



UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Hormigón flexible con polímero alcohol polivinílico para auto-reparación
de grietas y fisuras

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTORES

Mendoza Trujillo, Carlos Jesús
ORCID: 0009-0003-1003-0684

Palacios Huaraca, Sergio Alexander
ORCID: 0009-0008-4427-4114

ASESOR

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

Lima, Perú

2023

METADATOS COMPLEMENTARIOS

Datos de los autores

Mendoza Trujillo, Carlos Jesús

DNI: 46825903

Palacios Huaraca, Sergio Alexander

DNI: 72896976

Datos de asesor

Chavarría Reyes, Liliana Janet

DNI: 25481792

Datos del jurado

JURADO 1

Davila Fernandez, Susana Irene

DNI: 09147106

ORCID: 0000-0002-6949-1317

JURADO 2

Chavarry Vallejos, Carlos Magno

DNI: 07410234

ORCID: 0000-0003-0512-8954

JURADO 3

Torres Chung, Cesar Roberto

DNI: 41182279

ORCID: 0000-0002-3212-2817

Datos de la investigación

Campo del conocimiento OCDE: 2.01.01

Código del Programa: 732016

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Nosotros, Carlos Jesús Mendoza Trujillo, con código de estudiante N°201221241, con DNI N°46825903, con domicilio en la calle 4 dpto. 301 urb. la capilla mz. k lt. 9, distrito La Molina, provincia y departamento de Lima, y Sergio Alexander, Palacios Huaraca, con código de estudiante N°201611407, con DNI N°72896976, con domicilio en Av. Los brillantes 245 Pamplona Alta, distrito San Juan de Miraflores, provincia y departamento de Lima, en nuestra condición de bachilleres en Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería, declaramos bajo juramento que:

La presente tesis titulada: “Hormigón flexible con polímero alcohol polivinílico para auto-reparación de grietas y fisuras” es de nuestra única autoría, bajo el asesoramiento del docente Mg. Liliana Janet Chavarría Reyes, y no existe plagio y/o copia de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación presentado por cualquier persona natural o jurídica ante cualquier institución académica o de investigación, universidad, etc.; la cual ha sido sometida al antiplagio Turnitin y tiene el 25% de similitud final.

Dejamos constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en la tesis, el contenido de estas corresponde a las opiniones de ellos, y por las cuales no asumimos responsabilidad, ya sean de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o de internet.

Asimismo, ratificamos plenamente que el contenido íntegro de la tesis es de nuestro conocimiento y autoría. Por tal motivo, asumimos toda la responsabilidad de cualquier error u omisión en la tesis y somos conscientes de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de falsa declaración, nos sometemos a lo dispuesto en las normas de la Universidad Ricardo Palma y a los dispositivos legales nacionales vigentes.

Surco, 3 de noviembre de 2023



Carlos Jesús Mendoza Trujillo
DNI N°46825903



Sergio Alexander, Palacios Huaraca
DNI N°72896976

INFORME DE ORIGINALIDAD–TURNITIN

Hormigón flexible con polímero alcohol polivinílico para auto-reparación de grietas y fisuras

INFORME DE ORIGINALIDAD

25%	24%	4%	11%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	9%
2	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	Submitted to Universidad Ricardo Palma Trabajo del estudiante	2%
4	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1%
5	docplayer.es Fuente de Internet	1%
6	Submitted to Dumfries and Galloway College Trabajo del estudiante	1%
7	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	Submitted to Universidad Privada del Norte Trabajo del estudiante	<1%
9	Submitted to Universidad de Huanuco Trabajo del estudiante	


Dra. Vargas Chang Esther Joni

DEDICATORIA

A Dios por ser mi fuente de fortaleza y guía en cada paso de mi vida. A mi padre y madre por su apoyo durante mis estudios universitarios, a mis familiares que siempre me dieron la mano en todo momento también a mis amigos por ser parte de este camino hacia mi profesión.

Mendoza Trujillo, Carlos Jesús

A Dios por guiarme e iluminarme durante todo este tiempo. A mi padre, madre y hermanos por el constante apoyo académico, por su preocupación y por estar siempre alentándome en los momentos más tensos que pase a lo largo de toda mi vida universitaria; sin ellos este logro no hubiera sido posible.

Palacios Huaraca, Sergio Alexander

AGRADECIMIENTO

Expresamos nuestro sincero agradecimiento a nuestra alma mater por todas las enseñanzas y vivencias, así como a todos los docentes que nos brindaron sus conocimientos y apoyo para seguir adelante día a día, asimismo, extendemos nuestro agradecimiento a la ingeniera Liliana Chavarría Reyes y al Dr. Carlos Chavarry Vallejos por su apoyo y orientación a lo largo de este proceso de investigación. Su experiencia y dedicación fueron fundamentales para llevar a cabo nuestra tesis.

Palacios Huaraca, Sergio Alexander
Mendoza Trujillo, Carlos Jesús

ÍNDICE GENERAL

METADATOS COMPLEMENTARIOS	ii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD	iii
INFORME DE ORIGINALIDAD–TURNITIN.....	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1 Descripción de la realidad problemática.....	3
1.1.1 Problema e importancia	3
1.1.2 Árbol del problema	3
1.2 Formulación del problema.....	4
1.2.2 Problema general	4
1.2.3 Problemas específicos.....	4
1.3 Objetivos de la investigación.....	4
1.3.1 Objetivo general.....	4
1.3.2 Objetivos específicos	4
1.4 Delimitación de la investigación	4
1.4.1 Geográfica.....	4
1.4.2 Temporal.....	4
1.4.3 Temática.....	5
1.4.4 Muestral	5
1.5 Justificación del estudio.....	5
1.5.1 Conveniencia	5
1.5.2 Relevancia social	5
1.5.3 Aplicaciones prácticas	5
1.5.4 Utilidad metodológica.....	5
1.5.5 Valor teórico	5

1.6	Importancia del estudio.....	6
1.6.1	Nuevos conocimientos.....	6
1.6.2	Aporte.....	6
1.7	Limitaciones del estudio.....	6
1.7.1	Falta de estudios previos de investigación.....	6
1.7.2	Metodológicos o prácticos.....	6
1.7.3	Medidas para la recolección de los datos.....	6
1.7.4	Obstáculos en la investigación.....	6
1.8	Alcance.....	6
1.9	Viabilidad del estudio.....	6
	CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	7
2.1	Marco Histórico.....	7
2.2	Investigaciones relacionadas con el tema.....	8
2.2.1	Investigaciones internacionales.....	8
2.2.2	Investigaciones nacionales.....	11
2.2.3	Artículos relacionados con el tema.....	11
2.3	Estructura teórica y científica que sustenta el estudio.....	16
2.4	Definición de términos básicos.....	27
2.5	Fundamentos teóricos que sustentan la hipótesis.....	28
	CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS.....	29
3.1	Hipótesis.....	29
3.1.1	Hipótesis general.....	29
3.1.2	Hipótesis específicas.....	29
3.2	Sistema de variables.....	29
3.2.1	Definición conceptual.....	29
3.2.2	Operacionalización de las variables.....	29
	CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA.....	30
4.1	Método de la investigación método, orientación, enfoque e instrumento de recolección de datos.....	30
4.2	Tipo de investigación.....	30
4.3	Nivel de investigación.....	30
4.4	Diseño de la investigación.....	30
4.5	Población y muestra.....	31
4.6	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	31

4.7 Descripción de procesamientos de análisis.....	31
CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	32
5.1 Resultados de la investigación.....	32
5.2 Contrastación de hipótesis	78
5.2.1 Contrastación de hipótesis 1	78
5.2.2 Contrastación de hipótesis 2	79
5.2.3 Contrastación de hipótesis 3	80
5.2.4 Contrastación de hipótesis 4	81
CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN	83
CONCLUSIONES	85
RECOMENDACIONES	87
REFERENCIAS	89
ANEXOS	89
Anexo A: Matriz de consistencia.....	89
Anexo B: Matriz de artículo y tesis nacionales e internacionales	90
Anexo C: Matriz de relación entre subtemas y referencias bibliográficas	102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de las variables.....	29
Tabla 2 Artículos y tesis de resistencia a la compresión	32
Tabla 3 Especímenes del ensayo de resistencia a la compresión	33
Tabla 4 Resistencia a la compresión del concreto a los 7 días	34
Tabla 5 Resistencia a la compresión del concreto a los 14 días	35
Tabla 6 Resistencia a la compresión del concreto a los 28 días	36
Tabla 7 Ingredientes de mortero simple y mortero modificado con PVA.....	38
Tabla 8 Resistencia a la compresión a los 28 días	39
Tabla 9 Componentes de la mezcla	40
Tabla 10 Resistencia a la compresión a los 7 días de edad.....	40
Tabla 11 Resistencia a la Compresión a los 14 días	41
Tabla 12 Resistencia a la compresión a los 28 días	42
Tabla 13 Requerimiento de material por metro cubico de concreto de grado M30	44
Tabla 14 Resistencia a la compresión a diferentes edades	44
Tabla 15 Resistencia a la compresión a diferentes edades	47
Tabla 16 Combinación de proporciones de mezcla para grado M20	50
Tabla 17 Resistencia a la compresión a los 28 días	51
Tabla 18 Mezclar proporciones de hormigón de grado M25 para 1 metro cubico.....	52
Tabla 19 Resistencia a la compresión para diferentes mezclas a los 28 días	53
Tabla 20 Artículos y tesis de resistencia a la flexión.....	54
Tabla 21 Resistencia a la flexión a los 28 días	55
Tabla 22 Resultados de la resistencia a la flexión a los 28 días	56
Tabla 23 Resistencia a la flexión a diferentes edades.....	57
Tabla 24 Resistencia a la flexión a los 28 días	58
Tabla 25 Artículos de reducción del ancho de la fisura.....	59
Tabla 26 Propiedades físicas de la fibra de PVA.....	60
Tabla 27 Composición de las mezclas	61
Tabla 28 Ratio de área reparada a los 7 días después de realizada la grieta.....	62
Tabla 29 Ratio de área reparada a los 28 días.....	62
Tabla 30 Composición de las mezclas de mortero estudiadas.....	64
Tabla 31 Reducción de ancho de grieta a los 180 días	65
Tabla 32 Contenido de las mezclas.....	66

Tabla 33 ID de mezcla para análisis de auto-reparación	66
Tabla 34 Ratio de área reparada a los 7 días después de realizada la grieta.....	67
Tabla 35 Ratio de área reparada a los 28 días después de realizada la grieta.....	68
Tabla 36 Artículos de resistencia a la tracción	69
Tabla 37 Resultados de la resistencia a la tracción a los 28 días.....	71
Tabla 38 Resultados de resistencia a la tracción a los 7 días.....	72
Tabla 39 Resistencia a la tracción a los 28 días de edad	73
Tabla 40 Resistencia a la tracción a diferentes edades	74
Tabla 41 Resistencia a la tracción.....	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Árbol del problema.....	3
Figura 2	Curado del concreto mediante inmersión	17
Figura 3	Ilustración de la diferencia entre el curado externo y el curado interno	19
Figura 4	Mecanismo y reacción química del polímero en la pasta del cemento	20
Figura 5	Muestra de Alcohol Polivinílico en polvo granulado.....	21
Figura 6	Fibra de Alcohol Polivinílico (PVA).....	22
Figura 7	Posibles causas de la sanación autógena del hormigón.....	23
Figura 8	Reacciones en el proceso de carbonatación.....	24
Figura 9	Esquema de la hidratación de las partículas de cemento.....	25
Figura 10	Diagrama de ensayo a flexión en vigas con cargas a los tercios	26
Figura 11	Dispositivo para ensayos a flexión de vigas con una carga en el medio.....	27
Figura 12	Mapa conceptual.....	28
Figura 13	Resistencia a la Compresión a los 7 días.....	34
Figura 14	Resistencia a la compresión a los 14 días.....	35
Figura 15	Resistencia a la compresión a los 28 días.....	36
Figura 16	Resumen comparativo de la resistencia a la compresión	37
Figura 17	Resistencia a la Compresión a los 28 días de edad	39
Figura 18	Resistencia a la Compresión a los 7 días.....	41
Figura 19	Resistencia a la Compresión a los 14 días.....	42
Figura 20	Resistencia a la compresión a los 28 días.....	43
Figura 21	Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días.....	43
Figura 22	Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días.....	45
Figura 23	Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días.....	46
Figura 24	Resistencia a la compresión a los 7 días para dosificaciones de PVA.....	48
Figura 25	Resistencia a la Compresión a los 14 días.....	48
Figura 26	Resistencia a la compresión a los 28 días.....	49
Figura 27	Resumen comparativo de la resistencia a la compresión	50
Figura 28	Resistencia a la compresión a los 28 días.....	52
Figura 29	Resistencia a la compresión a los 28 días.....	53
Figura 30	Resultados de los ensayos de resistencia a la flexión a los 28 días.....	55
Figura 31	Comparación de la resistencia a la flexión a los 28 días	56
Figura 32	Desarrollo de la resistencia a la flexión a los 7,14 y 28 días.....	57

Figura 33 Comparación de la resistencia a la flexión a distintas edades	58
Figura 34 Resistencia a la flexión a los 28 días	59
Figura 35 Ratio de área reparada a los 7 días	62
Figura 36 Ratio de área reparada a los 28 días	63
Figura 37 Reducción de ancho de grieta a los 180 días	65
Figura 38 Reducción de ancho de grieta a los 7 días	68
Figura 39 Reducción de ancho de grieta a los 28 días	69
Figura 40 Comparación de la resistencia a la tracción a los 28 días	71
Figura 41 Resistencia a la tracción a los 7 días	72
Figura 42 Resistencia a la tracción a los 28 días	73
Figura 43 Desarrollo de la resistencia a la tracción a distintas edades	75
Figura 44 Desarrollo de la resistencia a la tracción a distintas edades	75
Figura 45 Resistencia a la tracción a los 28 días	77
Figura 46 Resistencia a la tracción para distintas dosificaciones a los 28 días	78
Figura 47 Resumen comparativo de las resistencias a la compresión	79
Figura 48 Resumen comparativo de las resistencias a la Flexión.....	80

RESUMEN

La presente investigación titulada “Hormigón flexible con polímero alcohol polivinílico para auto-reparación de grietas y fisuras” tuvo como objetivo determinar la adición de polímero de alcohol polivinílico en el hormigón flexible para aumentar la auto-reparación de grietas y fisuras. Se empleó el método deductivo de orientación aplicada con un enfoque cuantitativo y como instrumento de recolección de datos fue retrolectivo, de tipo descriptivo, explicativo y correlacional, de diseño no experimental porque está basada en la información recopilada por otros investigadores, es longitudinal, prospectivo y de cohortes.

Se concluye que con la adición de alcohol polivinílico el porcentaje óptimo para aumentar la resistencia a la compresión se encuentra entre 0.25% y 0.48% logrando un aumento de 5.64% con 0.25% y una reducción de 11.7% con 0.48% y en la resistencia a la tracción entre 0.25% y 1% logrando un aumento de 4% con 0.25% y 15% con 1%. Sin embargo la resistencia a la flexión no aumenta en la mayoría de los resultados a excepción de una adición de 0.25% donde alcanza un aumento de 0.06%, se determina que un porcentaje óptimo se encuentra entre 0.25% a 1% y se estima que el porcentaje óptimo está cerca al 0.25%. Finalmente, en la auto-reparación de fisuras y grietas con una adición de 1.5% de fibras de alcohol polivinílico se logra un incremento de 56.25% a los 28 días y en solución acuosa al 16% en peso del agua de 96% a los 180 días.

Palabras clave: Alcohol polivinílico, hormigón flexible, auto-reparación, grietas, propiedades mecánicas

ABSTRACT

The present research entitled "Flexible concrete with polyvinyl alcohol polymer for self-repair of cracks and fissures" had the objective of determining the addition of polyvinyl alcohol polymer in flexible concrete to increase the self-repair of cracks and fissures. The deductive method of applied orientation was used with a quantitative approach and as data collection instrument was retrolective, descriptive, explanatory and correlational, non-experimental design because it is based on information collected by other researchers, it is longitudinal, prospective and cohort.

It is concluded that with the addition of polyvinyl alcohol the optimum percentage to increase compressive strength is between 0.25% and 0.48% achieving an increase of 5.64% with 0.25% and a reduction of 11.7% with 0.48% and in tensile strength between 0.25% and 1% achieving an increase of 4% with 0.25% and 15% with 1%. However, the flexural strength did not increase in most of the results, except for an addition of 0.25%, where an increase of 0.06% was achieved. Finally, in the self-repair of fissures and cracks with an addition of 1.5% of polyvinyl alcohol fibers, an increase of 56.25% was achieved at 28 days and in aqueous solution at 16% by weight of water of 96% at 180 days.

