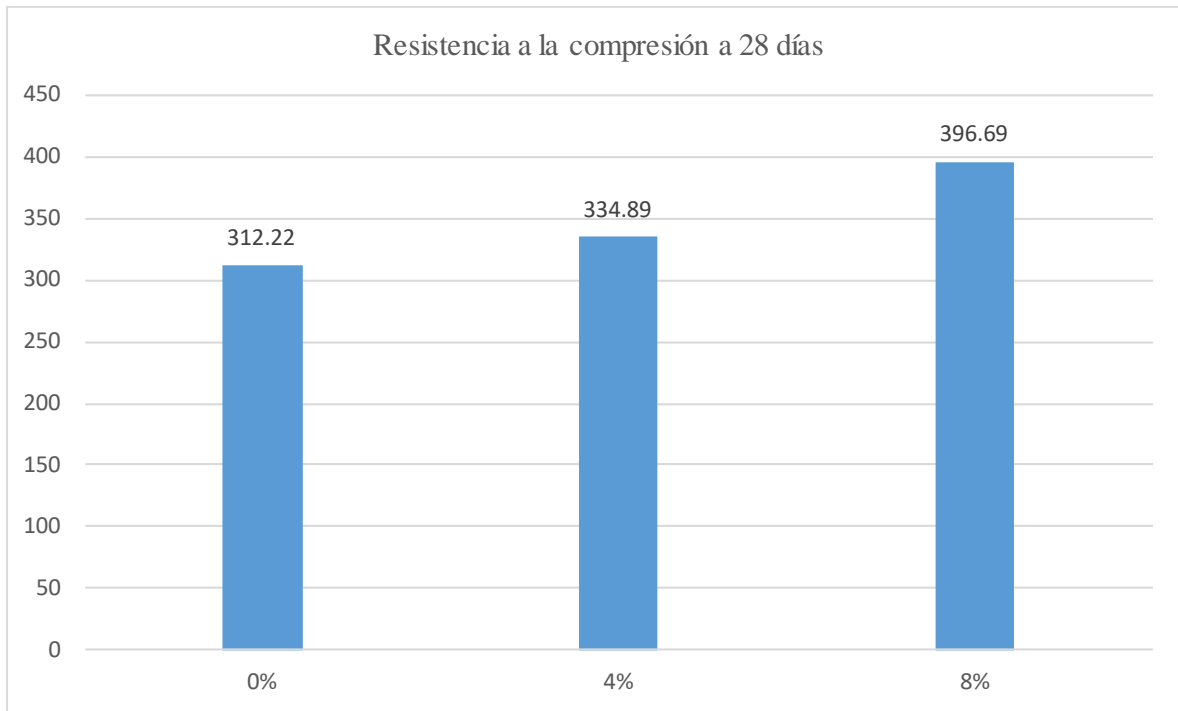


Figura 16. Resistencia a la compresión a 28 días para las adiciones de microsilice

Fuente: Elaboración propia

5.2. Análisis e Interpretación de los resultados

5.2.1. El porcentaje óptimo de microsílíce reduce la penetración de cloruro en el concreto de alta resistencia.

Artículo 1

En las tablas 3 y 4, y figuras 3 y 4, se aprecian los resultados de penetrabilidad de ion cloruro para las probetas curadas y no curadas con adición de microsílíce del 0%, 5% y 10%, y relación agua y cemento de 0.45, 0.55, 0.65. En el cual se puede observar una menor penetrabilidad de cloruros para los ensayos de cilindros curados y menor penetrabilidad a medida que se va aumentando el porcentaje de microsílíce y disminuyendo la relación de agua y cemento. La dosificación óptima de microsílíce se da con 5% en ensayos curados y una relación a/c de 0.45.

Artículo 2

En la tabla 5 y figura 5, se aprecian los resultados de penetración de cloruros en el HPC para probetas curadas y no curadas con adición de microsílíce de 0%, 5%, 10% y 15%; donde se muestra que a medida que se aumenta el porcentaje de microsílíce, se presenta una disminución de la penetración del ion cloruro en el HPC. La dosificación óptima de microsílíce se da con 15% en ensayos curados.

Artículo 3

En las tablas 6 y 7, y figuras 6 y 7 se puede apreciar los resultados de los ensayos de permeabilidad de ion cloruro con adición de 2 tipos de microsílíce (Sika Fume y Eucon MSA-Toxement) según la normativa ASTM C 1202, con porcentaje de dosificación de 5% y relaciones de agua y cemento de 0.25, 0.35, 0.50, 0.65, 0.75. En la cual se puede observar que con una dosificación de microsílíce del 5% se puede obtener resultados de permeabilidad a cloruros muy bajos, dependiendo a su vez de la relación agua y cemento de la mezcla. La dosificación óptima de microsílíce se da con 5% y relación a/c de 0.25.

Tabla 20

Comparación de resultados de penetración de ion cloruro

Ítem	Autor	Artículo	Relación a/c	Microsílice (%)	Penetración de Ion Cloruro (mm)
1	Barreto, Jessica; Cufiño, Denny's	Influencia del porcentaje de agregado reciclado en la penetrabilidad al ion cloruro y en la permeabilidad al agua para concretos reciclados.	0.45	0	40.30
				5	22.53
				10	26.13
			0.55	0	59.29
				5	70.90
				10	54.55
2	López, Lucio	Influencia de la penetración de Iones Cloruros en el Hormigón Armado a diferentes relaciones Agua/Cemento y Condiciones de Exposición.	0.45	0	14.00
				5	11.20
				10	10.30
			0.65	15	7.40
				5	77.82
				10	86.97

Fuente: Elaboración propia

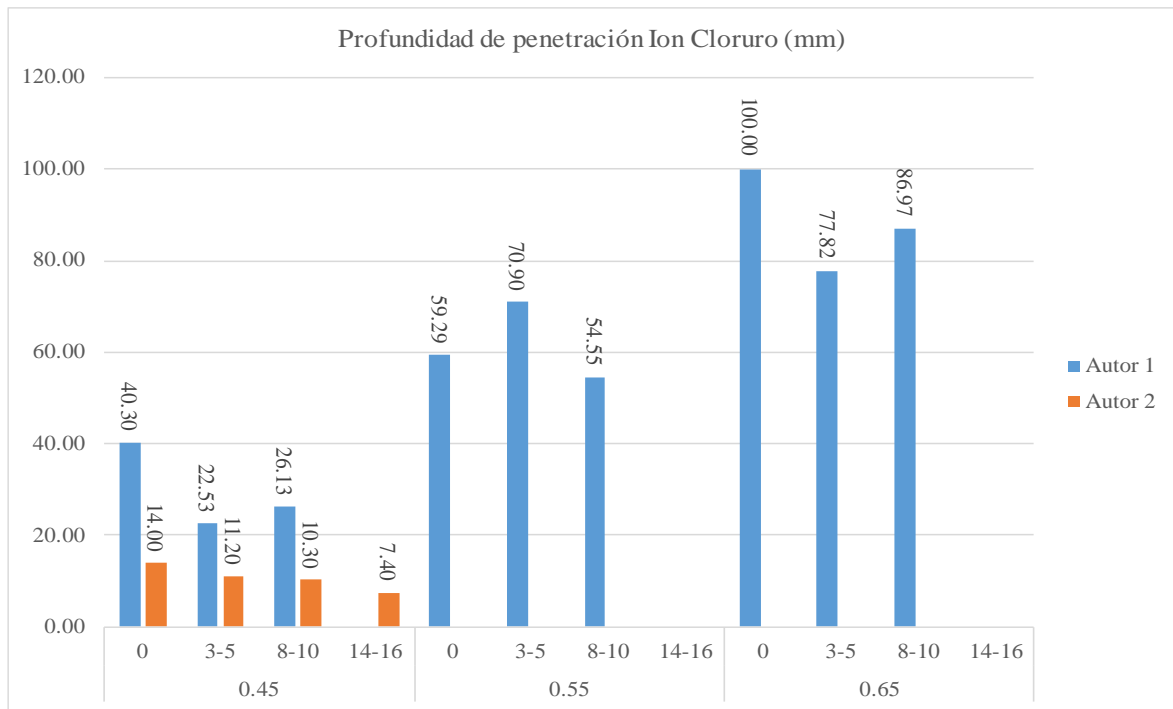


Figura 17. Profundidad de penetración de ion cloruro

Fuente: Elaboración propia

5.2.2. El porcentaje óptimo de microsílíce reduce la penetración del agua en el concreto de alta resistencia.

Artículo 1

En la Figura 8, se observa los resultados para las tres relaciones de a/c que se obtienen ante diferentes dosificaciones de microsílíce al concreto, en el cual podemos apreciar que al aumento del porcentaje de microsílíce reduce la profundidad de penetración del agua. La dosificación de microsílíce más óptima se da con un 10%.