Keywords: Polyvinyl alcohol, flexible concrete, self-repairing, cracks, mechanical properties

INTRODUCCIÓN

El Perú ha crecido en el sector construcción propiciando que se incrementen las patologías en las construcciones de concreto, una de ellas son las fisuras y grietas causadas por retracciones en el hormigón endurecido y en estado plástico, cargas no previstas, diseño deficiente, materiales inadecuados o una deficiente ejecución del curado en obra. lo cual genera en el hormigón un deterioro de la estructura interna lo cual se ha solucionado en muchos casos mediante reparaciones superficiales y en casos más extremos mediante reparaciones costosas como reforzamientos de las estructuras y demoliciones. Como una solución a este problema se investiga la utilización de alcohol polivinílico en el diseño de mezclas de concreto para auto-reparación de grietas y fisuras lo que contribuye en la durabilidad de las estructuras de concreto mitigando la contaminación ambiental al requerir menos producción de cemento y la generación de residuos producto de la construcción.

Beneficia a las construcciones de obras civiles analizando la efectividad de la utilización del alcohol polivinílico en el hormigón flexible para auto-reparar grietas y fisuras con la finalidad de reducir costos de mantenimiento e incrementar la vida útil de las construcciones de hormigón. para ser aplicada en las construcciones civiles como una nueva tecnología en el diseño del hormigón para construir estructuras autosostenibles. Buscando contribuir a futuras investigaciones con información sobre los resultados de las diferentes dosificaciones de alcohol polivinílico en el hormigón flexible y su dosificación optima donde se obtiene el mayor beneficio. Se realiza la recopilación de información de artículos y tesis nacionales e internacionales. Se lleva a cabo mediante el análisis de la información obtenida realizando comparaciones de tablas y gráficos con la finalidad de obtener un porcentaje de dosificación óptimo. Conocer cómo influye el alcohol polivinílico en la auto-reparación de grietas y fisuras en el hormigón flexible contribuye a la innovación tecnológica en la construcción como una solución novedosa. Al obtener una dosificación optima que permite ampliar el conocimiento sobre las dosificaciones, al obtener la que ofrece los mejores resultados y obtener el mayor costo-beneficio. La presente tesis busca con la adición de polímero de alcohol polivinílico en la mezcla de concreto aumentar la auto-reparación de grietas y fisuras analizando de manera específica la resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, reducción del ancho de fisura y resistencia a la tracción.

Esta investigación consta de seis capítulos. El enunciado del planteamiento del problema, que expone la realidad problemática, los objetivos generales y particulares, la delimitación, la justificación, la importancia y las limitaciones del estudio, se abordan en el capítulo I. El marco teórico y científico que sustenta el estudio, la definición de la terminología, los antecedentes nacionales e internacionales y el marco histórico se abordan en el capítulo II. En el Capítulo III se definen las variables, se muestra la operacionalización de las mismas y se desarrollan y formulan las hipótesis generales y particulares. El capítulo IV ofrece una explicación de la metodología de la investigación, que incluye la orientación, el enfoque y el instrumento de recogida de datos. También abarca el tipo de investigación, el nivel, el diseño, la población y la muestra, las técnicas e instrumentos de recogida de datos y una descripción del análisis y procesamiento de la investigación. La población y la muestra del estudio, así como las técnicas e instrumentos utilizados para la recogida de datos, el procesamiento y el análisis de los datos obtenidos en las pruebas de laboratorio, se tratan en este capítulo. El Capítulo V contrasta las hipótesis en relación con los resultados del estudio, que se presentan en tablas y gráficos, a continuación, se realiza la discusión, las conclusiones y las sugerencias.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática

1.1.1 Problema e importancia

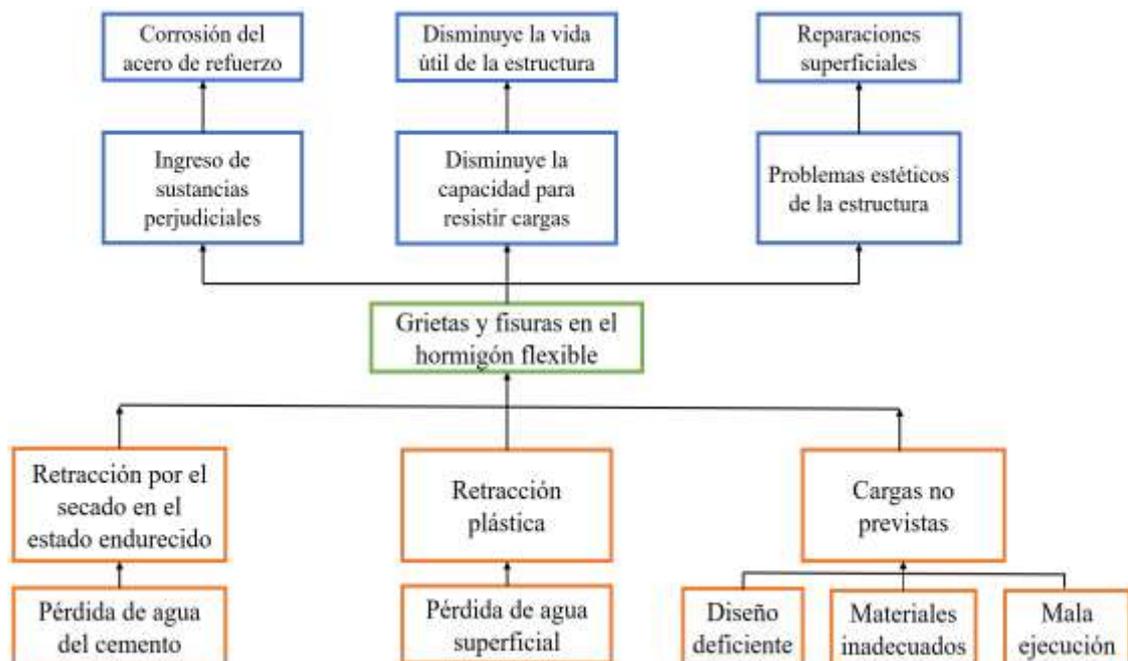
El Perú ha crecido en el sector construcción propiciado que se incrementen las patologías en las construcciones de concreto, una de ellas son las fisuras y grietas causadas por retracciones en el hormigón endurecido y en estado plástico, cargas no previstas, diseño deficiente, materiales inadecuados o una deficiente ejecución del curado en obra. Lo cual genera en el hormigón un deterioro de la estructura interna lo cual se ha solucionado en muchos casos mediante reparaciones superficiales y en casos más extremos mediante reparaciones costosas como reforzamientos de las estructuras y demoliciones. Como una solución a este problema se investiga la utilización de alcohol polivinílico en el diseño de mezclas de concreto para auto-reparación de grietas y fisuras lo que contribuye en la durabilidad de las estructuras de concreto mitigando la contaminación ambiental al requerir menos producción de cemento y la generación de residuos producto de la construcción.

1.1.2 Árbol del problema

En la figura 1 se muestra las causas, problema y consecuencias que afectan al concreto

Figura 1

Árbol del problema



Nota. Elaboración propia.

1.2 Formulación del problema

1.2.2 Problema general

¿De qué manera el polímero de alcohol polivinílico en el hormigón flexible influye en la auto-reparación de grietas y fisuras?

1.2.3 Problemas específicos

- a) ¿En qué medida el porcentaje de polímero alcohol polivinílico en el hormigón flexible aumenta la resistencia a la compresión?
- b) ¿En qué medida el porcentaje de polímero alcohol polivinílico en el hormigón flexible aumenta en la resistencia a la flexión?
- c) ¿En qué medida el porcentaje de polímero alcohol polivinílico en el hormigón flexible reduce el ancho de la fisura?
- d) ¿En qué medida el porcentaje de polímero alcohol polivinílico en el hormigón flexible aumenta la resistencia a la tracción?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Determinar la adición de polímero de alcohol polivinílico en el hormigón flexible para aumentar la auto-reparación de grietas y fisuras.

1.3.2 Objetivos específicos

- a) Determinar el porcentaje de polímero alcohol polivinílico en el hormigón flexible para aumentar la resistencia a la compresión.
- b) Determinar el porcentaje de polímero alcohol polivinílico en el hormigón flexible para aumentar la resistencia a la flexión.
- c) Determinar el porcentaje de polímero alcohol polivinílico en el hormigón flexible para reducir el ancho de la fisura.
- d) Determinar el porcentaje de polímero alcohol polivinílico en el hormigón flexible para aumentar la resistencia a la tracción.

1.4 Delimitación de la investigación

1.4.1 Geográfica

No presenta ya que la investigación se realizó a base de información recopilada de forma documental.

1.4.2 Temporal

La duración de la investigación fue de 6 meses, comenzando en mayo y terminando en octubre del 2023.

1.4.3 Temática

Campo: Concreto

Área académica: ingeniería civil

Línea de investigación: tecnología del concreto

Sub línea de investigación: construcción

1.4.4 Muestral

Esta investigación tiene como muestra a los resultados de las probetas de hormigón donde se añade alcohol polivinílico, que se emplean en la información recopilada de investigaciones realizadas por otros investigadores.

1.5 Justificación del estudio

1.5.1 Conveniencia

Conocer cómo influye el alcohol polivinílico en la auto-reparación de grietas y fisuras en el hormigón flexible contribuye a la innovación tecnológica en la construcción como una solución novedosa. Al obtener una dosificación óptima que permite ampliar el conocimiento sobre las dosificaciones, al obtener la que ofrece los mejores resultados y obtener el mayor costo-beneficio.

1.5.2 Relevancia social

Beneficia a las construcciones de obras civiles analizando la efectividad de la utilización del alcohol polivinílico en el hormigón flexible para auto-reparar grietas y fisuras con la finalidad de reducir costos de mantenimiento e incrementar la vida útil de las construcciones de hormigón.

1.5.3 Aplicaciones prácticas

Conocer la efectividad del alcohol polivinílico para auto-reparación de fisuras y grietas para ser aplicada en las construcciones civiles como una nueva tecnología en el diseño del hormigón para construir estructuras autosostenibles.

1.5.4 Utilidad metodológica

Corresponde a la recopilación de información de artículos y tesis nacionales e internacionales. Se llevará a cabo mediante el análisis de la información obtenida realizando comparaciones de tablas y gráficos con la finalidad de obtener un porcentaje de dosificación óptimo.

1.5.5 Valor teórico

La investigación contribuye a futuras investigaciones con información sobre los resultados de las diferentes dosificaciones de alcohol polivinílico en el hormigón flexible y su dosificación óptima donde se obtiene el mayor beneficio.

1.6 Importancia del estudio

1.6.1 Nuevos conocimientos

Se amplía el conocimiento sobre las dosificaciones al obtener la que ofrece los mejores resultados al añadir alcohol polivinílico al diseño de mezcla para la auto-reparación de grietas y fisuras.

1.6.2 Aporte

Obtener la dosificación óptima de alcohol polivinílico para la auto-reparación de grietas y fisuras.

1.7 Limitaciones del estudio

1.7.1 Falta de estudios previos de investigación

Existe pocos estudios a nivel nacional sobre el alcohol polivinílico en el hormigón flexible sin embargo se encontró información de artículos internacionales de fuentes confiables.

1.7.2 Metodológicos o prácticos

Debido a que existe diversas normas en la información nacional e internacional consultada, al no haber una estandarización habría la posibilidad de un sesgo en los resultados obtenidos. por ello se analizarán las tablas, gráficos y marco teórico para estandarizar la interpretación de resultados.

1.7.3 Medidas para la recolección de los datos

En las bibliografías revisadas existe diferencias en los climas, dosificaciones de alcohol polivinílico, relación a/c por lo que se recolecto la información necesaria para poder realizar las comparaciones y obtener una dosificación óptima que mejore la capacidad del hormigón de auto-reparar grietas y fisuras.

1.7.4 Obstáculos en la investigación

Al ser una investigación documental la búsqueda de información se limita a fuentes bibliográficas nacionales e internacionales donde se tiene como dificultad el acceso a algunos artículos y la traducción de los diferentes idiomas.

1.8 Alcance

Esta investigación recopila y analiza las diversas dosificaciones de alcohol polivinílico en la mezcla del hormigón flexible para obtener los mejores resultados en la auto-reparación de grietas y fisuras.

1.9 Viabilidad del estudio

La investigación es viable ya que hay información en artículos, tesis, libros y además se cuenta con acceso a bases de datos bibliográficas de calidad por lo que se cuenta con información suficiente para realizar la investigación.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Marco Histórico

A lo largo de los años, el concreto ha sido utilizado como un material de construcción desde tiempos ancestrales. Se estima que alrededor del año 5600 AC, se creó el primer tipo de concreto en Yugoslavia, el cual consistía en una mezcla de cal roja, arena, piedra y agua. A medida que paso el tiempo, el concreto se produjo en diversas civilizaciones, como los egipcios, los griegos y los romanos. Sin embargo, la composición del concreto variaba dependiendo de los materiales disponibles en cada región. A lo largo de la historia, cada civilización contribuyo a mejorar este material de construcción. Un importante avance se produjo en Inglaterra en 1824, cuando Joseph Aspdin desarrolló el cemento Portland, marcando un hito significativo en la evolución del concreto.

Con el paso del tiempo, se demostró el concreto reforzado con el objetivo de ofrecer a la sociedad la capacidad de construir una amplia variedad de estructuras. En la actualidad, este material es ampliamente utilizado debido a que los ingredientes necesarios para su producción se encuentran disponibles en casi cualquier lugar del mundo. Además, gracias a su alta maleabilidad, es posible crear estructuras de diferentes tamaños, desde viviendas hasta puentes. Por estas razones, la investigación y la mejora constante de este material desempeñan un papel fundamental (Bernal, 2017).

En la industria de la construcción, la sostenibilidad ha adquirido gran importancia en los últimos tiempos, y uno de los materiales que ha sido objeto de atención es el concreto, el cual depende de recursos no renovables. A lo largo de más de un siglo, se han realizado diversas modificaciones en el concreto con el objetivo de hacerlo más sostenible.

Aunque el hormigón es conocido por ser un material variable y resistente, su tendencia a agrietarse es una preocupación importante para los constructores. Una solución ha sido investigada en la creación de concretos más resistentes, pero esta solución no es sostenible y tiene un alto impacto ambiental.

Los investigadores han explorado la idea de desarrollar concretos más sostenibles y duraderos, con una menor propensión a la fisuración. En este contexto surgió el concepto de auto-reparación inspirado en la capacidad natural de las plantas y las células epiteliales para curarse espontáneamente. Esto ha motivado a los investigadores a buscar métodos para conferir al concreto la capacidad de auto-repararse.

El desarrollo de concretos con capacidad de auto-reparación es una línea de investigación prometedora, que busca no solo mejorar la durabilidad y el rendimiento del material, sino también reducir su impacto ambiental y hacerlo más sostenible en el largo plazo.

Desde hace más de cuatro décadas, se tiene conocimiento del concepto de auto-reparación de fisuras en el concreto. Sin embargo, ha sido en los últimos diez años cuando se ha difundido enormemente la idea de utilizar bacterias para lograr la auto-reparación de concreto. Durante estos últimos años, ha habido un crecimiento exponencial en la aplicación e investigaciones de esta tecnología, principalmente debido a la necesidad que representa en el ámbito del concreto estructural (Pariona, 2021).

2.2 Investigaciones relacionadas con el tema

2.2.1 Investigaciones internacionales

Bernal (2017) en su investigación presenta la formación de carbonato de calcio en grietas utilizando bacterias en vigas de concreto reforzado. Asimismo, tiene como objetivo analizar la eficacia del proceso de autocurado en estas vigas. Para lograrlo evaluó la capacidad de las bacterias presentes en las grietas para precipitar carbonato de calcio. Además, realizó un análisis exhaustivo de los efectos de este proceso de autocurado en la porosidad del concreto. Realizó ensayos de compresión utilizando grupos de 3 cilindros para determinar la resistencia a la falla a los 7 y 14 días. Es importante destacar que los cilindros fueron sometidos a falla utilizando la maquina Forney. El resultado obtuvo un autocurado visualmente observable de grietas de hasta 0,05 mm en las vigas A, B, C y D. Las fisuras con anchos entre 0,1 mm y 0,05 mm fueron reparadas parcialmente gracias al proceso y encontró en el diseño de la mezcla una resistencia a compresión de 23MPa a los 14 días.

Hernández (2019) caracterizó el árido grueso de la región y lo impregnó al vacío con una solución de silicato sódico y un encapsulado de alcohol polivinílico (PVA). Se llevaron a cabo ensayos de compresión mecánica para comparar la resistencia del hormigón experimental con el hormigón de control a fin de evaluar el impacto de este proceso. Los resultados mostraron que el hormigón experimental tenía una resistencia hasta un 56% superior a la de diseño. Además, se realizaron pruebas de porosidad, densidad y absorción. Se supone que tanto el silicato sódico como el PVA contribuyeron a reducir los valores de porosidad del hormigón en torno a un 4%, así como su absorción. Por último, utilizando métodos como la microscopía electrónica de barrido (SEMEDS) y la difracción de rayos X, se realizó un seguimiento durante un periodo de hasta noventa días para confirmar el desarrollo de los productos de hidratación esperados (gel de sílice

CSH y carbonato cálcico). En cuanto a la utilización de este método para iniciar el proceso de auto-reparación, los resultados fueron positivos. Se han investigado otras técnicas de auto-reparación, como la inclusión de bacterias bioprecipitantes que crean carbonato cálcico para rellenar las grietas. La auto-reparación es un proceso prometedor para aumentar la durabilidad y la vida útil del hormigón.

Peralta (2022) investigó el uso de dos tipos de mezclas de concreto, M1 y M2, que incluyen diferentes longitudes de fibra de PVA (Alcohol Poli Vinílico). En la mezcla M1 se utiliza un 30% de fibra de PVA corta de 12 mm y un 70% de fibra de PVA larga de 30mm, mientras que en la mezcla M2 se utilizan las mismas proporciones, pero con áridos de diferente tamaño máximo. Considero tres volúmenes de fibra diferentes para cada mezcla: 0%, 1,23% y 2%. realizó ensayos de tracción directa, compresión y flexión utilizando probetas cilíndricas y viguetas de dimensiones específicas. En el ensayo de tracción directa, se observó un aumento en la resistencia máxima y un comportamiento dúctil conforme se incrementa el contenido de fibra en las probetas. Las tensiones máximas son similares en ambas mezclas cuando se utiliza un 2% de fibra. En el ensayo de compresión, obtuvo la máxima resistencia óptima en la mezcla M1 con un 2% de fibra y en la mezcla M2 con un 1,23% de fibra. El comportamiento dúctil es mejor en ambas mezclas cuando se utilizan volúmenes de fibra específicos. En cuanto al ensayo de flexión, tanto la resistencia máxima como la respuesta dúctil aumentan a medida que se incrementa la cantidad de fibra de refuerzo en ambas mezclas. Obtuvo valores óptimos de tensión máxima y deformación última en ambas mezclas. En resumen, se observó una mejora en la resistencia y ductilidad del concreto al incorporar fibra de PVA en ambas mezclas, independientemente de la longitud de la fibra utilizada.

Valenzuela (2022) analizó el impacto de la auto-reparación biológica, impulsada por bacterias, en la resistencia a la corrosión del armado de hormigón. Se llevó a cabo una simulación numérica que requiere tanto la corrosión como el proceso de auto-reparación en grietas superficiales del hormigón, con el objetivo de evaluar como la inclusión de la auto-reparación afecta la magnitud de la corrosión. Los resultados indicaron que las bacterias desempeñan un papel importante en la reparación del material, ya que producen calcita, lo que sella las grietas y reduce la velocidad de difusión de oxígeno hacia la capa de acero. Además, el consumo biológico de oxígeno también ralentiza el proceso de corrosión. Como resultado, el hormigón con auto-reparación exhibe una mayor resiliencia en comparación con el hormigón convencional. Por otra parte, al evaluar la corrosión a través de la producción de iones $[Fe^{2+}]$, $[OH^-]$ y el

precipitado $[\text{Fe}(\text{OH})_2]$ en el reactor de corrosión, se puede concluir que estos productos generados por las reacciones electroquímicas en el aceros encuentran en menor cantidad en el modelo de hormigón auto-reparante debido a una menor tasa de corrosión. Esto permitió analizar la precipitación estacionaria de Hidróxido Ferroso $[\text{Fe}(\text{OH})_2]$ como un indicador estándar de corrosión, y se llegó a la conclusión de que el hormigón auto-reparante presenta una reducción del 81,2% en la corrosión en comparación con el modelo de hormigón tradicional bajo este enfoque.

Reveco (2021) investigó el impacto de la adición de fibras de alcohol polivinílico en el concreto árido grueso, realizó un análisis completo, desde la caracterización de los materiales hasta la validación de un modelo computacional. Se busca comprender cómo las fibras de PVA afectan las propiedades mecánicas del concreto y su capacidad de deformación. Además, se investiga si la inclusión de fibras cambia el modo de fallo de las vigas de concreto probadas. Los resultados en las propiedades del concreto en la compresión indican que la adición de fibras de PVA no altera significativamente el módulo de elasticidad del concreto en comparación con el concreto convencional, pero a medida que aumenta la cantidad de PVA la capacidad de compresión del concreto disminuye debido a la formación de huecos de aire en la mezcla. En la resistencia a la tracción las pruebas indirectas revelan que la adición de PVA aumenta la resistencia a la tracción del concreto, especialmente cuando se agrega una mayor cantidad de fibras. Los ensayos de vigas cortas son diseñadas para fallar en cortante muestran una mejora significativa en la capacidad de deformación y el cambio del modo de fallo de cortante a flexión cuando se agregan fibras de PVA a la mezcla. Los ensayos de vigas largas fueron sometidas a pruebas experimentales, revelan que el concreto con fibras de PVA aumenta la capacidad de carga en aproximadamente un 25% pero disminuye la deformación en comparación con el concreto convencional y da una menor distribución de grietas en las vigas con fibras. Se desarrolla un modelo computacional utilizando elementos de panel para simular las pruebas de empuje de las vigas este modelo captura el comportamiento de las vigas largas y cortas, mostrando una sobreestimación en la capacidad de carga máxima. Se llegó a la conclusión de que la unión de fibras de PVA al concreto con agregado grueso puede mejorar la capacidad de deformación y cambiar el modo de fallo, lo que sugiere aplicaciones prometedoras en el diseño de estructuras de concreto más resistentes y duraderas.

2.2.2 Investigaciones nacionales

Castro (2020) determinó los efectos de usar alcohol polivinílico como agente de autocurado en el hormigón para el desarrollo de su investigación realizó el análisis de fuentes confiables recientes y como resultado obtuvo que el alcohol polivinílico contribuye a mejorar la durabilidad, mantener una correcta humedad y mejorar sus propiedades mecánicas lo que contribuye a evitar cualquier gasto referente a intervención humana.

Bautista (2021) determinó como influye la bacteria *Lysinibacillus sphaericus* en la resistencia a la compresión y reparación de microgrietas en el hormigón, utilizó dosis de 15,20 y 25 ml/m³ y diseñó la mezcla patrón con a/c de 0.43 y como consistencia obtuvo 5" y 5.5" adicionando 15ml/m³ obtuvo como resistencia a la compresión a los 28 días 105% obteniendo la máxima resistencia adicionando 25 ml/m³ con 121% y realizó ensayos SEM en un laboratorio de ciencias para observar la auto-reparación y la mejora de la resistencia a la compresión, realizó el análisis a los 7 y 14 días obteniendo como resultado la dosis óptima de 25 ml/m³.

2.2.3 Artículos relacionados con el tema

Feng et al. (2019) investigaron el efecto combinado de las fibras de polipropileno (PP), las fibras de alcohol polivinílico (PVA) y las bacterias en la eficiencia de auto-reparación del concreto. Midió la densidad óptica de las bacterias cultivadas en un medio que contenía fibras utilizando un lector multifuncional de microplacas, y los resultados mostraron que las fibras de PP y PVA provocaron una disminución en la concentración de bacterias. Además, el carbonato de calcio inducido por las bacterias se sintetizó en una solución con fibras y se caracterizó mediante Difracción de Rayos X, FTIR y analizador de tamaño de partículas. Los resultados revelaron que los polimorfos de carbonato de calcio eran todos de calcita, mientras que la calcita generada en la solución con fibras de PVA mostró un tamaño de partícula más grande. En el concreto reforzado con bacterias y fibras, se obtuvo un ancho de grieta de 300-500 μm y se evaluó el rendimiento de auto-reparación. Los resultados mostraron que, aunque la relación de reparación del área de la grieta para las muestras con bacterias y fibras fue un poco menor que para aquellas con solo bacterias, la estanqueidad al agua y la recuperación de resistencia a la flexión mejoraron notablemente. Al medir el número de iones de calcio en el medio de reparación y observar la distribución de carbonato de calcio en las grietas, se pudo concluir que las fibras de PP y PVA favorecieron la lixiviación del calcio y la utilización de iones de calcio. La deposición se adhirió a las superficies de las fibras e

incluso se pudo observar en las fibras de PVA dentro de las grietas, lo cual se debió al efecto de los grupos de polaridad y la estructura celular de la fibra de alcohol polivinílico en la nucleación de carbonato de calcio. Por lo tanto, el estudio sugiere que el efecto combinado de las fibras de PP, las fibras de PVA y las bacterias tiene el potencial de proporcionar un excelente rendimiento de auto-reparación en el concreto.

Krishna y Rasheed (2019) Analizan cómo se ven afectada la capacidad de resistir esfuerzos de compresión, flexión y tracción. del hormigón al añadir porcentajes variables de PVA en proporción al peso del cemento. Según el estudio, las mayores resistencias a la compresión, la flexión y la tracción, de 35,8 N/mm², 2,4 N/mm² y 2,7 N/mm², respectivamente, se obtienen cuando se añade un 1% de PVA en peso de cemento como agente de autocuración. Además, el contenido de PVA en la mezcla de hormigón fue superior al de la mezcla convencional. Se constata que el 1% de PVA añadido al cemento en peso da como resultado un gran rendimiento, una resistencia excepcional y una gran durabilidad.

Hardik et al. (2020) utilizaron PEG 400 y PVA, dos productos químicos de autocuración, en dosificaciones que oscilaban entre el 0,5% y el 1,5% en peso de cemento y entre el 0,5% y el 1,5% en hormigón de grado M20, respectivamente. Esta prueba se realizó en una máquina pruebas de compresión con una capacidad de 2000 kN, y se completó en 28 días. Se evaluaron la trabajabilidad y la resistencia a la compresión, se midió utilizando cubos de tamaño 150 x 150 x 150 mm. Los resultados mostraron que tras 28 días la mezcla del hormigón con 1,5% de PVA obtuvo la resistencia máxima a la compresión del hormigón de grado M20 de 22,53 N/mm².

Roopakala et al. (2021) estudió cómo afectaban al hormigón el alcohol polivinílico (PVA) y el polietilenglicol (PEG). Se realizaron pruebas para determinar el impacto de cambiar el porcentaje de PVA y PEG en el hormigón en su capacidad de resistir esfuerzos de compresión, tracción y flexión. Los principales objetivos eran determinar cómo afectaban estos agentes de curado automático a las características del hormigón e identificar las circunstancias ideales para mejorar su robustez y longevidad. PEG 200, PEG 400 y PEG 600 mostraron aumentos de la resistencia a la compresión del 5,1%, 11,4% y 27,8%, de la resistencia a la tracción del 20,5%, 20,5% y 31,1% y de la resistencia a la flexión del 18,1%, 20,2% y 31,3%, respectivamente, en comparación con la mezcla nominal en los resultados de los tres ensayos de compresión, tracción y flexión a 28 días. El PEG y el PVA juntos produjeron resultados más altos en la resistencia a la tracción dividida, a la flexión y a la compresión en las mismas pruebas. Se comprobó que

el PVA y el PEG 600 tenían mayor resistencia y durabilidad. Se observó que la adición de un revestimiento de PVA al hormigón normal aumenta en cierta medida su resistencia.

Vassem y Balachandiran (2018) sometieron al hormigón a diversas técnicas y modificaciones para presentar buenas propiedades mecánicas tomando en cuenta la hidratación, la temperatura y el movimiento de la humedad hacia el hormigón. Para ello se está utilizando alcohol polivinílico en proporciones de 0%, 0.5%, 1%, 1.5% y 2% en relación al peso del cemento. Las pruebas fueron tomadas a los 7, 14 y 28 días, utilizando una máquina universal de ensayos de compresión con capacidad de 400 toneladas. Se concluyó que la concentración del 2% de PVA resultó tener menor resistencia a la compresión y a la tracción comparado con el 1,5% de PVA este proporciona una mayor resistencia a las muestras curadas con agua de manera convencional, el uso del PVA puede estimular la hidratación adecuada del cemento sin requerir la implementación de métodos de curado adicionales desde fuera.

Abbas et al. (2019) agregaron una solución de PVA al cemento en diversas proporciones y condiciones de curado, tras 28 días de pruebas en ambientes secos y húmedos, los resultados demostraron mejoras significativas en las resistencias a la flexión, tracción y compresión de los morteros de cemento que incluían PVA como agente de autocuración. Se descubrió que las resistencias a la compresión, flexión y tracción de la mezcla típica eran, respectivamente, de 38,8 MPa, 5,6 MPa y 5,2 MPa. Los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión, flexión y tracción a los 28 días fueron de 43,65 MPa, 11,78 MPa y 5,43 MPa, respectivamente, tras añadir alcohol polivinílico en una cantidad del 1% del peso del cemento y probar todos los especímenes. Concluyeron que los resultados de este estudio demostraron aumentos en las propiedades mecánicas del 48%, 55% y 41%, respectivamente, en comparación con los morteros de cemento no modificados que fueron sometidos a condiciones de curado húmedo y cuando se utiliza PVA como agente de autocuración en condiciones secas durante 28 días aumentó en un 62%, 101% y 1.5%, respectivamente, en comparación con el curado convencional en seco para los morteros.

Prošek et al. (2022) evaluaron la capacidad de curación de microfisuras en morteros cementosos que contienen componentes como el *Sporosarcina halophila* (SHA), alcohol polivinílico y una combinación de ambos, en comparación con un grupo de referencia. La combinación de SHA y PVA se investigó como una posible alternativa a la encapsulación convencional de bacterias para la producción de CaCO_3 destinada a sellar grietas, utilizando el PVA como protector de las esporas de *Bacillus pseudofirmus*.

El proceso de protección fue supervisado mediante microscopía, tomografía computarizada de microtomografía (μ -CT), mediciones de resonancia y, finalmente, se midió la resistencia a la tracción por flexión de manera destructiva y se monitoreó durante 180 días. Los resultados que dieron los morteros que contienen tanto SHA como PVA mostraron una curación completa de las fisuras según la microscopía y las mediciones de recuperación de la resistencia, el mortero de SHA mostro una curación más lenta y una eficiencia de remediación de un 50% menor en comparación con el mortero que contenía ambos componentes (SHA + PVA). El PVA, además de proteger a las bacterias, retardó la hidratación lo que ayudo en la rehidratación durante los procesos de autocuración autógena. Los morteros (SHA + PVA) alcanzaron resistencias a la tracción por flexión idénticas después de 180 días de curación en comparación con sus estados iniciales después de 28 días de endurecimiento lo que dio una recuperación completa de la resistencia. Se concluyo que la combinación de SHA y PVA da una curación efectiva y completa de las grietas, el PVA da una protección a las bacterias y una rehidratación durante el proceso de autocuración.

Kushwaha y Parihar (2018) evaluaron la efectividad de dos aditivos el PEG-400 y PVA en el concreto M-40, así como su impacto en la trabajabilidad y el autocurado del material. Los resultados de la cantidad óptima de PEG-400 para el concreto M-40 es del 0.5% del peso del cemento. El concreto convencional muestra una resistencia inicial más alta después de 28 días, las mezclas con un 0.5% de PEG y un 0.24% de PVA dan una mayor resistencia y a medida que aumenta la cantidad de aditivo de autocurado, el valor de asentamiento (slump) del concreto también aumenta. Se concluyo que el uso de aditivos como el PEG-400 y el PVA puede mejorar significativamente la resistencia y el autocurado del concreto M-40, el 0.5% de PEG-400 por peso de cemento es la cantidad aceptable para lograr resultados óptimos y que el autocurado es una opción viable para áreas con escasez de agua.