Artículo 2

En la Figura 10 podemos apreciar los resultados de porcentaje de absorción del concreto, porcentaje de volumen de vacíos y profundidad de penetración del agua, las cuales se toman como indicadores para concluir la reducción de absorción de agua en el concreto, ante el aumento de la adición de microsílíce. La dosificación de microsílíce óptima en este caso se da con un 8%.

Tabla 21

Comparación de resultados de penetración de agua

Ítem	Autor	Artículo	Relación a/c	Microsílice (%)	Penetración del Agua (cm)
1	Barreto, Jessica; Cufiño, Denny's	Influencia del porcentaje de agregado reciclado en la penetrabilidad al ion cloruro y en la permeabilidad al agua para concretos reciclados.	0.45	0	0.001706
				5	0.001017
				10	0.000940
				0	0.002054
				5	0.001415
				10	0.000887
	García, José	Análisis de la adición de microsílice en la permeabilidad de un concreto convencional 280kg/cm ² en la ciudad de Lima.	0.55	0	0.002026
				5	0.001575
				10	0.001035
				0	6.91
2	García, José	Análisis de la adición de microsílice en la permeabilidad de un concreto convencional 280kg/cm ² en la ciudad de Lima.	0.55	3	5.70
				8	3.31

Fuente: Elaboración propia

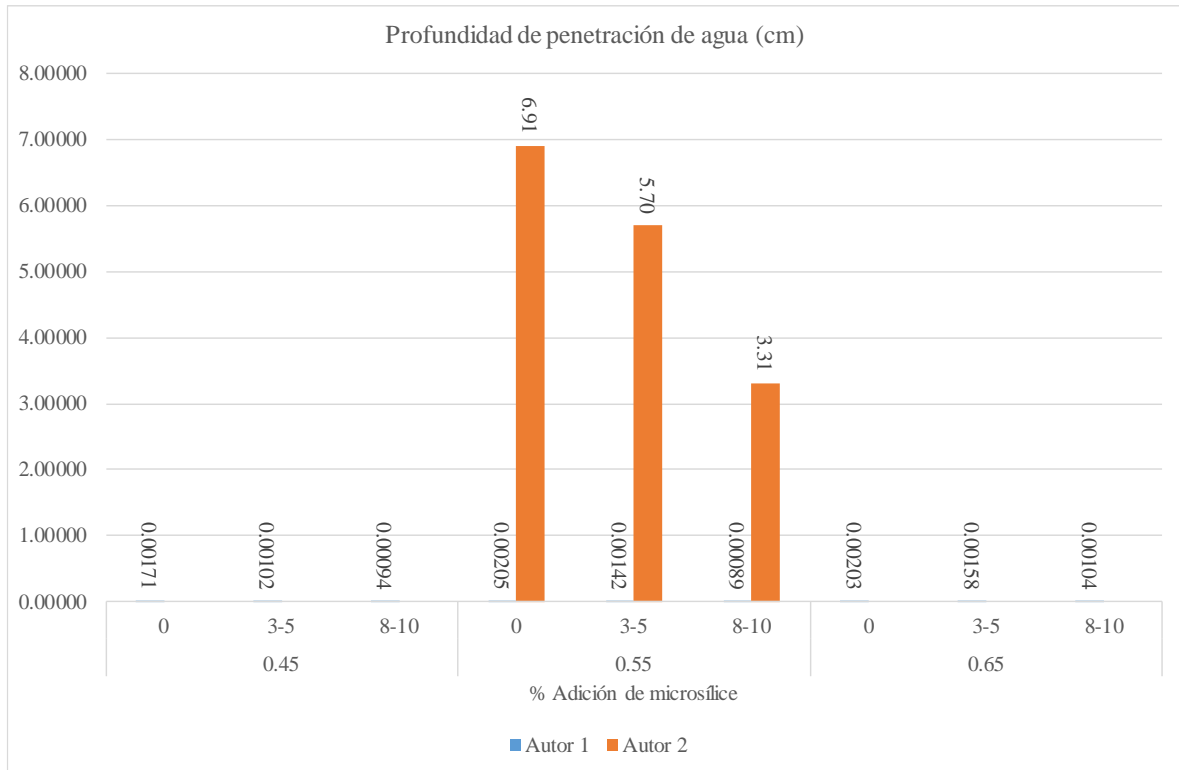


Figura 18. Profundidad de penetración de agua

Fuente: Elaboración propia

5.2.3. El porcentaje óptimo de microsílíce reduce la porosidad en el concreto de alta resistencia.

Artículo 1

En la tabla 13 y figura 11 se aprecian los resultados de porosidad de un concreto de alta resistencia en probetas curadas y no curadas con adición de microsílíce de 0%, 5%, 10% y 15%. En la cual se observa que no existe una tendencia clara y definida acerca de la influencia de la microsílíce en los poros en el HPC ya que se observa una ligera tendencia a aumentar la porosidad en la medida que se aumenta el porcentaje de adición. La dosificación óptima de microsílíce se da con 10% en ensayos curados.

Artículo 2

En la tabla 14 y figura 12 se aprecian los resultados de porosidad de un concreto de alta resistencia con adición de microsílíce de 0%, 3% y 8%. En la cual se observa que a medida que se aumenta el porcentaje de microsílíce

disminuye el porcentaje de vacíos. La dosificación óptima de microsilíce se da con 8%.

Tabla 22

Comparación de resultados de porosidad

Ítem	Autor	Artículo	Relación a/c	Microsilíce (%)	Porosidad (%)
1	Lucio, López	Influencia de la penetración de	0.45	0	13.2
		Iones Cloruros en el Hormigón		5	14.4
		Armado a diferentes relaciones		10	14.3
		Agua/Cemento y Condiciones de Exposición.		15	16.3
2	García, José	Análisis de la adición de	0.55	0	4.88
		microsilíce en la permeabilidad		3	4.8
		de un concreto convencional		6	3.58
		280kg/cm ² en la ciudad de Lima.			

Fuente: Elaboración propia

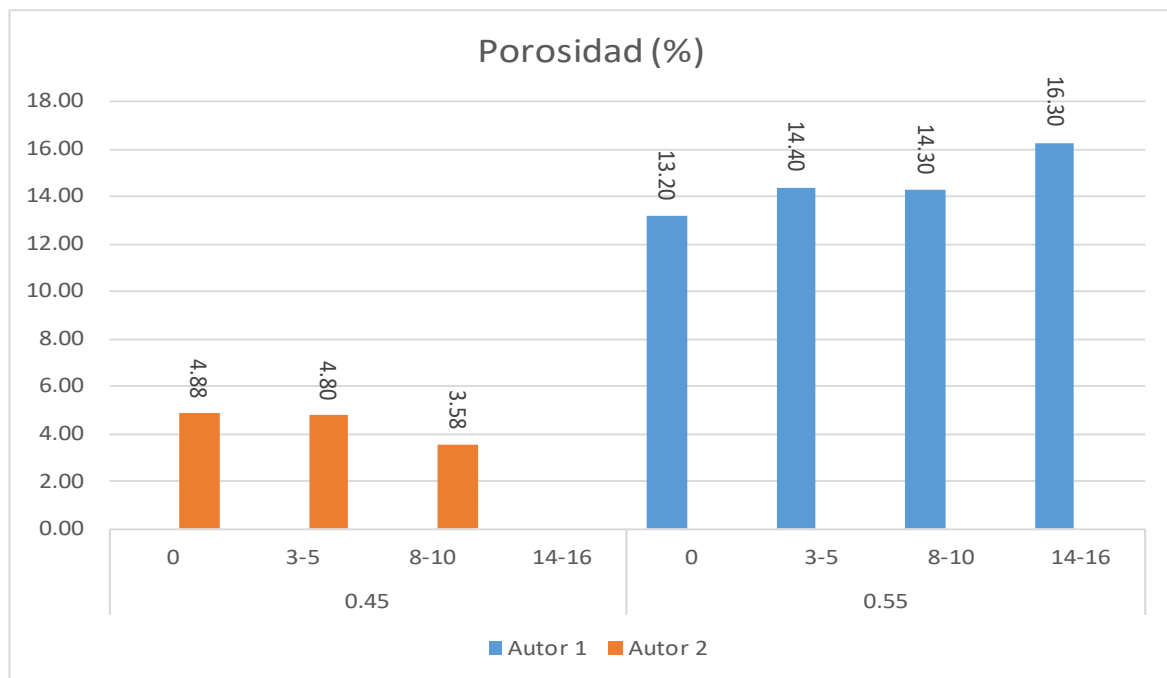


Figura 19. Porcentaje de porosidad

Fuente: Elaboración propia

- 5.2.4. El porcentaje óptimo de microsílíce aumenta la resistencia a la compresión en el concreto de alta resistencia.