Sastry y Kumar (2018) evaluaron las propiedades de resistencia del concreto de autocurado mediante el uso de cuatro agentes de autocurado como el Polietilenglicol 4000, Polietilenglicol 6000, PVA y SAP. Se ven los cambios en la trabajabilidad y en los ensayos de resistencias como la compresión, flexión y tracción por flexión. Encontraron que el uso de 1,5% de PEG 4000 en la mezcla de hormigón de grado M25 producía una resistencia máxima a la compresión de 37,85 N/mm², mientras que el uso de 1,0% de PEG 6000 en la mezcla de hormigón producía una resistencia máxima a la flexión de 3,27 N/mm², y el uso de 1,0% de PEG 6000 en la mezcla de hormigón producía una resistencia

máxima a la flexión de 3,30 N/mm². El uso de SAP disminuyó las propiedades de resistencia en comparación con la mezcla de referencia, y el uso de PVA produjo una resistencia máxima a la flexión de 3,04 N/mm² cuando se utilizó 0,25% de PVA, un aumento del 0,66% en comparación con la mezcla de referencia. Se demostró que el PVA aumentaba las capacidades de resistencia principalmente en la tracción por flexión; no obstante, de todos los agentes de autocuración ensayados, el PEG 4000 dio la mayor resistencia a la compresión, mientras que el PEG 6000 fue el que tuvo más éxito en el aumento de la resistencia a la flexión y a la tracción.

Zhang et al. (2023) investigaron la eficiencia de la auto-reparación del concreto mediante el uso de gránulos de auto-reparación (SHGs) y fibras de PVA. Se examinaron diferentes condiciones de curado y grados de pre-daño para comprender cómo estas adiciones afectan las propiedades de auto-reparación del concreto. Los resultados que se dio fueron que la adición de SHGs y fibras de PVA mejoró la eficiencia de auto-reparación en el concreto. Bajo diferentes grados de pre-daño las muestras con SHGs (SG-2), fibras de PVA (S-F-3), y SHGs con fibras de PVA (SGF-4) mostraron tasas de recuperación de resistencia a la compresión un 10%–20% más altas en comparación con el grupo de control (S-1). La tasa de recuperación del coeficiente de permeabilidad y la tasa de recuperación de la resistencia a la compresión fueron consistentes. El mejor efecto de auto-reparación se logró bajo el efecto sinérgico de SHGs y fibras de PVA. El análisis de la tasa de recuperación de la resistencia a la compresión reveló que cuando el grado de pre-daño era bajo, las muestras con SHGs mostraron una mejor eficiencia de auto-reparación. Pero cuando el grado de pre-daño era alto, las muestras con fibras de PVA dieron una mejor eficiencia de auto-reparación. La combinación de SHGs y fibras de PVA demostró ser altamente efectiva en la mejora de la auto-reparación y se vio que en condiciones de curado en agua de mar, estos productos consistían principalmente en gel de silicato de calcio (CSH), carbonato de calcio (CaCO₃) y en algunos casos hidróxido de magnesio (Mg(OH)₂). Concluyeron que el uso de granulados multifuncionales de auto-reparación (SHGs) y fibras de PVA en el concreto mejorando significativamente la eficiencia de la auto-reparación, bajo diferentes grados de pre-daño estas adiciones permitieron tasas de recuperación de resistencia a la compresión en un 10% a 20% más altas en comparación con el concreto de control. El curado en agua de mar con CO₂ demuestra ser la opción más efectiva para promover la auto-reparación, con tasas de recuperación de resistencia y permeabilidad más altas.

2.3 Estructura teórica y científica que sustenta el estudio

Según Reveco (2021) el concreto es una combinación de materiales elaborada mediante la mezcla de cemento, arena, grava y agua, junto con otros elementos adicionales como aceleradores y aditivos retardantes, que permiten que el concreto adquiera diversas formas y tamaños según las necesidades de la estructura. La mayoría de esta mezcla se compone de arena y grava, que corresponden a los agregados finos y gruesos respectivamente. El cemento y el agua reaccionan químicamente, uniendo las partículas de los agregados en una masa sólida. El hormigón posee varias propiedades que pueden modificarse ajustando adecuadamente las proporciones de sus componentes. Además, el hormigón muestra una excelente resistencia al agua, lo que lo convierte en un material ideal para la construcción de estructuras diseñadas para controlar, almacenar y transportar agua.

2.3.1 Adición de fibras en el concreto

Según Neville y Brooks (2010) define al hormigón reforzado con fibras como un tipo de hormigón realizado con cemento hidráulico, agregado fino y grueso, y fibras discretas no continuas, según ACI 544.1R-96 (Reprobado en 2002). Las fibras pueden ser de material natural, como asbesto, sisal y celulosa, o de un producto manufacturado, como vidrio, acero, carbono y polímero, como polipropileno y kevlar. El refuerzo de fibra tiene como objetivo aumentar la resistencia a la tracción para retrasar el incremento de tamaño de las grietas e incrementar la tenacidad transmitiendo el estrés a través de una sección agrietada para que sea posible una deformación mucho mayor más allá del pico de estrés que sin refuerzo de fibra. Además, reforzar con fibra mejora la resistencia los impactos y la resistencia a la fatiga, y también reduce la contracción. La cantidad de fibras utilizadas es pequeña, típicamente del 1 al 5 por ciento en volumen, y para que sean efectivas como refuerzo, la resistencia a la tracción, la elongación en la falla y el módulo de elasticidad de las fibras deben ser sustancialmente más altos que las propiedades correspondientes de la matriz. La relación de aspecto, la forma y la textura superficial, la longitud y la estructura son algunas de las características significativas de las fibras.

2.3.2 El curado en el Concreto

Según Castro (2020) para mantener la proporción adecuada de agua y cemento, el proceso de curado del hormigón implica mantener el contenido de humedad en la mezcla. Esto, a su vez, permite la reacción química necesaria para el desarrollo de la resistencia del hormigón. El curado puede realizarse de varias formas y con diversos métodos. Uno de

ellos es humedecer de manera periódica la superficie del hormigón, que garantiza que el agua que se evapora se reponga y no se escape de la mezcla.

También se puede mantener y conservar la humedad de la mezcla utilizando aditivos que crean barreras para detener la evaporación y la escorrentía del agua. Es fundamental recordar que el curado es necesario para componentes de hormigón como pilares y vigas, además de para grandes superficies como losas.

a) Curado por inmersión

Como se ve en la figura 2, el proceso de curado, también conocido como inmersión o estanqueidad, consiste en mantener la humedad en superficies planas de hormigón, como aceras y suelos, construyendo una barrera de arena como contención de agua alrededor del perímetro de la superficie. Este método resulta bastante eficaz, ya que mantiene el hormigón a una temperatura constante y evita que el material pierda su humedad (Mohd.Hanif et al., 2016).

Figura 2

Curado del concreto mediante inmersión



Nota. Obtenido de Mohd.Hanif et al. (2016).

b) Curado interno del concreto

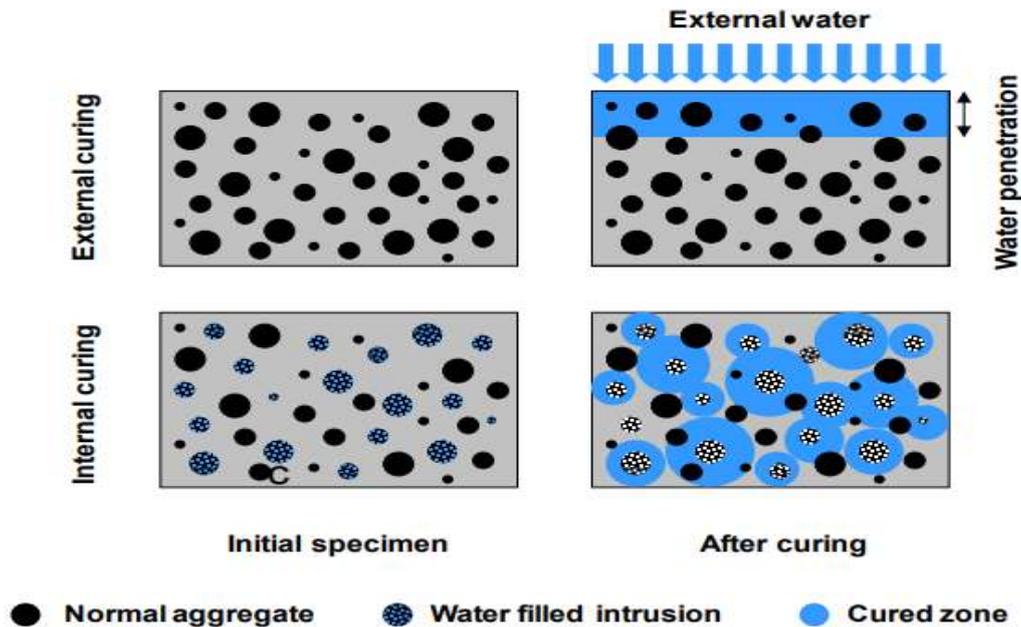
Según Castro (2020) de acuerdo con la norma ACI-308, define el curado interno como el proceso en el que el agua interna adicional no incluida en la mezcla está presente y permite

la hidratación del cemento. Convencionalmente, el curado del hormigón implica el establecimiento de condiciones para evitar la evaporización del agua de la superficie del elemento; en otras palabras, se produce principalmente desde el exterior hacia el interior. A la inversa, el proceso de curado interno hace posible que el proceso de curado vaya del interior al exterior. Esto se consigue añadiendo materiales internos que tengan la capacidad de retener agua, como polímeros superabsorbentes o agregados ligeros saturados. Con frecuencia, el curado interno también se denomina autocurado. Esta técnica evita la pérdida de humedad, mejorando la resistencia a largo plazo y disminuyendo la contracción por secado. Se ha utilizado en aplicaciones como minas subterráneas y revestimientos de túneles, en casos donde los métodos de curado tradicionales resultan complicados o incluso inaplicables. No obstante, es recomendable tener cuidado al usar compuestos de curado interno, dado que esta tecnología no se ha generalizado aún.

Bentz y Weiss (2011) mencionan que el propósito principal de incluir el proceso de curado interno en una mezcla de concreto es la disminución de la contracción autógena y las posibles fisuras asociadas a ella. A diferencia del curado externo, que solo puede penetrar unos pocos milímetros en el concreto con una baja relación agua-cemento, en la figura 3 se observa que el curado interno permite una distribución más uniforme del agua en toda la sección transversal del material. Mediante la utilización de la prueba de contracción con anillo restringido según la norma ASTM C1581, se ha demostrado que la reducción en la contracción autógena conduce efectivamente a una disminución en la formación de fisuras.

Figura 3

Ilustración de la diferencia entre el curado externo y el curado interno



Nota. Al incorporar depósitos internos que retienen el agua deben estar distribuidos uniformemente y lo suficientemente cerca unas de otras para proporcionar cobertura a toda la pasta. Obtenido de Bentz y Weiss (2011).

2.3.3 Modelo de Powers (1947)

Según Castro (2020) son ecuaciones empíricas sencillas utilizadas para representar las etapas de un sistema que incluye cemento Portland y agua. Dependiendo del grado de hidratación del cemento, cada una de estas fases ocuparía la cantidad de volumen distinta. Por ejemplo, en el caso de cero hidrataciones, sólo hay cemento y agua, y el volumen total es igual a la suma de los volúmenes iniciales de cada uno de ellos. Por el contrario, cuando el grado de hidratación alcanza su máximo, el volumen de cemento disminuye hasta cero, mientras que el volumen de productos de hidratación se aproxima a $0,68 \text{ cm}^3$ por gramo de cemento añadido originalmente, y el volumen de porosidad viene determinado por la relación cemento-agua. El espacio disponible para los productos de hidratación disminuye gradualmente a medida que avanza la hidratación, alcanzando finalmente un punto en el que ya no es suficiente para soportar una hidratación continua. Según Neville (1995) si la relación agua-cemento supera aproximadamente 0.38, aun después de completarse el proceso de hidratación, quedarán volúmenes de poros

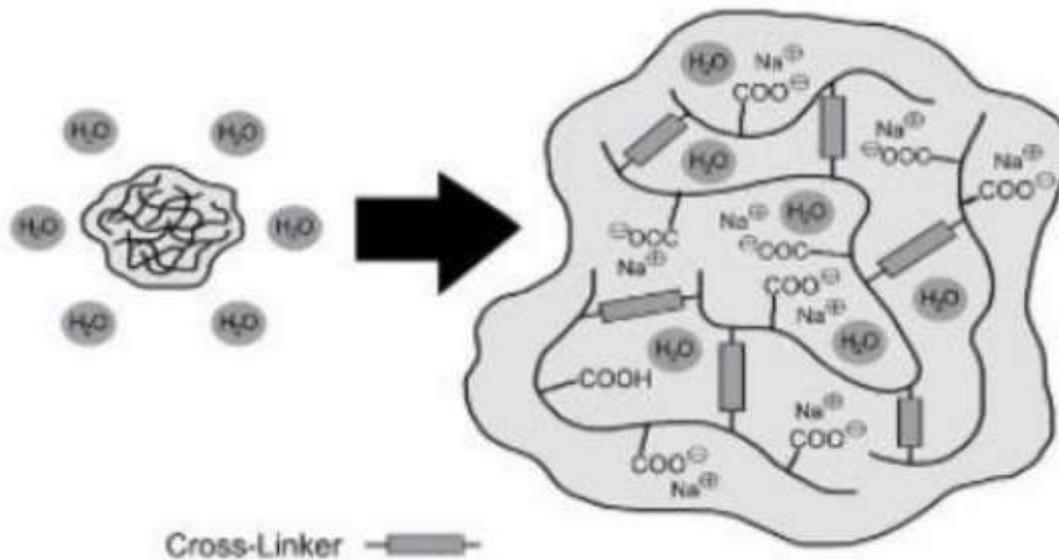
capilares. Estos poros capilares pueden contener un exceso de agua de la mezcla en algunos casos, mientras que en otros absorben parte del agua del entorno.

2.3.4 Mecanismo del curado interno

Según Castro (2020) es esencial comprender el proceso de curado interno, la evaporación constante de la humedad desde una superficie expuesta ocurre normalmente en el concreto convencional, porque existen diferencias en los potenciales químicos (energía libre) entre las fases de líquido y vapor. Sin embargo, como se puede observar en la Figura 4, cuando se agregan polímeros (propileno, polietilenglicol y alcohol polivinílico) a la mezcla, estos tienden a establecer enlaces de hidrógeno con las moléculas de agua, lo que reduce el potencial químico de dichas moléculas. Esto también reduce la presión de vapor, lo que como resultado reduce la tasa de evaporación en la superficie.

Figura 4

Mecanismo y reacción química del polímero en la pasta del cemento



Nota. Los enlaces formados impiden la liberación del agua. Obtenido de Castro (2020).

2.3.5 Polímero de Alcohol polivinílico

Según Castro (2022) pertenece a la clase de polímeros que no son iónicos solubles en agua e incluyen vinilo, por su falta de toxicidad y riesgo, es fácil de manipular y se considera inofensivo para el medio ambiente. Este polímero inodoro, insípido y translúcido, a menudo, está disponible en forma de polvo granular de color blanco a marfil. La Figura 5 representa PVA en su estructura de polvo. Las verdaderas cualidades del PVA están fuertemente influenciadas por dos factores clave: el nivel de polimerización, que indica el tamaño de la partícula, y la hidrólisis, que refleja la conexión

entre la concentración hidrófila del alcohol y la concentración hidrófoba del ácido acetato. se clasifican principalmente según sus niveles de polimerización e hidrólisis: Completamente hidrolizado, con más del 98% de los grupos derivados del grupo acetato reemplazados por concentraciones de alcohol. Estos tipos de PVA tienen un alto grado de hidrolización y son adecuados para formar láminas insolubles en agua a bajas temperaturas. También tienen excelentes propiedades cementantes. Sin embargo, si se hidroliza ligeramente, reemplazando alrededor del 87-89% de los grupos del ácido acetato por grupos alcohol. Estos PVA se descomponen en agua a temperatura ambiente y son poco solubles en etanol, pero no llegan a disolverse en disolventes orgánicos.

Figura 5

Muestra de Alcohol Polivinílico en polvo granulado



Nota. Obtenido de Castro (2022).

2.3.6 Fibras de polímero de alcohol polivinílico

Es una fibra estable y duradera en un ambiente que sea alcalino generado por la matriz de concreto, lo que permite que se utilice en la mezcla sin preocuparse por dañarla. Además, tiene una alta resistencia a la tracción entre 0.8 y 1.6 GPa, un módulo de elasticidad entre 23 y 40 GPa y una superficie hidrofílica que le permite tener una fuerte unión química con la matriz de cemento. Aunque la fibra de PVA es conocida por tener una alta resistencia a la tracción, pero su resistencia a cargas laterales es baja y puede romperse

rápidamente en estas condiciones, la figura 6 muestra el PVA en su forma de fibras (Peralta, 2022).

Figura 6

Fibra de Alcohol Polivinílico (PVA)



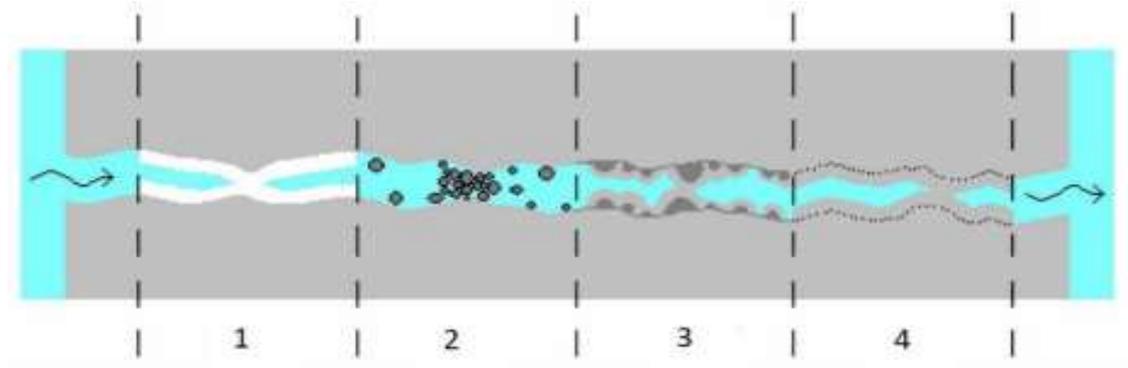
Nota. Largo 12mm. Peralta (2022).

2.3.7 Auto-reparación de grietas y fisuras

Según Rubio (2016) señala que la autosanación en el concreto es el proceso donde el concreto fisurado genera mecanismos capaces de rellenar la fisura y obtener las capacidades mecánicas que tenía antes de producirse la fisura y que estos mecanismos, como se observa en la figura 7, son producidos por los componentes del concreto o una adición añadida con la intención de producir el cierre de la fisura. El agua es de vital importancia para que se produzca la autosanación de la fisura esto se debe a que las reacciones de los componentes del hormigón como las adiciones específicas necesitan agua para activarse. Además, se han estudiado otros mecanismos de autosanación, como la impregnación de agregado grueso con solución de silicato de sodio para producir geles que tapan las fisuras o la adición de bacterias bioprecipitadoras que producen carbonato cálcico para rellenar las fisuras. La autosanación es un proceso prometedor para mejorar la durabilidad y la vida útil del hormigón.

Figura 7

Posibles causas de la sanación autógena del hormigón



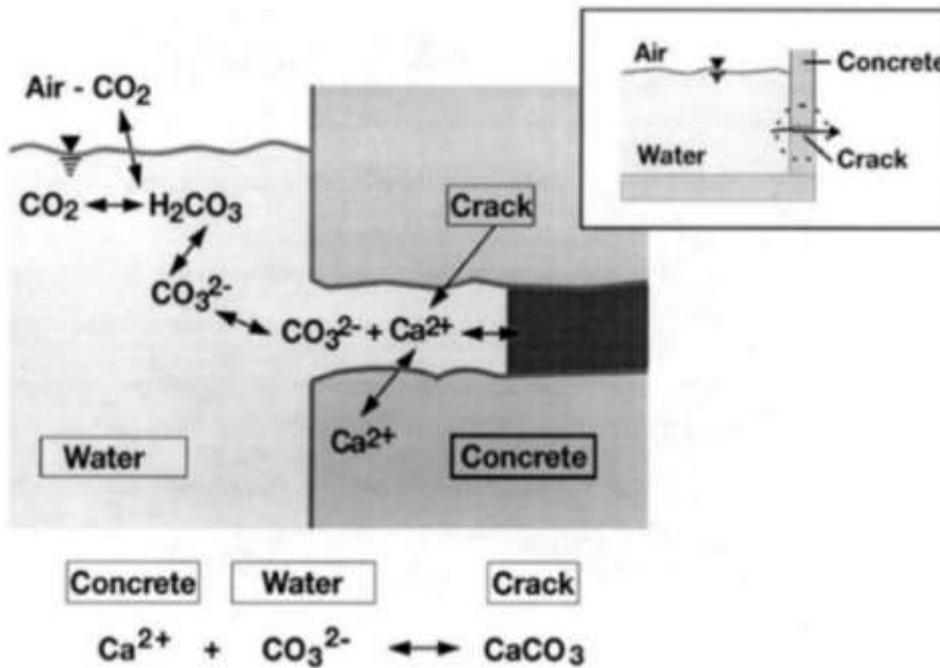
Nota: Secuencia de sanación, (1) proceso de carbonatación; (2) partículas se desprenden; (3) Hidratación; (4) Aumento de volumen. Obtenido de Rubio (2016).

a) Formación del carbonato cálcico

Según Rubio (2016) se forma hidróxido de calcio Ca(OH)_2 del resultado de la hidratación del hormigón, de este producto se libera su ion Ca^{2+} y en presencia de agua que contiene dióxido de carbono CO_2 , se produce el ion CO_3^{2-} como producto adicional. Cuando en el entorno se encuentran disponibles tanto el ion Ca^{2+} como el ion CO_3^{2-} , puede tener lugar una reacción de carbonatación que da como resultado la formación de carbonato cálcico (CaCO_3), este proceso se observa en la figura 8.

Figura 8

Reacciones en el proceso de carbonatación



Nota. Obtenido de Rubio (2016).

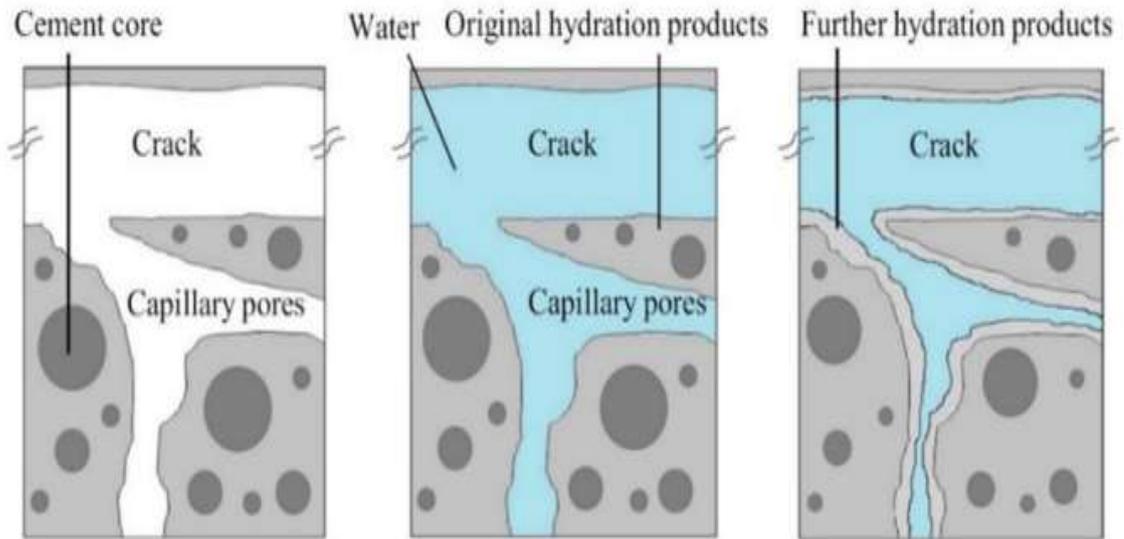
Como resultado, las variables que afectan este proceso, como la apertura de grietas, la presencia de agua para asegurar interacciones químicas o la adición de productos que favorezcan reacciones de hidratación o carbonatación, pueden restringir o mejorar el rendimiento. (Rubio, 2016).

b) Hidratación de la pasta de cemento

Según Rubio (2016) todo producto que resulta de la hidratación de las mezclas de cemento tiene un mayor volumen y una menor densidad que las mezclas originales. Como resultado, la reacción de hidratación aumenta el volumen al tiempo que disminuye la porosidad. Cuando las partículas de cemento no hidratadas de las superficies de fractura entran en contacto con más agua, las fases del Clinker de cemento se disuelven. Como resultado, gradualmente se desarrollan diversos iones en la grieta, y sus concentraciones en solución aumentan hasta precipitar y generar nuevos productos de hidratación en las caras de la fractura. El esquema de hidratación del cemento se muestra en la Figura 9.

Figura 9

Esquema de la hidratación de las partículas de cemento



Nota. Esquemización de hidratación de partículas del cemento que permanecían sin hidratar. Obtenido de Rubio (2016).

c) Restricción de la abertura de fisura

Según Reinhardt y Jooss (2003) está comprobado que la reducción en la velocidad de flujo está relacionada con el tamaño de la grieta y la temperatura. Las grietas de menor tamaño experimentan una reparación más rápida en comparación con las grietas más grandes, y temperaturas más elevadas promueven un proceso de auto-reparación más veloz.

Nishiwaki et al. (2012) según el tipo de fibra utilizada, se comparó la capacidad de auto-reparación del hormigón reforzado con fibras (FRCC). Para este análisis, se eligieron fibras sintéticas con diversas propiedades químicas, como alcohol polivinílico (PVA) y se midió la cantidad de precipitados que se formaban alrededor de cada tipo de fibra. Según sus resultados, las fibras que unifican ambos lados de la grieta desempeñan un papel esencial para regular su apertura y facilitar la deposición de productos de hidratación o carbonatación.

2.3.8 Influencia de la temperatura

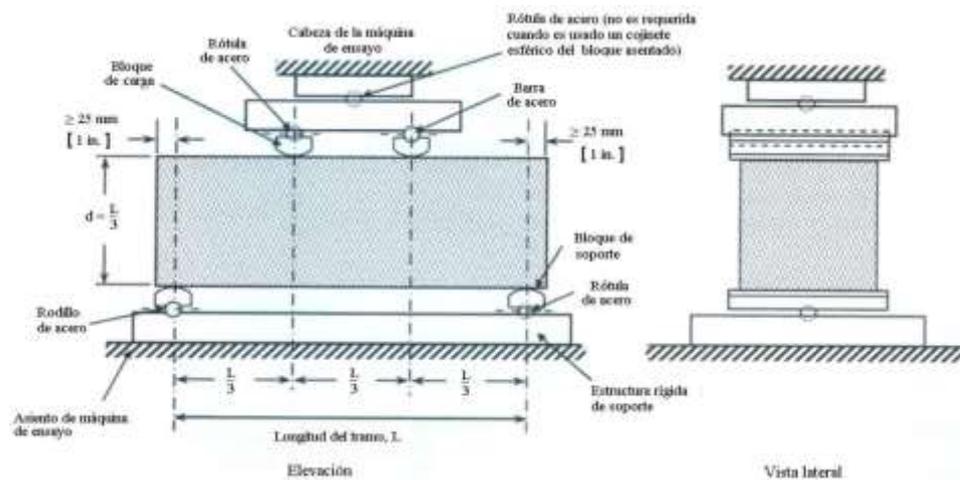
Según Reinhardt y Jooss (2003) la correlación entre la capacidad de auto-reparación y la temperatura ha sido objeto de escaso estudio, lo cual resulta inusual, dado que los procesos de transporte de agua y lixiviación con frecuencia están vinculados a cambios en la temperatura.

2.3.9 Ensayos para evaluar las propiedades físicas

a) Ensayo de la resistencia a la flexión según INDECOPI (2012) se realiza en probetas preparadas y curadas con la NTP 339.033 ó NTP 339.183. La resistencia es calculada y mencionada como el módulo de rotura lo que podría variar si la probeta es de diferente tamaño, su preparación previa, humedad, dimensiones requeridas de la viga. En la figura 10 se observa que para llevar a cabo este ensayo es necesario aplicarle a la viga una carga a los tercios de luz para producir una falla en el tercio medio o una distancia menor al 5% de su luz libre.

Figura 10

Diagrama de ensayo a flexión en vigas con cargas a los tercios

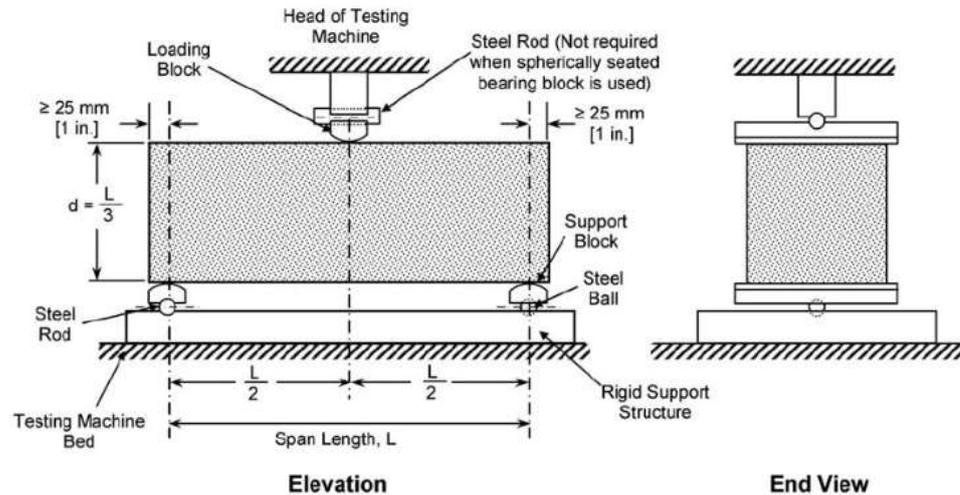


Nota. Obtenido de INDECOPI (2012).

b) Ensayo de resistencia a la flexión según ASTM C293 / C293M-16 (2016) determina la resistencia a la flexión de las muestras de hormigón a través de una viga simple con carga en un punto central, como se muestra en la figura 11. Los valores indicados en las unidades del S.I o en pulgada-libra se consideran por separado como estándar.

Figura 11

Dispositivo para ensayos a flexión de vigas con una carga en el medio



Nota. Obtenido de ASTM C293/C293M (2016).

2.4 Definición de términos básicos

Auto-reparación: "Cualquier proceso realizado por el propio material que implique la recuperación y, por lo tanto, la mejora de su rendimiento después de una acción que haya reducido su rendimiento" (De Rooij et al., 2013, p. 9).

Aditivo: Según el Comité ACI- 212 (2010) es un material diferente a los agregados, agua y cemento hidráulico, utilizado como ingrediente añadiéndose a la mezcla antes o durante el mezclado en el concreto o mortero.

Carbonato cálcico (CaCO_3): Es un mineral muy común en la naturaleza, representa un 4% de la corteza terrestre. Se encuentra en asociación con rocas como la tiza, la caliza y el mármol, y en su forma pura se presenta como calcita. Tiene una baja dureza y una estructura que puede variar, a pesar de su composición química uniforme. Adopta tres estructuras como calcita, aragonita y vaterita, se diferencian en términos de pureza, color, grosor y uniformidad a pesar de que son similares químicamente (Giraldo, 2017).

Mortero: "Es la mezcla de un material aglutinante (cemento portland y/o otros cementantes), un material de relleno (agregado fino o arena), agua y eventualmente aditivos, que al endurecerse presenta propiedades químicas, físicas y mecánicas similares a las del concreto" (Sánchez, 2001, p. 303).

Relación a/c: Se define como la proporción entre el peso del agua y el peso del cemento utilizados en la mezcla. Cuando la relación a/c disminuye, la porosidad del concreto se reduce, lo que resulta en un concreto de mayor densidad, calidad y resistencia. Por otro

lado, cuanto mayor sea la relación a/c, menor será la resistencia del concreto (Trujillo, 2018).

Autocurado: A menudo, el curado interno también se conoce como autocurado. Esta técnica impide la pérdida de humedad, lo que mejora la resistencia a largo plazo y reduce la contracción debido al secado (Castro, 2020).

2.5 Fundamentos teóricos que sustentan la hipótesis

En la figura 12 se muestra los fundamentos teóricos que plantean la hipótesis.

Figura 12

Mapa conceptual



Nota. Elaboración propia.

CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS

3.1 Hipótesis

3.1.1 Hipótesis general

La adición de polímero de alcohol polivinílico en el hormigón flexible aumentará la auto-reparación de grietas y fisuras.

3.1.2 Hipótesis específicas

- a) Al determinar el porcentaje de polímero alcohol polivinílico en el hormigón flexible aumentará la resistencia a la compresión.
- b) Al determinar el porcentaje de polímero alcohol polivinílico en el hormigón flexible aumentará la resistencia a la flexión.
- c) Al determinar el porcentaje de polímero alcohol polivinílico en el hormigón flexible se reduce el ancho de la fisura.
- d) Al determinar el porcentaje de polímero alcohol polivinílico en el hormigón flexible aumentará la resistencia a la tracción.

3.2 Sistema de variables

3.2.1 Definición conceptual

- a) Variable independiente: Polímero de alcohol polivinílico

El alcohol polivinílico es conocido comercialmente con el nombre de PVA y es fabricado a partir del acetato de potasio a través de un procedimiento continuo (Abbas et al., 2019).