Artículo 1

En la Figura 13, se observan los resultados para las diferentes relaciones de a/c de resistencia a la compresión a 28 días con diferentes adiciones entre 0% y 8% de microsílíce al concreto, en la que la menor relación a/c y aumentando el porcentaje de adiciones de microsílíce presentan una mejora en su resistencia a la compresión.

La dosis óptima para obtener un concreto de alta resistencia a la compresión a los 28 días se da con el 8% de adición de microsílíce y con una relación a/c de 0.30.

Artículo 2

Se aprecia en la figura 14 los diferentes resultados de la resistencia a la compresión cuando el concreto cuenta con adiciones entre 0% a 20% de microsílíce y con una relación a/c de 0.36.

Los resultados nos indican que la resistencia a la compresión a 28 días aumenta hasta la adición del 10% y superior a esa adición la resistencia disminuye. Por lo que la dosificación óptima para obtener un concreto de alta resistencia a la compresión a los 28 días se da con la adición del 10% de microsílíce y con una relación a/c de 0.36.

Artículo 3

En la Figura 15, se observan los resultados para las adiciones al concreto entre 0% a 11% de microsílíce con una relación a/c de 0.38.

Los resultados nos indican que aumentando el porcentaje de adición de microsílíce hasta un 10% la resistencia a la compresión a los 28 días aumenta, pero al seguir aumentando a más de 10% la adición de microsílíce la resistencia a la compresión a los 28 días disminuye. Por lo que la dosificación óptima para obtener un concreto de alta resistencia a la compresión a los 28 días se da con el 10% de adición de microsílíce y con una relación a/c de 0.38.

Artículo 4

Se observa en la Figura 16 los diferentes resultados de la resistencia a la compresión con las adiciones al concreto entre 0% y 8% de microsílíce con una relación a/c de 0.55, los resultados nos indican que aumentando el porcentaje de adición de microsílíce la resistencia a la compresión a los 28 días aumenta, pero al tener una alta relación a/c no llega a ser de alta resistencia. Por lo que la dosificación óptima para que aumente su resistencia a los 28 días se da con el 8% de adición de microsílíce.

Tabla 23

Comparación de resultados de resistencia a la compresión a 28 días

Ítem	Autor	Artículo	Relación a/c	% de Microsílice	F'c (kg/cm ²)
1	García, Luis	Concreto de alto desempeño utilizando hormigón con adición de microsilice y superplastificante en la ciudad de Huancayo.	0.3	0	654.60
				4	673.50
				6	691.50
				8	710.70
			0.35	0	610.30
				4	629.10
				6	644.70
				8	660.20
			0.4	0	546.60
				4	557.20
				6	579.40
				8	598.30
2	Vega, Eric	Evaluación experimental del uso de microsilice para la elaboración de concreto de alta resistencia.	0.36	0	358.00
				10	502.00
				15	475.00
				20	442.00
3	Anicama, Lindsay	Aplicación de aditivo microsilice, y superplastificante para el diseño de mezclas de concreto de alto desempeño.	0.38	0	457.03
				9	479.03
				10	508.60
				11	474.36
4	Zúñiga, Mariela; Condori, Yudit	Influencia de adiciones de microsilice en la resistencia a la compresión del concreto producido con agregados de la cantera de Arunta de la ciudad de Tacna.	0.55	0	312.22
				4	334.89
				8	396.69

Fuente: Elaboración propia

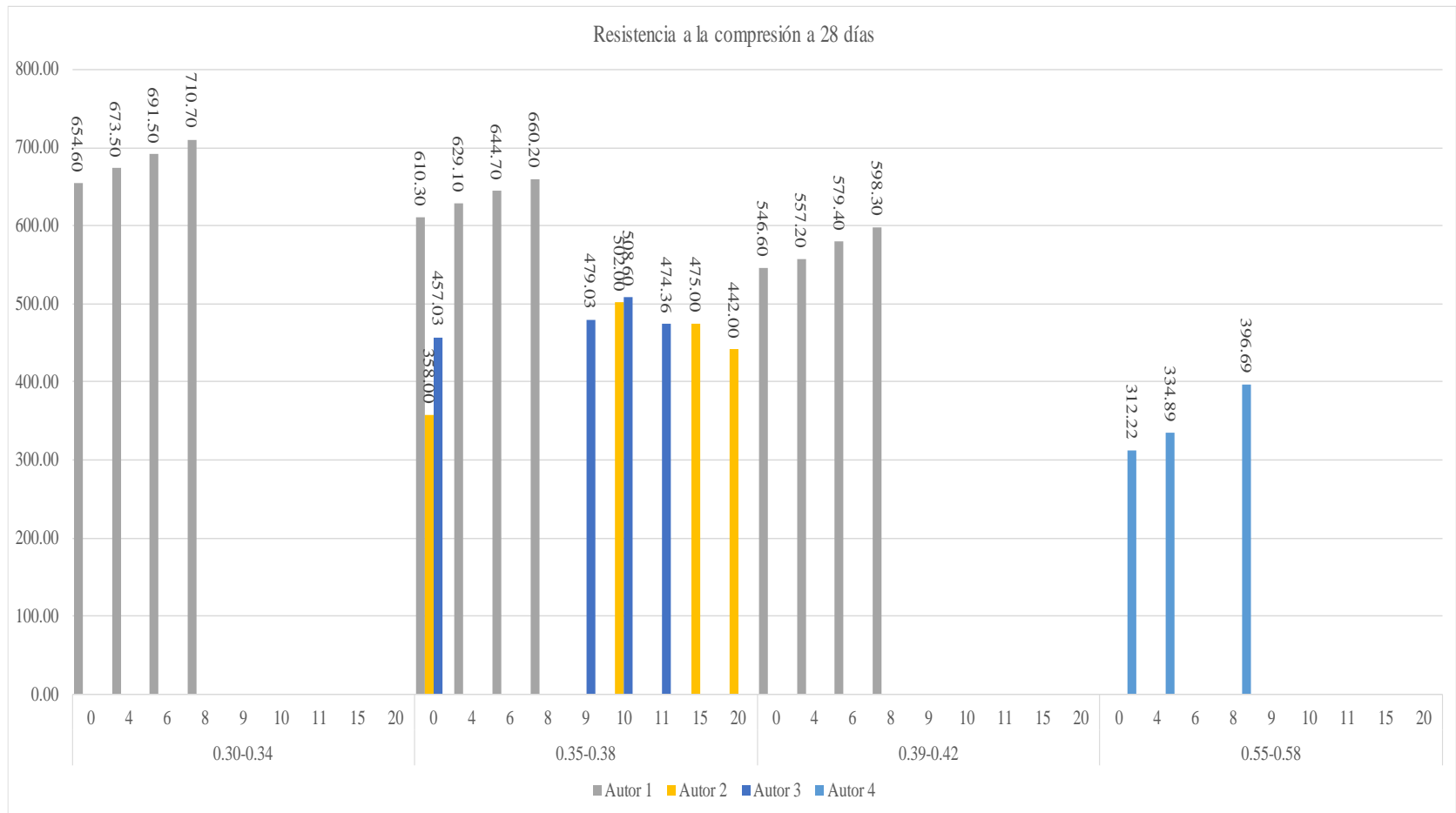


Figura 20. Resistencia a la compresión a 28 días

Fuente: Elaboración propia

Contrastación de hipótesis

5.2.5. Contrastación de hipótesis 1

Hipótesis 1: El porcentaje óptimo de microsílíce reduce la penetración de cloruro en el concreto de alta resistencia.

Para analizar la influencia de la adición de microsílíce en el concreto de alta resistencia y posteriormente verificar la penetración del cloruro, se requieren los resultados de ensayos de otras investigaciones

- Hipótesis auxiliar

H0: El porcentaje óptimo de microsílíce no reduce la penetración de cloruro en el concreto de alta resistencia.

H1: El porcentaje óptimo de microsílíce si reduce la penetración de cloruro en el concreto de alta resistencia.

- Observación:

Según los autores Barreto J. y Cufiño D. (2014), se observa la influencia de la microsílíce en las pruebas de penetrabilidad del cloruro, ya que a mayor porcentaje de microsílíce se obtienen menor penetración, obteniendo como valor menor de penetración 22.53 mm utilizando una dosis de 5% de microsílíce y 0.45 de relación de a/c.