- b) Variable dependiente: Auto-reparación de grietas y fisuras

Este concepto proviene de la capacidad de la piel humana y plantas para curarse a sí mismas, lo que motivo a investigar un método por el cual el concreto se pueda reparar mediante mecanismos de auto-reparación (Pariona, 2021).

3.2.2 Operacionalización de las variables

La tabla 1 muestra las variables, su definición conceptual y sus indicadores que definen como se medirán las variables.

Tabla 1

Operacionalización de las variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Unidad de medida	Escala	Instrumentos	Herramientas
Variable independiente: polímero de alcohol polivinílico.	El alcohol polivinílico es conocido comercialmente con el nombre de PVA (Abbas et al., 2015). tiene nula toxicidad Este polímero es inodoro, insípido, translúcido y está disponible en forma de polvo granulado de color blanco a marfil (Castro, 2020).	el PVA es adecuado para formar películas que son insolubles en agua a temperaturas más bajas y además tienen buenas propiedades adhesivas (Castro, 2022).	Porcentaje de polímero alcohol polivinílico	Porcentaje			
Variable dependiente: auto-reparación de grietas y fisuras.	Este concepto proviene de la capacidad de la piel humana y plantas para curarse a sí mismas, lo que inspiró a los investigadores a buscar un método por el cual el concreto se pueda auto-reparar mediante mecanismos de auto-reparación (Pariona, 2021).	Los mecanismos de auto-reparación son efectivos sin importar la ubicación de la fisura sea externa o interna y se activan de manera inmediata al entrar en contacto con la fisura, comenzando a sellarla. estos mecanismos son la reparación autógena, encapsulación de polímeros y producción microbiana de carbonato cálcico (Pariona, 2021).	Resistencia a la compresión Resistencia a la flexión Ancho de la fisura Resistencia a la tracción	MPa MPa Porcentaje MPa	Cuantitativa continua	Investigaciones nacionales e internacionales	ASTM C293 NTP 339.078

Nota. Elaboración propia.

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA

La presente investigación se realizó siguiendo la metodología de Chavarry et al. (2020) en su investigación incorporaron vidrio molido para reforzar el hormigón con la finalidad de controlar la contracción plástica, la investigación fue de tipo descriptivo, correlacional y explicativo. Emplearon el método deductivo, orientación aplicada y un enfoque cuantitativo siendo el instrumento de recolección de datos retrolectivo, de diseño experimental, longitudinal, prospectivo y el estudio de cohorte (Causa-Efecto).

4.1 Método de la investigación método, orientación, enfoque e instrumento de recolección de datos

La presente investigación se realizó de manera documental apoyándose en investigaciones donde se incorpora polímero de alcohol polivinílico en el hormigón para la auto-reparación de grietas y fisuras. Se empleo el método deductivo de orientación aplicada con un enfoque cuantitativo por que se realizaron cálculos numéricos y como instrumento de recolección de datos fue retrolectivo por que se realizaron comparaciones de tablas y gráficos de otras investigaciones para obtener resultados que contrasten la hipótesis.

4.2 Tipo de investigación

El tipo de investigación es explicativa por que explica las causas en base a teorías de investigaciones, descriptiva porque describe el problema y las consecuencias para tener una solución y correlacional por que existe en la variable independiente con la variable dependiente una relación de causa y efecto.

4.3 Nivel de investigación

El nivel de la investigación es descriptivo por que se usara correlaciones básicas como lo son los gráficos de barras, regresión lineal para representar los datos obtenidos de las investigaciones.

4.4 Diseño de la investigación

El diseño es no experimental por que se utilizaron datos recopilados de investigaciones pasadas. Es longitudinal de más de dos medidas por que se realizaron mediciones al hormigón en diferentes edades y por la cronología de observación que realizaron es prospectivo por que los resultados que obtuvieron son de ensayos propios. El diseño es de cohortes porque en las investigaciones se estudiará la causa que es el porcentaje de fibras de polímero alcohol polivinílico para ver el efecto que tiene en la auto-reparación de grietas y fisuras en el hormigón.

4.5 Población y muestra

4.5.1 Población

La población son las investigaciones que se mencionan en los antecedentes.

4.5.2 Muestra

El muestreo es de naturaleza no probabilístico debido a que en las investigaciones se prepararon probetas que cumplen con la normativa vigente. En esta investigación se utilizaron como muestra las probetas con los diferentes porcentajes de alcohol polivinílico cuyo diseño depende de la normativa del país donde se investigó.

4.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

4.6.1 Instrumentos de recolección de datos

Para el procesamiento de datos se utilizó como instrumento el programa Excel para la realización de gráficos de barras, tablas de datos.

Herramientas:

ASTM C293 ensayo de flexión estándar en el hormigón.

NTP 339.078 ensayo a flexión con vigas con cargas a los tercios.

4.6.2 Métodos y técnicas

Como técnica de recolección de información utilizada es el análisis documental de fuentes bibliográficas.

4.7 Descripción de procesamientos de análisis

Se recolecto información de artículos científicos sobre el hormigón con polímero alcohol polivinílico para conocer los porcentajes utilizados y obtener un porcentaje óptimo.

CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Resultados de la investigación

El proceso de curado es un factor crucial que impacta significativamente en la calidad del concreto. Es de vital importancia, ya que diversos estudios han demostrado que, si no se lleva a cabo de manera adecuada, puede disminuir la resistencia del concreto y dar lugar a la formación de múltiples fisuraciones, disminuyendo su durabilidad.

Objetivo 1: Determinar el porcentaje de polímero alcohol polivinílico en el hormigón flexible para aumentar la resistencia a la compresión.

La tabla 2 muestra el porcentaje de alcohol polivinílico y la relación a/c de los autores investigados respecto al objetivo 1.

Tabla 2

Artículos y tesis de resistencia a la compresión

Ítem	Autor	Título	Relación a/c	Alcohol polivinílico (%)
Tesis 1	Castro, P.	Evaluación técnico económica del autocurado del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con alcohol polivinílico comparado con el proceso tradicional y aditivo curador	0.57	0.24, 0.48, 0.72 y 0.96
Artículo 1	Waleed A. Abbas, Ikbal N. Gorgis and Mahdi J. Hussien	Compuesto de mortero de cemento de autocurado utilizando alcohol polivinilo	0.3	1
Artículo 2	Vaseem Akram.N, Balachandiran.P	Estudio experimental del concreto de autotratamiento utilizando polivinilo alcohol	0.45	0.5, 1, 1.5 y 2
Artículo 3	A. Mrs. Roopakala C. G1, B. Shivaraju G.D2, C. Mrs. Usha S.3	Estudio experimental sobre propiedades del hormigón autocurable incorporado con PEG y PVA	0.45	1
Artículo 4	Kushwaha y parihar	Autocurado mediante el uso de polímero súper absorbente y aditivo reductor de la retracción para M-40	desconocido	0, 0.12, 0.24, 0.36 y 0.48
Artículo 5	Mr. Hardik S. Mistri, Mr. Priyank D. Bhimani, Ms Hetal Gorasiya	Estudio experimental sobre el concreto de grado M20 utilizando un agente de autocurado.	0.55	0.5, 1 y 1.5
Artículo 6	K V S Gopala krishna sastry 1*, Putturu manoj kumar2	Concreto de autocurado con diferentes agentes de autocurado.	0.48	0.25,0.5,0.75 y 1

Nota. Elaboración propia.

Tesis 1: Castro (2022)

Añadió alcohol polivinílico a la mezcla de hormigón para evaluar la eficacia del curado interno. comparó el análisis de la resistencia a la compresión con las técnicas convencionales de curado por inmersión y curado con una mezcla que forma membranas. Para obtener una resistencia de 210 kg/cm², el estudio se centró en la dosificación de diversos porcentajes (0,24%, 0,48%, 0,72% y 0,96%) de alcohol polivinílico en proporción al peso del cemento.

Para realizar los ensayos de resistencia a la compresión de acuerdo con la norma ASTM C39, se fabricaron un total de 72 probetas cilíndricas y 18 probetas prismáticas. En la tabla 3 se muestran las probetas utilizadas en el ensayo de resistencia a la compresión.

Utilizando rocas de las canteras de Tres Tomas y Pátapo, el diseño del hormigón se ajustó a las especificaciones establecidas por las normas técnicas peruanas NTP 400.013 y NTP 400.017, con una relación peso/cemento de 0,57.

De acuerdo con los requisitos de la NTP 339.088, el agua utilizada en la mezcla es potable y tiene las cualidades adecuadas para el hormigón. En la mezcla se utiliza cemento Pacasmayo Tipo I, que satisface todas las especificaciones enumeradas en la NTP 334.090.

Además, se incorpora alcohol polivinílico en el proceso, que cuenta con un porcentaje de hidrólisis entre el 87% y el 89%, una pureza mínima de 93,5%.

Ensayo probetas en diferentes edades del concreto, específicamente a los 7, 14 y 28 días.

Tabla 3

Especímenes del ensayo de resistencia a la compresión

Mezcla	Tiempo de rotura			
	7 (Días)	14 (Días)	28 (Días)	Total
Mezcla Patrón (inmersión)	2	2	2	6
Mezcla Patrón (sin curar)	2	2	2	6
Mezcla con 0.24% PVA	2	2	2	6
Mezcla con 0.48% PVA	2	2	2	6
Mezcla con 0.72% PVA	2	2	2	6
Mezcla con 0.96% PVA	2	2	2	6
TOTAL	36 especímenes			

Nota. Adaptado de Castro (2022).

En la tabla 4 se observa los siguientes resultados del ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días.

Tabla 4

Resistencia a la compresión del concreto a los 7 días

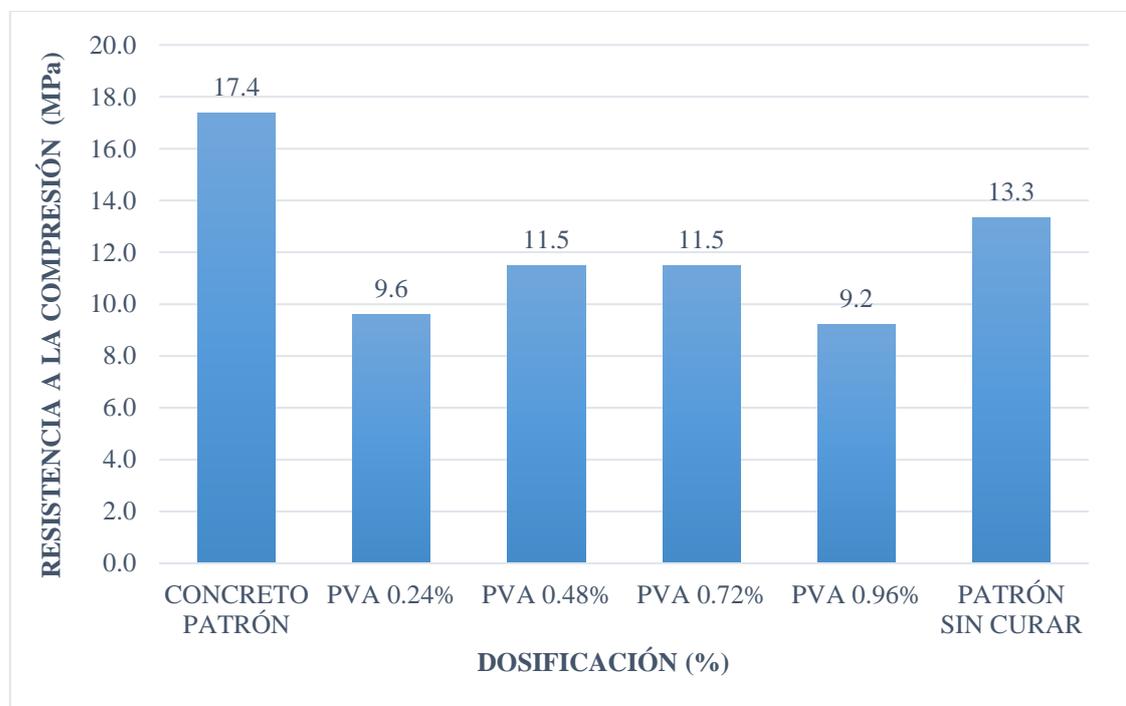
Dosificación	Resistencia a la compresión (MPa)	Porcentaje del f'_c de diseño (%)
Concreto patrón	17.4	84.3
PVA 0.24%	9.6	46.7
PVA 0.48%	11.5	55.7
PVA 0.72%	11.5	55.7
PVA 0.96%	9.2	44.8
Patrón sin curar	13.3	64.8

Nota. Adaptado de Castro (2022).

Se constato que al emplear un cemento Tipo I en la mezcla, el concreto patrón alcanza altas resistencias en etapas tempranas, véase figura 13.

Figura 13

Resistencia a la Compresión a los 7 días



Nota. Adaptado de Castro (2022).

En la tabla 5 se observa los valores obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión con respecto a dosificaciones de 0.24%, 0.48%, 0.72%, 0.96% de PVA con autocurado, concreto patrón curado convencionalmente y concreto patrón sin curar a los 14 días.

Tabla 5

Resistencia a la compresión del concreto a los 14 días

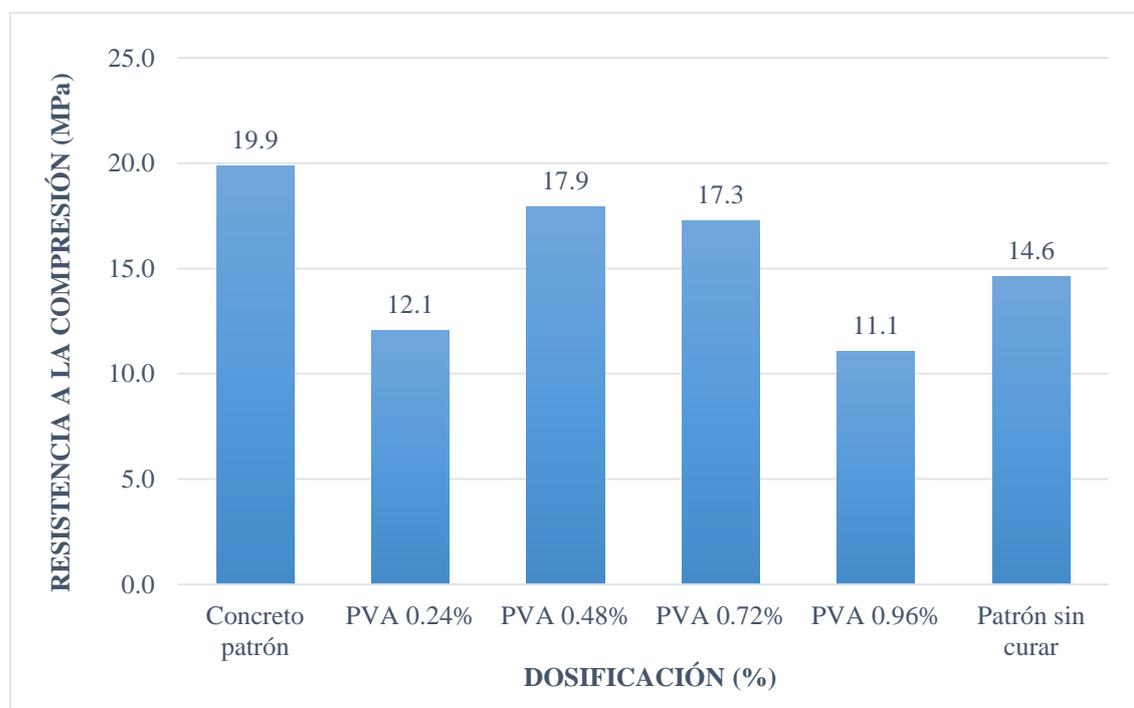
Dosificación	Resistencia a la compresión (MPa)	porcentaje del f'_c de diseño (%)
Concreto patrón	19.9	96.4
PVA 0.24%	12.1	58.6
PVA 0.48%	17.9	87.1
PVA 0.72%	17.3	83.8
PVA 0.96%	11.1	53.8
Patrón sin curar	14.6	71.0

Nota. Adaptado de Castro (2022).

Los valores de la tabla 5 se utilizaron para realizar el análisis en la figura 14.

Figura 14

Resistencia a la compresión a los 14 días



Nota. Adaptado de Castro (2022).

En la tabla 6 se observa los valores obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión con respecto a dosificaciones de 0.24%, 0.48%, 0.72%, 0.96% de PVA con autocurado, concreto patrón curado convencionalmente y concreto patrón sin curar, a los 28 días.