Según el autor López L. (2011), se observa que a mayor porcentaje de microsílíce disminuye la penetración de cloruros, obteniendo como valor menor 7.4mm utilizando una dosificación de 15%.

Según los autores Montaña C. y Carmona R. (2015), se obtiene la permeabilidad al cloruro más baja cuando la carga promedio resulta 324.5 coulomb con una dosificación de microsílíce de 5% y relación agua cemento de 0.25.

Se rechaza la hipótesis nula (H0) y se acepta la hipótesis alterna (H1) ya que se demuestra según las observaciones, que el uso de microsílíce como adición del concreto reduce la penetración del cloruro.

5.2.6. Contrastación de hipótesis 2

Hipótesis 2: El porcentaje óptimo de microsílíce reduce la penetración del agua en el concreto de alta resistencia.

Para analizar la influencia de la adición de microsilíce en el concreto de alta resistencia y posteriormente verificar la penetración de agua, se requieren los resultados de ensayos de otras investigaciones

- Hipótesis auxiliar

H0: El porcentaje óptimo de microsilíce no reduce la penetración del agua en el concreto de alta resistencia.

H1: El porcentaje óptimo de microsilíce si reduce la penetración del agua en el concreto de alta resistencia.

- Observación:

Según las autoras Barreto J. y Cufiño D. (2014), se observa la influencia de la microsilíce en las pruebas de penetración de agua en el concreto, ya que a mayor porcentaje de microsilíce se obtiene una menor penetración de agua, obteniendo como menor valor de penetración 0.00940 mm utilizando una dosificación de 10% de microsilíce y con una relación de a/c de 0.45.

Según el autor García J. (2020), se obtiene la disminución de la penetración de agua en el concreto, obteniendo el menor valor promedio para la penetración de agua de 3.31 cm con un porcentaje de adición de 8% de microsilíce y con una relación a/c de 0.55.

Se rechaza la hipótesis nula (H0) y se acepta la hipótesis alterna (H1) ya que se demuestra según las observaciones, que el uso de microsilíce como adición del concreto reduce la penetración del agua.

5.2.7. Contrastación de hipótesis 3

Hipótesis 3: El porcentaje óptimo de microsilíce reduce la porosidad en el concreto de alta resistencia.

Para analizar la influencia de la adición de microsilíce en el concreto de alta resistencia y posteriormente verificar la porosidad en el concreto, se requieren los resultados de ensayos de otras investigaciones

- Hipótesis auxiliar

H0: El porcentaje óptimo de microsilíce no reduce la porosidad en el concreto de alta resistencia.

H1: El porcentaje óptimo de microsilíce si reduce la porosidad en el concreto

de alta resistencia.

- Observación:

Según el autor López L. (2011), no existe una tendencia clara sobre la influencia de la microsílíce en los poros ya que solo existe la tendencia de la disminución de la microsílíce hasta el 10%. Se obtiene la menor porosidad de 14.3% con adición de microsílíce de 10%.

Según García J. (2020), se observa que a mayor porcentaje de microsílíce se obtiene una menor porosidad. El porcentaje de vacíos más bajo resultó de 3.58% con una dosificación de 8% de microsílíce.

Se rechaza la hipótesis nula (H0) y se acepta la hipótesis alterna (H1) ya que se demuestra según las observaciones, que el uso de microsílíce como adición del concreto reduce la porosidad.

5.2.8. Contrastación de hipótesis 4

Hipótesis 4: El porcentaje óptimo de microsílíce aumenta la resistencia a la compresión en el concreto de alta resistencia.

Para analizar la influencia de la adición de microsílíce en el concreto de alta resistencia y posteriormente verificar la porosidad en el concreto, se requieren los resultados de ensayos de otras investigaciones

- Hipótesis auxiliar

H0: El porcentaje óptimo de microsílíce no aumenta la resistencia a la compresión en el concreto de alta resistencia.

H1: El porcentaje óptimo de microsílíce si aumenta la resistencia a la compresión en el concreto de alta resistencia.

- Observación:

Según el autor García L. (2018), se observa que con una relación a/c de 0.3 y a mayor porcentaje de adición de microsílíce se obtiene un incremento en su resistencia a la compresión resultando 710.70 kg/cm² a los 28 días. Con lo que se obtiene un concreto de alta resistencia con una adición de microsílíce de 8%.

Según el autor Vega E. (2019), se obtiene un incremento en la resistencia del concreto a 28 días gracias a la adición de microsílíce hasta un 10% mayor a

esa adición el concreto disminuye su resistencia y con una relación a/c 0.36, obteniendo una resistencia de 502 kg/cm². Con lo que se obtiene un concreto de alta resistencia a la compresión a 28 días con una adición de microsílíce de 10%.

Según el autor Anicama L. (2020), se observa que con una relación a/c de 0.38 y a mayor porcentaje de adición de microsílíce hasta un 10% se obtiene un incremento en su resistencia mayor a esa adición la resistencia disminuye, en el resultado a la resistencia a la compresión de obtuvo 508.6 kg/cm² a los 28 días. Con lo que se obtiene un concreto de alta resistencia con una adición de microsílíce de 10%.

Según las autoras Zúñiga M. y Condori Y. (2019), se obtiene un incremento en la resistencia del concreto a 28 días gracias a la adición de microsílíce y con una relación a/c 0.55, obteniendo una resistencia de 396.69 kg/cm². Con lo que se obtiene un concreto que aumenta su resistencia a la compresión a 28 días con una adición de microsílíce de 8%.

Se rechaza la hipótesis nula (H0) y se acepta la hipótesis alterna (H1) ya que se demuestra según las observaciones, que el uso de microsílíce como adición del concreto aumenta la resistencia del concreto.

DISCUSIÓN

1. Según los resultados de penetrabilidad de cloruros obtenidos de los artículos, se analizaron las investigaciones de Barreto J. y Cufiño D. (2014), López L. (2011) y de Montaña C. y Carmona R., donde se puede observar en las figuras 3, 4, 5, 6 y 7 que los valores de la penetrabilidad disminuyen cuando se aumenta el porcentaje de microsílíce, ya que por sus características la microsílíce disminuye la capilaridad y comunicación entre los poros que puedan presentarse en el concreto. Además, es importante mencionar que los ensayos curados resultan ser menos permeables que los no curados; asimismo se pudo observar que cuando la relación de agua y cemento es baja disminuye la penetrabilidad de cloruros.
2. Según los resultados de absorción de agua obtenidos de los artículos, analizamos la investigación de Barreto, J. y Cufiño, D. (2014), de la Figura 8 la cual investiga la absorción del agua de un concreto con adición de microsílíce y sin adición, y la investigación de García, J. (2020), de la Figura 10 que investiga la penetración del agua de un concreto con adición de microsílíce y sin adición, se logra comparar la influencia de la adición de microsílíce en el concreto en estado endurecido, ambos autores contemplan la comparación entre un espécimen patrón sin adición de microsílíce, dando como resultado una mejora en la permeabilidad del concreto, a medida de que se va aumentando el porcentaje de adición de microsílíce se va reduciendo la profundidad de penetración del agua en el concreto, mejorando la permeabilidad del concreto.
3. Según los resultados de porosidad obtenido de los artículos, se analizaron las investigaciones de López L. (2011) y García J. (2020), donde se puede observar en la figura 11 que no existe una tendencia clara cuando al adicionar microsílíce con respecto a la porosidad, debido a que disminuye su porosidad al aumentar la dosificación de microsílíce, pero solo hasta el 10% de adición llegando a su valor más bajo, y posteriormente al aumentar a 15% de dosificación la porosidad vuelve a aumentar. Este problema de aparente contradicción en los resultados se podría deber según García J., a que el ensayo propuesto permite evaluar únicamente la porosidad abierta (poros saturables) y teniendo en cuenta que la microsílíce entrega importantes

mejoras en la porción de la microestructura que incluye los poros más pequeños, los cuales no se pueden evaluar mediante el ensayo realizado. Caso contrario ocurre en la figura 12 que al aumentar la dosificación disminuye su porosidad, cabe resaltar que esto ocurre cuando la dosificación llega a 10%.

4. Según los artículos analizados en la Figura 13, 14, 15 y 16 podemos observar que adicionando microsílce al concreto, se mejora la resistencia a la compresión a 28 días. Aumenta con 8% de microsílce superando los 710.70 kg/cm^2 llegando a ser un concreto de alta resistencia ya que supera los 420 kg/cm^2 como lo dice el ACI. Al adicionar 11%, 15% y 20% de microsílce trae una disminución en su resistencia tal como lo demuestra Vega, E. (2019) y Anicama, L. (2019) y se puede apreciar en las Figuras 15 y 17, en los artículos se observa que las adiciones mayores al 10% de microsílce disminuye la resistencia a la compresión a 28 días.

CONCLUSIONES

1. La microsílíce como adición del cemento de un concreto de alta resistencia disminuye la permeabilidad, obteniendo resultados de baja penetración de ion cloruro, baja penetración de agua, baja porosidad y un aumento en la resistencia a la compresión llegando a ser un concreto de alta resistencia. Por lo tanto, se obtiene como óptima dosificación de microsílíce el 10% y una relación de agua cemento de 0.30.
2. A medida que se aumenta la dosificación de microsílíce disminuye la penetración de cloruros en el concreto, obteniéndose resultados de penetración de cloruros bajos en los rangos de adición del 5% al 15% de microsílíce y con una relación agua cemento menores a 0.45. Por lo tanto, la dosificación óptima sería de 15% de microsílíce resultando la menor penetrabilidad de 7.4 mm.
3. A medida que se va aumentando la adición de microsílíce se obtiene una menor absorción de agua en el concreto. De los artículos, la menor penetración fue de 0.00887mm para una adición de 10% de microsílíce de Barreto, J. y Cufiño, D. (2014) y la mayor penetración fue de 0.01575 para una adición de 5% de microsílíce. Por lo tanto, la óptima adición de microsílíce para obtener una menor penetración de absorción de agua en el concreto sería del 10%.
4. A medida que aumenta la dosificación de microsílíce hasta 10% disminuye la porosidad, logrando su valor más bajo cuando la dosificación es de 8%. Al aumentar la dosificación mayor al 10% los valores de porosidad aumentan. Por lo tanto, la porosidad mínima deseada se da cuando el valor de la dosificación de microsílíce es de 8%.
5. A medida que se va aumentando la adición de microsílíce se obtiene una mayor resistencia a la compresión hasta el 10% de adición mayor a esa adición la resistencia disminuye, de los cuales la resistencia más baja la obtuvo Zúñiga, M. y Condori Y. (2019), que utilizó una relación a/c de 0.55 con una adición de 8% de microsílíce y obtuvo una resistencia de 396.69 kg/cm², la mayor resistencia a la compresión fue de 710.70 kg/cm² con una relación a/c de 0.30 y la adición de 8% de microsílíce de García, L (2018), debido a que al reducir la relación a/c se realizara una mezcla de

concreto más densa reduciendo y al añadir microsílíce, aumenta la resistencia a la compresión llegando a ser de concreto de alta resistencia. Cabe resaltar que al añadir más de 10 % de microsílíce la resistencia a la compresión disminuye tal como lo demuestra Vega, E. (2019) y Anicama, L. (2019), para sus adiciones de 11%, 15% y 20% de microsílíce. Por lo tanto, la óptima adición de microsílíce para un concreto de alta resistencia sería de 8% con una relación a/c de 0.30.

RECOMENDACIONES

1. Respecto a la investigación, es importante definir una relación óptima de agua cemento ya que influye en los ensayos de permeabilidad y resistencia, además de no sobrepasar la dosificación de microsílíce ya que puede generar disminución en su resistencia a la compresión y disminución en algunas pruebas de permeabilidad.
2. Para trabajos posteriores se debería realizar un buen curado, ya que con esto se puede evitar la pérdida de agua por evaporación, lo que genera vacíos en el concreto posteriormente. Si esta permeabilidad al agua y cloruros aumenta afecta a la estructura interna del concreto.
3. En futuras investigaciones, es importante realizar ensayos de permeabilidad de agua con relaciones a/c bajas y con diferentes adiciones de microsílíce para poder obtener un cuadro óptimo en la penetración del agua en el concreto a las diferentes edades.
4. En futuros trabajos e investigaciones, se sugiere utilizar la microsílíce en forma de polvo que contenga dióxido de silicio reactivo extremadamente fino, ya que imparte una gran cohesión interna y retención de agua en el concreto fresco logrando obtener mejores resultados y menores valores de permeabilidad.
5. Considerando los resultados obtenidos en los artículos es necesario realizar ensayos con relaciones de agua cemento bajas, con adiciones de microsílíce más altas para así obtener un cuadro más óptimo de resistencia a la compresión

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amez, A. y Enrico, M. (2020). *Influencia de los aditivos de cadena corta y cadena larga en las propiedades mecánicas del concreto con incorporación de microsílíce* (Tesis para optar el grado de Ingeniero Civil). Universidad Ricardo Palma, Lima - Perú.
- Anicama L. (2020). *Aplicación de aditivo microsílíce, y superplastificante para el diseño de mezclas de concreto de alto desempeño* (Tesis para optar el grado de Ingeniero Civil). Universidad Cesar Vallejo, Lima - Perú.
- Barreto J., Cufiño D. (2014). *Influencia del porcentaje de agregado reciclado en la penetrabilidad al ion cloruro y en la permeabilidad al agua para concretos reciclados*. (Tesis para optar el grado de Ingeniero Civil). Universidad la Gran Colombia, Bogotá - Colombia.
- Birardi y Rojas (2014). *Evaluación de mezclas de concreto con diferentes porcentajes de adiciones de sílice y aditivo plastificante para su optimización* (Tesis para optar el grado de Ingeniero Civil). Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, Barquisimeto – Venezuela.
- Caballero, D. (2019). *Optimización del concreto mediante la adición de nanosílíce, empleando agregados de la cantera de Añashuayco de Arequipa* (Tesis para optar el grado de Ingeniero Civil). Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa - Perú.
- Falcón y Contreras (2012). *Evaluación Física y Mecánica de Concreto Convencional Sustituyendo Dosis de Cemento por Microsílíce con un Asentamiento de 5” y una Resistencia a la Compresión de 250 kgf/cm²* (Tesis para optar el grado de Ingeniero Civil). Universidad Nueva Esparta, Caracas - Venezuela.
- García J. (2020). *Análisis de la adición de microsílíce en la permeabilidad de un concreto convencional 280kg/cm² en la ciudad de Lima* (Tesis para optar el grado de Ingeniero Civil). Universidad Cesar Vallejo, Lima - Perú.
- García L. (2018). *Concreto de alto desempeño utilizando hormigón con adición de microsílíce y superplastificante en la ciudad de Huancayo* (Tesis para optar el grado de Ingeniero Civil). Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo - Perú.
- Giménez, Olavarrieta, Silva y Gallegos (2018). *Estudio físico mecánico de concretos sustituidos con polvo de sílice expuestos en ambiente agresivo simulado*. Revista Gaceta Técnica.

- Hommer, H. (2009). Interaction of polycarboxylate ether with silica fume. *Journal of the European Ceramic Society*, 29, 1847-1853. Doi: [HTTTPs://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2008.12.017](https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2008.12.017)
- INDECOPI. (2013). NTP 339.034:2008 (Revisión 2013). *HORMIGÓN (CONCRETO). Método de Ensayo Normalizado para la determinación de la Resistencia a la Compresión del Concreto en Muestras Cilíndricas*. El Peruano.
- INDECOPI. (2017). 339.078:2012 (Revisión 2017). *CONCRETO Método de Ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo*. El Peruano.
- INDECOPI. (2017). 339.084:2012 (Revisión 2017). *CONCRETO Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a tracción simple del concreto, por compresión diametral de una probeta cilíndrica*. El Peruano.
- INDECOPI. (2018). 334.009:2016/MT 1:2018. *CEMENTOS Cemento Portland requisitos. MODIFICATORIA TÉCNICA 1*. El Peruano.
- INDECOPI. (2018). 334.090:2016/MT 1:2018. *CEMENTOS. Cemento Portland adicionados*. El Peruano.
- INDECOPI. (2018). NTP 334.009:2016/MT 1:2018. *CEMENTOS. Cemento Portland Requisitos MODIFICACION TECNICA 1*. El Peruano.
- INDECOPI. (2018). NTP 400.011:2018. *AGREGADOS Definición y clasificación de agregados para su uso en mortero y concreto*. El Peruano.
- INDECOPI. (2018). NTP 400.012:2013 (Revisión 2018) *AGREGADOS Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global*. El Peruano.
- INDECOPI. (2018). NTP 400.037:2018. *AGREGADOS Agregados para concreto*. El Peruano.
- INDECOPI. (2019). 339.047:2014 (Revisión 2019). *CONCRETO Definición y terminología relativas al concreto y agregados*. El Peruano.
- López L. (2011). *Influencia de la penetración de Iones Cloruros en el Hormigón Armado a diferentes relaciones Agua/Cemento y Condiciones de Exposición*.
- Montaña, Carmona. (2015). *Impacto de las adiciones para concreto en la reducción de la permeabilidad al ion cloruro vs la relación agua cemento*.