Tabla 6

Resistencia a la compresión del concreto a los 28 días

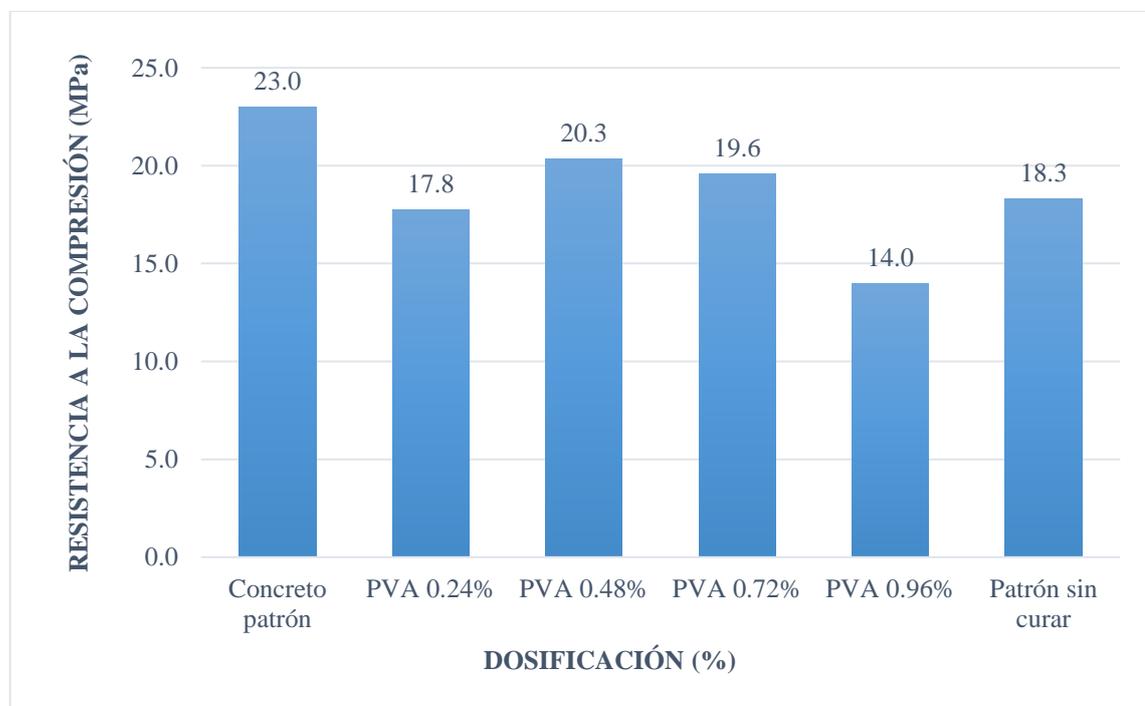
Dosificación	Resistencia a la compresión (MPa)	porcentaje del $f'c$ de diseño (%)
Concreto patrón	23.0	111.7
PVA 0.24%	17.8	86.2
PVA 0.48%	20.3	98.8
PVA 0.72%	19.6	95.0
PVA 0.96%	14.0	67.9
Patrón sin curar	18.3	88.8

Nota. Adaptado de Castro (2022).

Los valores de la tabla 6 se utilizaron para realizar el análisis en la figura 15.

Figura 15

Resistencia a la compresión a los 28 días

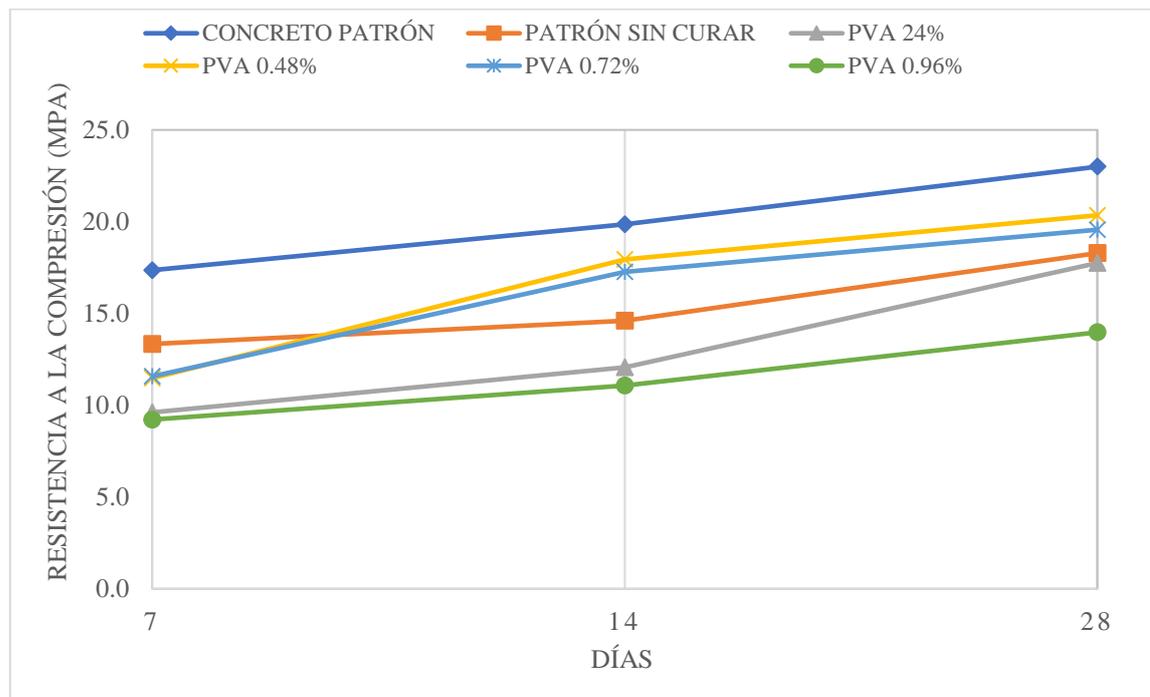


Nota. Adaptado de Castro (2022).

En la figura 16 se presenta un gráfico comparativo con los valores obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días para dosificaciones de 0.24%, 0.48%, 0.72% y 0.96% de PVA con autocurado, concreto patrón curado convencionalmente y concreto patrón sin curar.

Figura 16

Resumen comparativo de la resistencia a la compresión



Nota. Adaptado de Castro (2022).

Artículo 1: Abbas et al. (2019)

Disolvieron en agua una cantidad de PVA equivalente al 1% en peso del cemento observaron que el PVA puede ser utilizado en el proceso de autocuración, lo que resulta en un incremento de la resistencia en comparación con el curado tradicional.

Tipo de cemento: Utilizaron cemento Portland tipo I que cumple con los requisitos de la Especificación Iraquí (IQ.S. 5:1984) y tiene una densidad específica de 3.15.

Tipo de árido fino: Se empleó arena natural como el tipo de árido fino utilizado en este estudio, la cual cumple con los requisitos establecidos por el estándar iraquí. Esta arena pasó a través del tamiz de 1,18 mm y presenta una densidad específica de 2,70 y un módulo de finura de 1,64. Además, la distribución del tamaño de partículas se ajusta a la Especificación Iraquí (IQ.S. No 45: 1980).

Alcohol polivinílico (PVA): Se empleó alcohol polivinílico (PVA) como el polímero utilizado, con una hidrólisis del 87-89% y se presentó en forma granular. Para preparar la solución de PVA, se disolvió en agua en una proporción del 1% en peso del cemento.

Superplastificante (SP): se utilizó polímeros modificados de carboxilatos se mostraron eficaces regular las propiedades destacadas de fluidez del mortero fresco, las cuales cumplen con los estándares establecidos en la norma ASTM C494/2014.

Diseño de mezcla: Utilizaron una relación a/c de 0.30, se mezcló el cemento y la arena en estado seco con una pequeña cantidad de agua para prehumedecerlos. Luego, se agrega el superplastificante (SP), la solución de PVA y el resto del agua a la mezcla mientras se mezcla para cumplir con los requisitos de la norma ASTM C305/2014, utilizando una mezcladora manual de espiral. Ver tabla 7.

En las pruebas de resistencia mecánica, se emplearon prismas de mortero de dimensiones 40 x 40 x 160 mm para los ensayos de flexión (ASTMC348/1998) y cubos de 50 x 50 x 50 mm para las pruebas de compresión.

Pasadas 24 horas desde el colado, todas las muestras fueron desmoldeadas. Los especímenes de mortero de cemento se mantuvieron envueltos durante un día antes de retirar los moldes. Posteriormente, se aplicó un procedimiento de curado después de retirar los moldes. En una primera parte, los especímenes fueron sumergidos en agua en una sala húmeda durante 2 días (a una temperatura de 20 °C y con una humedad relativa del 100%), y luego se sometieron a curado en seco hasta el día de la prueba. En una segunda parte, los especímenes de mortero fueron sumergidos en agua en una sala húmeda durante 28 días.

Tabla 7

Ingredientes de mortero simple y mortero modificado con PVA

Cemento (kg/m ³)	Arena (kg/ m ³)	Agua (l/m ³)	Super plastificante (l/m ³)
1000	500	300	5

Nota. Adaptado de Abbas et al. (2019).

En la tabla 8 se observa los valores obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión de la mezcla sin adición y con 1% de PVA con curado convencional (CC) y autocurado (SC) a los 28 días.

Tabla 8

Resistencia a la compresión a los 28 días

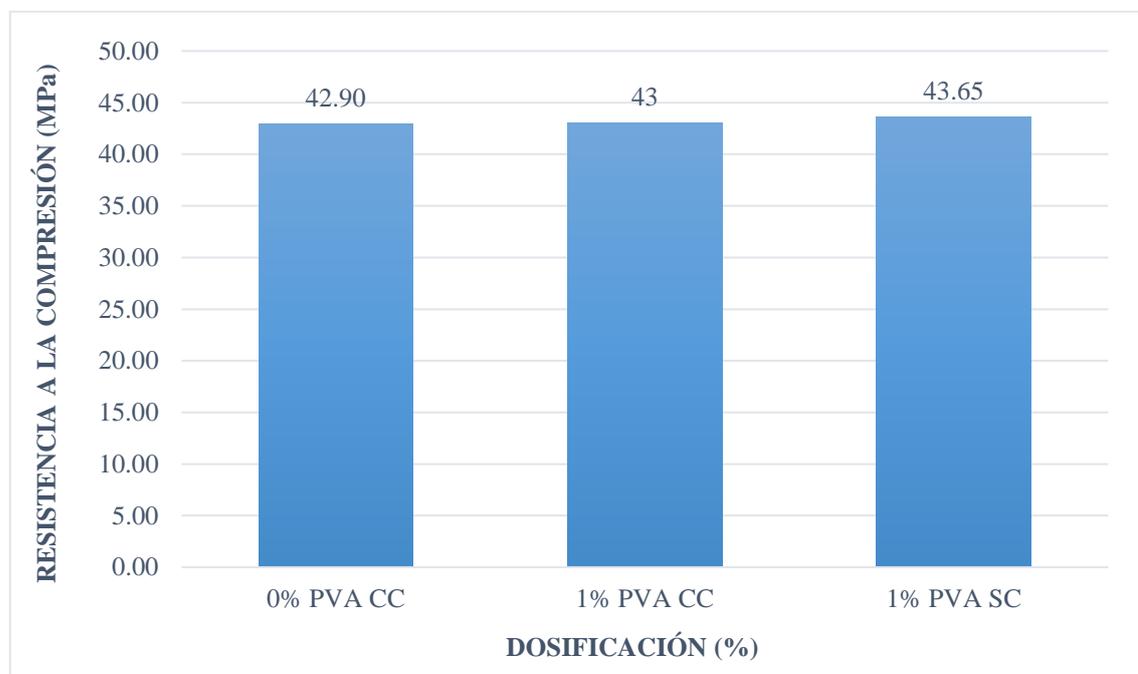
Dosificación	Resistencia a la Compresión (MPa)	f'c respecto al concreto patrón (%)
0% PVA CC	42.90	100%
1% PVA CC	43	100.2
1% PVA SC	43.65	101.5

Nota. Adaptado de Abbas et al. (2019).

Los valores de la tabla 8 se utilizaron para realizar el análisis en la figura 17.

Figura 17

Resistencia a la Compresión a los 28 días de edad



Nota. Adaptado de Abbas et al. (2019).

Artículo 2: Vaseem y Balachandiran (2018)

Emplearon concreto autocurado mediante la incorporación de alcohol polivinílico en distintas cantidades: 0,5%, 1%, 1,5% y 2% y para el diseño de mezcla utilizaron una relación a/c de 0.45, ver tabla 9. Analizaron la resistencia a la compresión del concreto en intervalos de tiempo de 7, 14 y 28 días.

Tabla 9*Componentes de la mezcla*

Cemento (kg/ m ³)	Agregado fino (kg/ m ³)	Agregado grueso (kg/m ³)	Agua (l/m ³)	Super plastificante (%)
390	738	1042	176	2

Nota. Adaptado de Vaseem y Balachandiran (2018).

En la tabla 10 se observa los valores obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión con respecto a dosificaciones de 0.50%, 1%, 1.5%, 2% de PVA con autocurado, y concreto patrón curado convencionalmente a los 7 días.

Tabla 10*Resistencia a la compresión a los 7 días de edad*

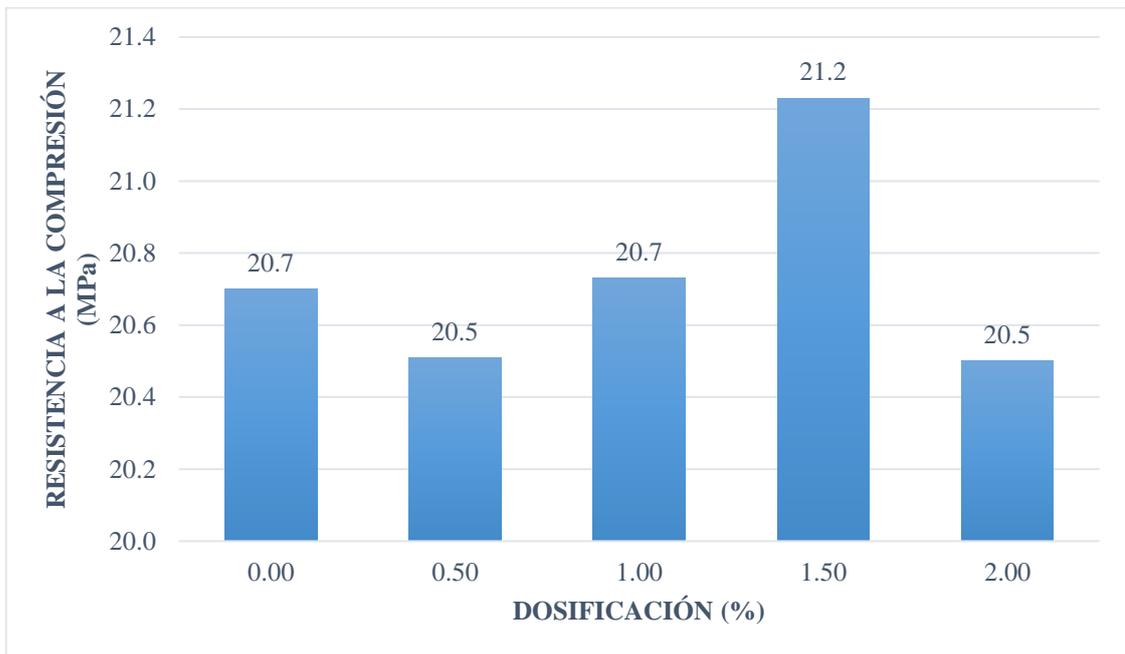
Dosificación (%)	Resistencia a la compresión (MPa)	Porcentaje del f'c de diseño (%)
0.00	20.7	69.0
0.50	20.5	68.4
1.00	20.7	69.1
1.50	21.2	70.8
2.00	20.5	68.3

Nota. Adaptado de Vaseem y Balachandiran (2018).

Los valores de la tabla 10 se utilizaron para realizar el análisis en la figura 18.

Figura 18

Resistencia a la Compresión a los 7 días



Nota. Adaptado de Vaseem y Balachandiran (2018).

En la tabla 11 se observa los valores obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión con respecto a dosificaciones de 0.50%, 1%, 1.5%, 2% de PVA con autocurado, y concreto patrón curado convencionalmente a los 14 días.