- Pérez (2008). *Caracterización de morteros con adición de combinaciones de micro sílice y nano sílice (Tesis para optar el grado de Ingeniero Civil)*. Universidad Austral de Chile, Valdivia - Chile.
- Portland Cement Association. (19 de Enero de 2016). *PCA American's Cement Manufactures*. Obtenido de PCA American's Cement Manufactures: <http://www.cement.org/cement-concrete-basics/products/high-strength-concrete>
- Portland Cement Association. (1994). *High Strength Concrete*. Concrete Technology Today, 8.
- Rivva, E. (2002). *Concretos de alta resistencia*. Perú: Instituto de la Construcción y gerencia fondo editorial ICG.
- Vega E. (2019). *Evaluación experimental del uso de microsíllice para la elaboración de concreto de alta resistencia (Tesis para optar el grado de Ingeniero Civil)*. Universidad de Piura, Piura - Perú.
- Zúñiga y Condori (2019). *Influencia de adiciones de microsíllice en la Resistencia a la compresión del concreto Producido con agregados de la cantera de Arunta de la ciudad de Tacna (Tesis para optar el grado de Ingeniero Civil)*. Universidad Privada de Tacna, Tacna - Perú.

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

Anexo 2. Matriz bibliográfica

Anexo 3. Matriz de subtemas

Anexo 4. Matriz de indicadores

Anexo 1: Matriz de consistencia

Tema: Microsílice como adición del cemento para reducir la permeabilidad del concreto de alta resistencia

Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variable Independiente	Indicadores	Diseño de metodología
¿De qué manera la adición del cemento reduce la permeabilidad del concreto de alta resistencia?	Determinar como microsílice como adición del cemento para reducir la permeabilidad del concreto de alta resistencia	Al determinar el porcentaje óptimo de microsílice como adición del cemento reduce la permeabilidad del concreto de alta resistencia	Microsílice	Porcentaje de microsílice	El método es deductivo, debido a que contrasta teorías e investigaciones pasadas con respecto a la adición de microsílice en un concreto de alta resistencia
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas	Variable Dependiente	Indicadores	
¿De qué manera el porcentaje óptimo de microsílice reduce la penetración del cloruro en el concreto de alta resistencia?	Determinar el porcentaje óptimo de microsílice para reducir la penetración de cloruro en el concreto de alta resistencia	El porcentaje óptimo de microsílice reduce la penetración de cloruro en el concreto de alta resistencia	Permeabilidad del concreto	Penetración de cloruro	El enfoque es mixto, debido a que se

¿De qué manera el porcentaje óptimo de microfílice reduce la penetración del agua en el concreto de alta resistencia?	Determinar el porcentaje óptimo de microfílice para reducir la penetración del agua en el concreto de alta resistencia	El porcentaje óptimo de microfílice reduce la penetración del agua en el concreto de alta resistencia	Penetración del agua	recolecta y analiza datos cuantitativos y cualitativos que permiten responder al planteamiento del problema.
¿De qué manera el porcentaje óptimo de microfílice reduce la porosidad en el concreto de alta resistencia?	Determinar el porcentaje óptimo de microfílice para reducir la porosidad en el concreto de alta resistencia	El porcentaje óptimo de microfílice reduce la porosidad en el concreto de alta resistencia	Porosidad	Dee orientación aplicada
¿De qué manera el porcentaje óptimo de microfílice incrementa la resistencia a la compresión en el concreto de alta resistencia?	Determinar el porcentaje óptimo de microfílice para incrementar la resistencia a la compresión en el concreto de alta resistencia	El porcentaje óptimo de microfílice aumenta la resistencia a la compresión en el concreto de alta resistencia	Resistencia a la compresión	porque intenta resolver el problema de permeabilidad existente en el concreto de alta resistencia.

Fuente: Elaboración propia

Anexo 2. Matriz bibliográfica

N°	Título	Ideas principales	Indicadores	Método	Revista	Año
1	Optimización de la resistencia y permeabilidad de la red simplex del hormigón que incorpora humo de sílice y puzolana natural	La adición de puzolana natural en un 20% combinado con un 12% de humo de sílice disminuyó notablemente la penetración de iones de cloruro en el concreto.	Rapidez de penetración de cloruro (Coulombs)	Experimental	Construction and Building Materials	2018
2	Efecto sobre la Permeabilidad del Concreto Hecho con Agregado Reciclado Sucesivamente y Humo de Sílice	Los resultados muestran una resistencia a la compresión mejorada con la adición de humo de sílice (SF). Se muestra una leve reducción, pero de la capacidad de absorción de agua, pero no llega a ser significativa	Resistencia a la compresión Absorción de agua	Experimental	Urbanization Challenges in Emerging Economies	2018

3	Efecto de las cenizas volantes y el humo de sílice en la zona de transición, la estructura de los poros y la permeabilidad del concreto	La adición de humo de sílice (SF) disminuyó la profundidad de penetración en las mezclas binarias y terciarias. La adición de SF en las mezclas (binarias y terciarias) reducen el porcentaje de absorción del agua del concreto. La adición de humo de sílice (SF) redujo la penetración de cloruro hasta en un 60 % y un 68 % a las edades de 28 y 90 días.	Absorción de agua (%) Penetración de cloruro (Coulombs) Porosidad (%)	Experimental	Magazine of Concrete Research	2018
4	Dimensión fractal del hormigón que incorpora humo de sílice y sus correlaciones con la estructura de poros, la resistencia y la permeabilidad	Se pueden observar una disminución continua de la permeabilidad con el aumento de adición de humo de sílice (SF) en la mezcla del cemento. El aumento del contenido de humo de sílice (SF) tiende a disminuir el tamaño de poro umbral, lo que sugiere nuevamente el efecto de densificación del SF en la microestructura del concreto.	Porosidad (%) Absorción de agua (mm)	Experimental	Construction and Building Materials	2019

5	Efecto del humo de sílice sobre la permeabilidad y la microestructura del hormigón de alta resistencia	A medida que aumenta el porcentaje de adición de humo de sílice (SF), la penetración de iones se reduce. La adición de humo de sílice (SF) muestra una buena resistencia contra la permeación de agua.	Penetración de cloruro (Coulombs) Permeabilidad del agua (cm/s)	Experimental	Civil Engineering Journal	2020
6	Efecto de la Variación del Contenido de Fibra de Acero en las Características de Resistencia y Permeabilidad del Concreto de Alta Resistencia con Micro Sílice	La adición de microsíllice reduce significativamente la capacidad absorción de agua del hormigón La adición de 5% y 10% de microsíllice reduce la penetración de iones de cloruro en un 23% y un 33% respectivamente. Los resultados muestran un efecto mixto del humo de sílice sobre la resistencia a la compresión a diferentes dosis. La resistencia a la compresión sigue aumentando cuando la dosis de humo de sílice cambia de 0 a 0,25%.	Resistencia a la compresión Absorción de agua (%) Penetración de iones de cloruro (CIP)	Experimental	Materials	2020

7	Análisis de la adición de microsílíce en la permeabilidad de un concreto convencional 280kg/cm ² en la ciudad de Lima, 2020	La adición de microsílíce al 8% y 3% incremento el valor de la resistencia a la compresión con respecto al concreto que no tiene microsílíce. El concreto con adición de microsílíce al 3% obtuvo 4.80% de porosidad, mientras que el concreto con adición de 8% de microsílíce obtuvo un 3.58% de porosidad. El concreto sin microsílíce tiene un valor de 6.91 cm de penetración de agua, el concreto con adición de microsílíce al 3% obtuvo 5.70 cm de penetración al agua, mientras que el concreto con adición de 8% de microsílíce obtuvo una penetración al agua de 3.31 cm.	Resistencia a la compresión Absorción de agua Porosidad	Experiment al	Repositorio de la Universidad César Vallejo	2020
---	--	--	---	---------------	---	------

8	<p>Perspectivas de uso e impacto de las nanopartículas en las propiedades del hormigón de alta resistencia</p>	<p>Existen una mejora del concreto en las propiedades básicas de las partículas de tamaño nanométrico. Aumentan la resistencia, la resistencia a las heladas, la resistencia al fuego, la resistencia a la corrosión, se reducen la densidad y la permeabilidad; la plasticidad y la absorción de agua están reguladas. A pesar de la gran cantidad de ventajas del hormigón nano modificado, el análisis del uso de nanopartículas muestra que se utilizan con bastante poca frecuencia, ya que requiere una gran inversión en efectivo. nano espinel de magnesio, microsferas, ceniza de cáscara de arroz y meta caolín, estrílenos, sol de hidróxido férrico, nanotubos de carbono, humo de sílice,</p>	<p>Resistencia a la compresión, absorción, permeabilidad</p>	<p>Experimental</p>	<p>Journal</p>	<p>2018</p>
---	--	--	--	---------------------	----------------	-------------

nanosílice, MB-01,
modificadores combinados, a
base de sol de hidróxido de
hierro y sol de sílice.

9	Resistencia por compresión y módulo de rotura en pavimentos rígidos, incorporando microsílice y un policarboxilato	El trabajo de investigación que tiene como objetivo determinar la resistencia a la compresión y el módulo de rotura del pavimento rígido, incorporando en el diseño de mezcla 5%,7.5% y 10% de microsílice y 0.5%,1% y 2% de	Resistencia a la compresión, absorción, permeabilidad	Experiment al	Universidad Ricardo Palma Escuela de Posgrado	2020
---	--	--	--	------------------	---	------

policarboxilato, para el cálculo del espesor de la losa.

Este trabajo estudia el comportamiento del vidrio blanco molido de las botellas, en comparación con el correspondiente al microsílíce (MS), con actividad reconocida.

10 Comportamiento de los Residuos de Vidrio Esmerilado en Cementos de Mezcla: Estudio Comparativo con Microsílíce

El objetivo de este trabajo es analizar las diferencias estructurales, composición mineralógica, tamaño y forma de partícula del MS y el vidrio esmerilado en términos de reactividad y actividad puzolánica. Se presentan resultados experimentales sobre pastas y morteros con porcentajes variables de ambas adiciones (8, 16 y 24%).

Composición del mineral/forma de partícula.

Experimental

Centro Nacional de Investigaciones Científicas Cuba

2018

11	<p>Optimización del Concreto Mediante la Adición de Nanosílice, Empleando Agregados de la Cantera de Añashuayco de Arequipa</p>	<p>Esta investigación propone una alternativa de solución al problema, incrementando la resistencia a la compresión del concreto mediante la adición de un aditivo denominado Nanosílice para alcanzar las resistencias de diseño requeridas y valores de permeabilidad óptimos. El presente trabajo de investigación se desarrolló haciendo uso del estudio experimental para evaluar el comportamiento de la resistencia a compresión del Concreto elaborado con agregado de las canteras de Añashuayco, y adición de Nanosílice.</p>	<p>Resistencia de Compresión Concreto</p>	<p>Experiment al</p>	<p>Universidad Nacional Agustín Gamarra</p>	<p>2022</p>
----	---	---	---	----------------------	---	-------------

12	Influencia de Microfibras de Polipropileno y Microsílice en la Resistencia de Concretos de 4000 y 3000 psi	Es un estudio profundo teórico, práctico y estadístico del comportamiento de los materiales y en cómo estos influyen en la resistencia final del concreto, así como, los efectos obtenidos al realizar adiciones de microsílice y polipropileno en las mezclas del mismo y la variación de resistencia final obtenida con ellas.	Resistencia de Construcción	Experimental	Universidad tecnológica de Bolívar	2017
13	influencia de la Adición de Microsílice y Superplastificante en las Propiedades de un Concreto de Alta Resistencia en la ciudad de Arequipa	El fin del presente trabajo de investigación es dar una visión, acerca del tiempo de mezclado de un concreto normal $f'c=210$ kg/cm ² y cuál es su influencia en su resistencia, considerando el tiempo inicial de fraguado, tiempo mínimo de mezclado según la norma E-060 y cuál es su efecto al salirnos de estos márgenes, para tener una	Resistencia /Concreto	Experimental	Universidad Peruana del Centro	2020

perspectiva del tiempo óptimo de
mezclado del concreto dentro del
valle del Mantaro.

14	Influencia de los Aditivos de Cadena Corta y Cadena Larga en las Propiedades Mecánicas del Concreto con Incorporación de Microsílice	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 retro lectivo, descriptivo, correlacional y diseño experimental, longitudinal, retrospectivo y estudio de cohorte.	Cadena Corta /Microsílice	Experiment al	Universidad de Buenos Aires	2020
----	---	--	------------------------------	------------------	-----------------------------------	------

15	Aplicación de aditivo microsílice, y superplastificante para el diseño de mezclas de concreto de alto desempeño, Lima, 201	La presente investigación de tesis tiene por objetivo determinar la aplicación de los aditivos microsílice y superplastificante para el diseño de mezclas de concreto de alto desempeño, Lima, 2019. Así poder mejorar la adición de los aditivos en el concreto de alto desempeño, tomando como guía la norma ACI 211.	Microsílice/Superpl astificantes	Experiment al	Universidad cesar Vallejo	2020
----	---	---	-------------------------------------	------------------	------------------------------	------

16	Comportamiento del residuo de vidrio molido en cementos mezcla: Estudio comparativo con microsílíce	Este trabajo estudia el comportamiento de residuos de vidrio blanco molido, procedente de botellas en comparación al correspondiente a la microsílíce (MS), de reconocida actividad. El objetivo de este trabajo es analizar las diferencias estructurales, composición mineralógica, tamaño y forma de partícula de la MS y el vidrio molido en cuanto a su reactividad y actividad puzolánica.	Vidrio Blanco/Composición Minero lógica	Experimental	Universidad Federal de Rio de Janeiro	2018
17	Influencia de la penetración de Iones Cloruros en el Hormigón Armado a diferentes relaciones Agua/Cemento y Condiciones de Exposición	La penetración de iones cloruros en el hormigón armado está en relación como están sometidas las estructuras. Los Iones de Cloruro causa fundamental de deterioro de las estructuras, acelera el proceso de corrosión.	Corrosión	Experimental	Revista CENIC Ciencias Químicas, Vol. 36, No. Especial, 2005	2005

18	Influencia del porcentaje de adición de la Microsílice y del tipo curado en la penetración de ion cloruro en el concreto de alto desempeño	Igualmente, se investigó en detalle la resistencia y durabilidad del HPC ante uno de los fenómenos más complejos que sufre el concreto, la penetración del ion cloruro, el cual disminuye la vida útil de las estructuras debido a la corrosión del acero.	Resistencia /Durabilidad/penetración de ion de cloruro	Experimental	Universidad Nacional de Colombia	2011
19	Influencia de la Microsílice sobre la Resistencia a la Compresión de Concretos con Relaciones Agua/Cemento 0.30; 0.35 y 0.40 Trujillo, 2019	El trabajo de investigación estudia cómo influye la microsílice en la resistencia a la compresión de concretos con relaciones de agua/cemento 0.30, 0.35 y 0.40 a edades de 7, 28 y 63 días, Trujillo 2019, se hizo un estudio. Se un estudio en 3 porcentajes de microsílice (5.0%; 7.5%; 10.0%) los cuales fueron insertados en el diseño de mezcla de los concretos con relaciones agua cemento ya mencionadas, esto para observar cómo influye	Relación agua /Cemento	Experimental	Universidad privada del Norte	2019

20	Efecto de la variación Agua/cemento en el concreto.	<p>en las propiedades de la mezcla fresca y especialmente en la resistencia a la compresión de edades tempranas, medias y avanzadas.</p> <p>El presente documento refleja el estudio de la relación agua-cemento (A/C) en la preparación de concreto. Para llevarlo a cabo se hicieron varias pruebas cambiando el volumen del agua con relación a la cantidad de cemento. A partir de esto se pudo concluir que el desarrollo de las pruebas permitió identificar la consistencia del concreto y, por tanto, de sus propiedades.</p>	Relación agua /Cemento	Experiment al	Estudiantes de la Escuela de Ingeniería de los Materiales, Tecnológico de Costa Rica	2012
21	Influencia del porcentaje, tipo y dosificación de microsílíce en la resistencia a la compresión y	<p>La presente investigación tiene como finalidad evaluar la influencia de la adición de microsílíce industrial como Sika Fume y Silica Fume QS, sobre la</p>	Resistencia/Capilaridad/Morteros	Experiment al	Universidad del Norte	2017

<p>capilaridad en morteros elaborados con cemento tipo V, Trujillo 2017</p>	<p>resistencia a la compresión y capilaridad, en morteros elaborados con cemento tipo V, con relación cemento : arena de 1:3 y 1:4, con porcentajes adición respecto al cemento de 0% al 10%, con una relación agua/cemento de 0.65 y 0.70; adicionando a la vez el aditivo acelerante Accelguard 80 de QSI con 1.5% de adición, utilizando arena gruesa de la cantera “Lekersa” de Huanchaco.</p>				
<p>22 Diseño de mortero con adición de microsílíce y microfibra de polipropileno para diferentes usos en el campo de ingeniería civil.</p>	<p>En esta investigación el objetivo es determinar la influencia de la adición de microsílíce y microfibra de polipropileno en la resistencia a la compresión y flexión en los morteros, para lo cual se diseñó mortero con adición de microsílíce y microfibra de polipropileno para</p>	<p>Microsílíce/Microfi brilla</p>	<p>Experiment al</p>	<p>Universidad de Cajamarca</p>	<p>2019</p>

diferentes usos en el campo de ingeniería civil, se elaboraron probetas cubicas (5x5x5 cm) y prismáticas (4x4x16 cm) para determinar el comportamiento mecánico a la edad de 7, 14 y 28 días, se eligió las proporciones de mortero 1:4, 1:5 y 1:6 las cuales se utilizan en diferentes tipos de obras. Para la elaboración de probetas se utilizó agregado fino de la cantera “Roca Fuerte” del rio Chonta ubicada en el distrito de Baños del Inca, cemento Pacasmayo tipo I, microsílíce “Chema Fume”, microfibra de polipropileno “Chema Fibra Ultrafina” y agua de la misma ciudad universitaria.

23	Análisis de la porosidad del concreto con agregado calizo	<p>Este trabajo presenta un experimento factorial, realizado en laboratorio, con el objetivo de identificar los factores que influyen en la porosidad del concreto preparado con agregados calizos triturados de alta absorción, mismos que podrían presentar características no usuales, haciendo variar la relación agua-cemento, la proporción grava-arena, y la fuente de origen de los agregados.</p> <p>La durabilidad de las construcciones de concreto es una característica igualmente importante que la resistencia mecánica, ya que determina la capacidad para resistir las condiciones del medio ambiente a las cuales estará la construcción sometida durante varias décadas.</p>	Porosidad /Relación Agua-Cemento	Experimental	Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela	2006
24	Durabilidad del concreto con agregados de alta absorción	<p>La durabilidad de las construcciones de concreto es una característica igualmente importante que la resistencia mecánica, ya que determina la capacidad para resistir las condiciones del medio ambiente a las cuales estará la construcción sometida durante varias décadas.</p>	Resistencia Mecánica /Durabilidad/	Experimental	Ingeniería, investigación y tecnología	2019

25	Estabilización de arena del desierto en Irán usando cemento y microsílíce	Este artículo presenta resultados experimentales sobre el uso de diferentes aditivos para estabilizar arenas del desierto para su posible uso como suelo de cimentación. Los agentes estabilizadores incluyeron cemento Portland y polvo de derivación de cemento (o polvo de horno de cemento), y se agregaron en cantidades de 2%, 4%, 8%, 10% y 12% por peso seco de suelo	Estabilización /Suelos	Experimental	Journal	2012
26	Efecto de la adición de microsílíce sobre los cloruros relacionada con las propiedades de transporte en el concreto de alto desempeño	Este artículo resume los resultados de una investigación experimental realizada con el fin de investigar la influencia del contenido de humo de sílice (SF) en algunos transportes relacionados con cloruros.	Corrosión/Armaduras/Durabilidad	Experimental	Journal	2012

27	Investigation into the use of microsilica gel for increasing the mechanical properties of concrete	El efecto del gel de microsílíce sobre las propiedades mecánicas del hormigón. Se prueba el porcentaje óptimo del gel como reemplazo del cemento en flexión, compresión y permeabilidad de las probetas de mortero y concreto Se estudió es determinar los efectos del diseño de mezcla con aditivo microsílíce en la mejora de propiedades del pavimento rígido - Puno - 2016. Asimismo, analizar los efectos del diseño de mezcla con aditivo microsílíce, en la resistencia, permeabilidad y trabajabilidad del pavimento rígido en las obras.	Flexión/Compresión/Permeabilidad	Experimental	Australian Journal of Basic and Applied Science	2011
28	Efectos del Diseño de Mezcla con Aditivo Superplastificante, Microsílíce en la Mejora de Propiedades del Pavimento Rígido - Puno - 2016	Se estudió es determinar los efectos del diseño de mezcla con aditivo microsílíce en la mejora de propiedades del pavimento rígido - Puno - 2016. Asimismo, analizar los efectos del diseño de mezcla con aditivo microsílíce, en la resistencia, permeabilidad y trabajabilidad del pavimento rígido en las obras.	Resistencia/Permeabilidad/Trabajabilidad	Experimental	UAP Universidad Alas Peruanas	2016

Fuente: Elaboración propia

Anexo 3. Matriz de subtemas

Subtemas	Definición/ Justificación del Subtema/ Delimitación temporal (si aplica)	Objetivo
Penetración de iones de cloruro	Los efectos de la penetración de estos iones constituyen una de las causas fundamentales en el deterioro de las estructuras, porque al llegar a la barra de refuerzo aceleran el proceso de corrosión.	Determinar el porcentaje de microsílíce que reduce la penetración de cloruro del concreto de alta resistencia
Absorción del agua	Se conoce como absorción, al incremento en masa del agregado debido a la penetración de agua en los poros de las partículas, durante un período de tiempo prescrito, sin incluir el agua adherida en la superficie de las partículas, expresado como porcentaje de la masa seca.	Determinar el porcentaje de microsílíce que reduce la absorción del agua del concreto de alta resistencia
Porosidad	Es la suma del volumen de los huecos capilares y de los huecos del gel, y representa el espacio no llenado por los componentes sólidos de la pasta de cemento hidratado	Determinar el porcentaje de microsílíce que reduce la porosidad del concreto de alta resistencia
Resistencia a la compresión	Se realizan pruebas de compresión para determinar algunas de las propiedades mecánicas fundamentales. Se puede estudiar cómo reacciona el material cuando es aplastado o comprimido por una carga específica. Se expresa en términos de esfuerzo, generalmente en kg/cm ² o Mpa.	Determinar el porcentaje de microsílíce que aumenta la resistencia a la compresión del concreto de alta resistencia

Fuente: Elaboración propia

Anexo 4. Matriz de indicadores

N°	Autor(es)	Título	Subtemas (Indicadores) 1	Subtemas (Indicadores) 2	Subtemas (Indicadores) 3	Subtemas (Indicadores) 4
1	García, José	Análisis de la adición de microsílice en la permeabilidad de un concreto convencional 280kg/cm ² en la ciudad de Lima.		Evaluación de la penetración de agua en el concreto realizando ensayos de penetración de agua en el concreto endurecido.	Evaluación de la porosidad en el concreto realizando ensayos para determinar el volumen de vacíos del concreto endurecido.	
2	Vega, Eric	Evaluación experimental del uso de microsíllice para la elaboración de concreto de alta resistencia.				Evalúa la resistencia a la compresión del concreto endurecido con diferentes adiciones de microsílice.
3	Zúñiga, Mariela;	Influencia de adiciones de microsíllice en la resistencia a la				Se evaluó la influencia de la adición de

	Condori, Yudit	compresión del concreto producido con agregados de la cantera de Arunta de la ciudad de Tacna.		microsílice en la resistencia a la compresión
4	García, Luis	Análisis de la adición de microsílice en la permeabilidad de un concreto convencional 280kg/cm ² en la ciudad de Lima.	Evalúa la porosidad del concreto mediante ensayo de volumen de vacíos y aire atrapado	Evalúa la resistencia a la compresión del concreto endurecido con diferentes adiciones de microsílice mediante ruptura de probetas. Evalúa la resistencia a la compresión del concreto endurecido con diferentes adiciones de microsílice y superplastificante, mediante ruptura de probetas.
5	Anicama, Christopher	Aplicación de aditivo microsílice, y superplastificante para el diseño de mezclas de concreto de alto desempeño.		

6	López, Lucio	Influencia de la penetración de Iones Cloruros en el Hormigón Armado a diferentes relaciones Agua/Cemento y Condiciones de Exposición.	Evalúa la penetración de cloruros en el concreto mediante ensayo de colorimetría	
7	Barreto, Jessica; Cufiño, Denny's	Influencia del porcentaje de agregado reciclado en la penetrabilidad al ion cloruro y en la permeabilidad al agua para concretos reciclados.	Evalúa la penetración de cloruros en el concreto mediante ensayos sortividad	Evalúa la penetración del agua en concretos con agregados reciclados
8	Montaña, Cristhian; Carmona, Rodrigo	Impacto de las adiciones para concreto en la reducción de la permeabilidad al ion cloruro vs la relación agua cemento.	Evalúa la penetración de cloruros en el concreto mediante indicaciones eléctricas	

Fuente: Elaboración propia