Tabla 11

Resistencia a la Compresión a los 14 días

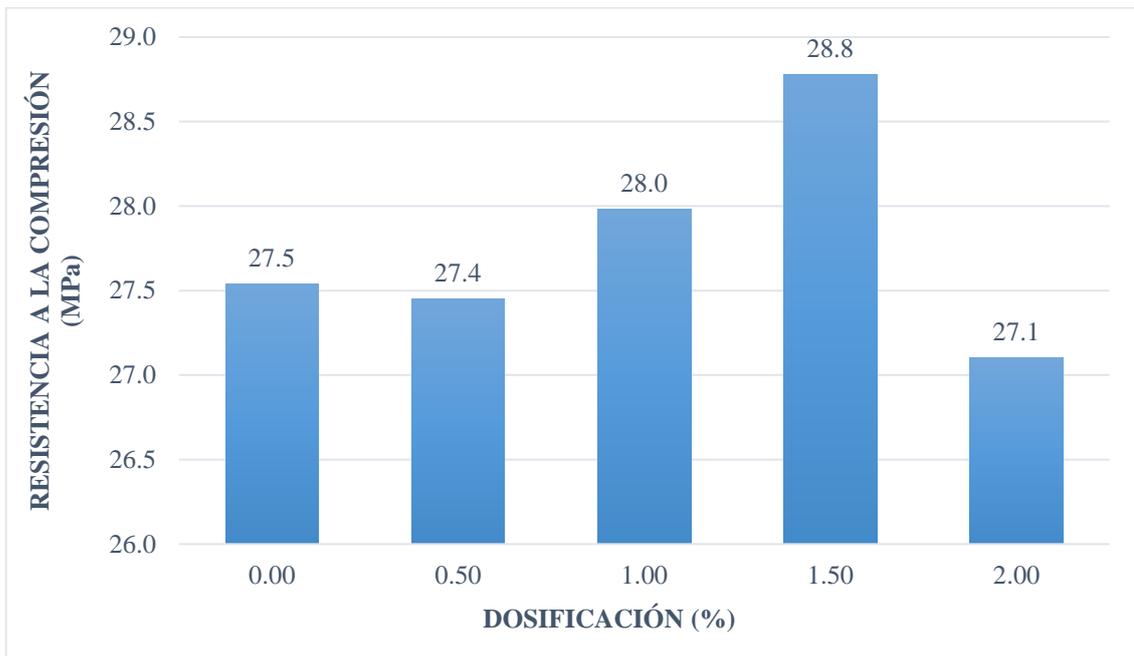
Dosificación (%)	Resistencia a la compresión (MPa)	Porcentaje del $f'c$ de diseño (%)
0.00	27.5	91.8
0.50	27.4	91.5
1.00	28.0	93.3
1.50	28.8	95.9
2.00	27.1	90.3

Nota. Adaptado de Vaseem y Balachandiran (2018).

Los valores de la tabla 11 se utilizaron para realizar el análisis en la figura 19.

Figura 19

Resistencia a la Compresión a los 14 días



Nota. Adaptado de Vaseem y Balachandiran (2018).

En la tabla 12 se observa los valores obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión con respecto a dosificaciones de 0.50%, 1%, 1.5%, 2% de PVA con autocurado y concreto patrón curado convencionalmente a los 28 días.

Tabla 12

Resistencia a la compresión a los 28 días

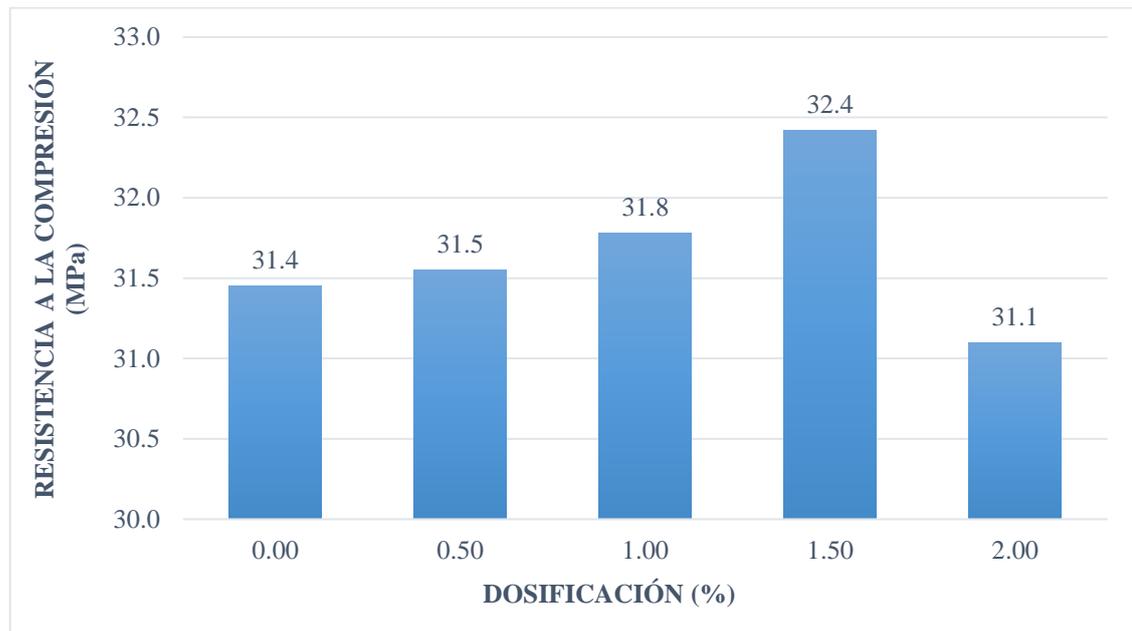
Dosificación (%)	Resistencia a la Compresión (MPa)	Porcentaje del $f'c$ de diseño (%)
0.00	31.4	104.8
0.50	31.5	105.2
1.00	31.8	105.9
1.50	32.4	108.1
2.00	31.1	103.7

Nota. Adaptado de Vaseem y Balachandiran (2018).

Los valores de la tabla 12 se utilizaron para realizar el análisis en la figura 20.

Figura 20

Resistencia a la compresión a los 28 días

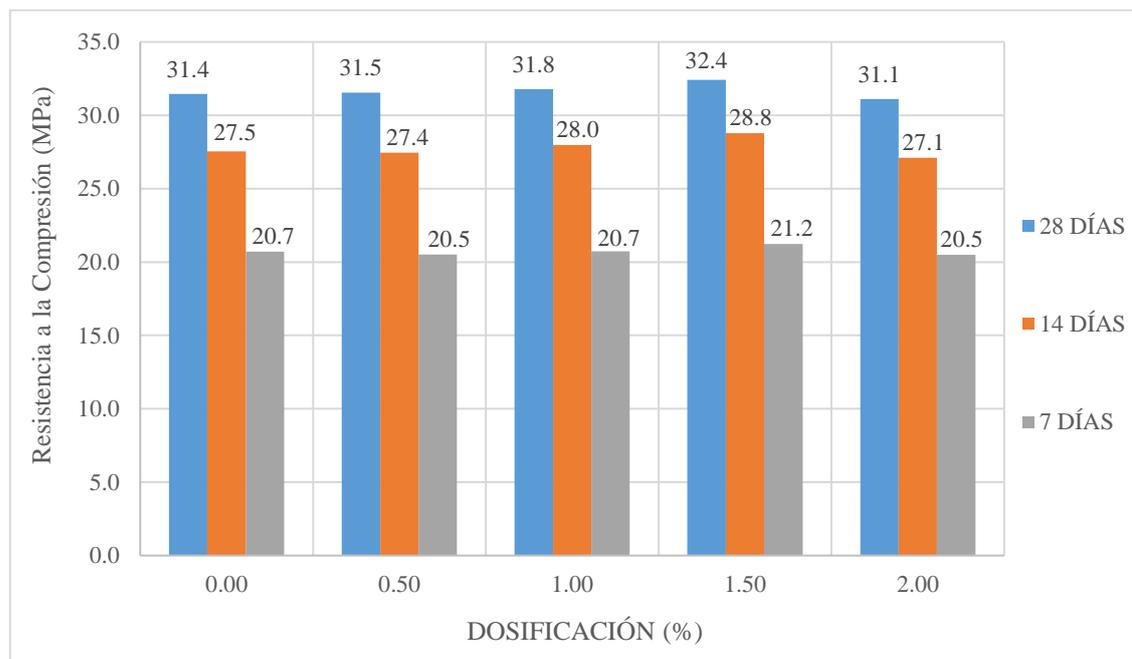


Nota. Adaptado de Vaseem y Balachandiran (2018).

En la figura 21 se observan los valores obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días para dosificaciones de 0.50%, 1%, 1.5%, 2% de PVA con autocurado y concreto patrón curado convencionalmente.

Figura 21

Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días



Nota. Adaptado de Vaseem y Balachandiran (2018).

Artículo 3: Roopakala et al. (2021)

Investigaron el impacto en la resistencia a la compresión al utilizar 1% de alcohol polivinílico (PVA) en relación al peso del cemento para el grado de concreto M30. Luego realizaron una comparación entre el concreto de curado automático con PVA y el concreto convencional con curado a base de agua, el diseño de mezcla se detalla en la tabla 13.

Tabla 13

Requerimiento de material por metro cubico de concreto de grado M30

Grado de hormigón	Cemento	Agregado Fino	Agregado grueso	W/C
M30	1	1.56	2.7	0.45

Nota. Adaptado de Roopakala et al. (2021).

En la tabla 14 se observan los valores obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días para una dosificación de 1% de PVA con autocurado y concreto patrón curado convencionalmente.

Tabla 14

Resistencia a la compresión a diferentes edades

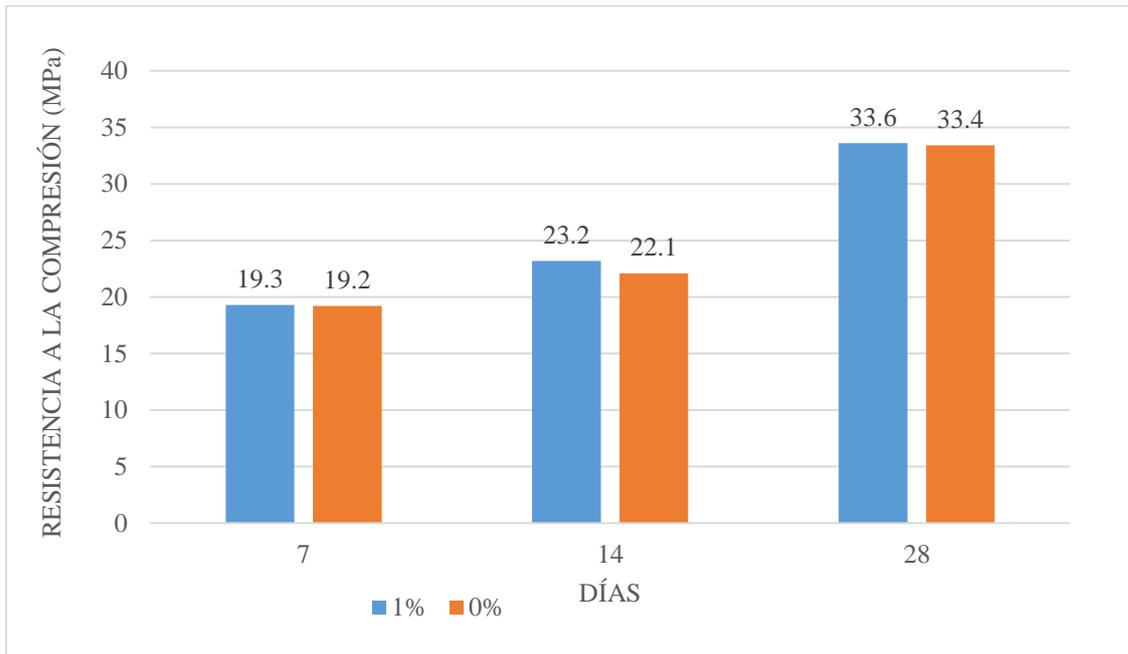
Días	Dosificación (%)	Resistencia a la Compresión (MPa)	f'c de diseño (%)
7	0	19.2	64.0
	1	19.3	64.3
14	0	22.1	73.7
	1	23.2	77.3
28	0	33.4	111.3
	1	33.6	112.0

Nota. Concreto patrón con curado convencional y concreto con 1% de PVA con autocurado. Adaptado de Roopakala et al. (2021).

Los valores de la tabla 14 se utilizaron para realizar el análisis en la figura 22.

Figura 22

Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días

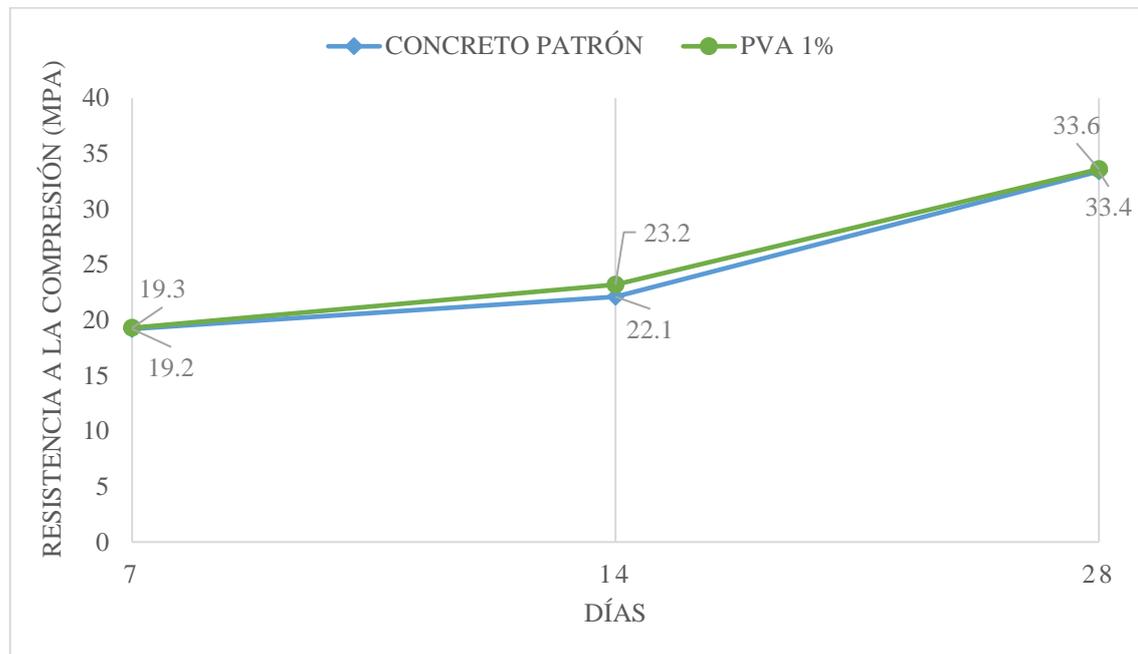


Nota. Adaptado de Roopakala et al. (2021).

En la figura 23 se presenta la variación los valores obtenidos de los ensayos de resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días para una dosificación de 1% de PVA con autocurado y concreto patrón curado convencionalmente.

Figura 23

Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días



Nota. Adaptado de Roopakala et al. (2021).

Artículo 4: Kushwaha y Parihar (2018)

Prepararon concreto autocurado mediante la incorporación de alcohol polivinílico en diferentes cantidades de estudio: 0,12%, 0,24%, 0,36% y 0,48%. El objetivo principal de su investigación fue analizar y comparar la resistencia a la compresión del concreto en tres periodos distintos de tiempo: a los 7, 14 y 28 días. Ver tabla 15.

Tipo de cemento: Para todo el desarrollo de la investigación se empleó cemento Portland puzolánico que se ajusta a los estándares establecidos en la norma IS: 269-1976. Se llevaron a cabo diversas pruebas para verificar que el cemento cumple con los requisitos especificados en las normas IS. Las características físicas del cemento fueron evaluadas según lo establecido en la norma IS: 4031-1968.

Agregado fino: Cuando el agregado atraviesa el tamiz de 4.75 mm, se clasifica como agregado fino. El objetivo del agregado fino es llenar los espacios vacíos presentes en el agregado grueso y, además, actuar como un elemento que mejora la trabajabilidad del material.

Agregado grueso: Cuando el agregado queda retenido en el tamiz de 4,75 mm, se considera como agregado grueso. A continuación, se presentan las características y propiedades asociadas con el agregado grueso.

Agua: El agua empleada en la elaboración de la mezcla es agua potable, fácilmente accesible en la localidad y exenta de impurezas orgánicas y sólidos suspendidos.

Aditivo superplastificante: Es un aditivo utilizado para reducir significativamente la cantidad de agua en las mezclas de concreto, lo que lo convierte en un aditivo reductor de agua de alto rango. Su incorporación a la mezcla, en una proporción de hasta el 2% del peso del cemento, ayuda a prevenir la segregación y el sangrado. La relación agua-cemento disminuye, lo que a su vez aumenta la resistencia del concreto. Además, la adición de AURA MIX-400, utilizada como superplastificante en este estudio, contribuye significativamente a mejorar la trabajabilidad del concreto.

Tabla 15

Resistencia a la compresión a diferentes edades

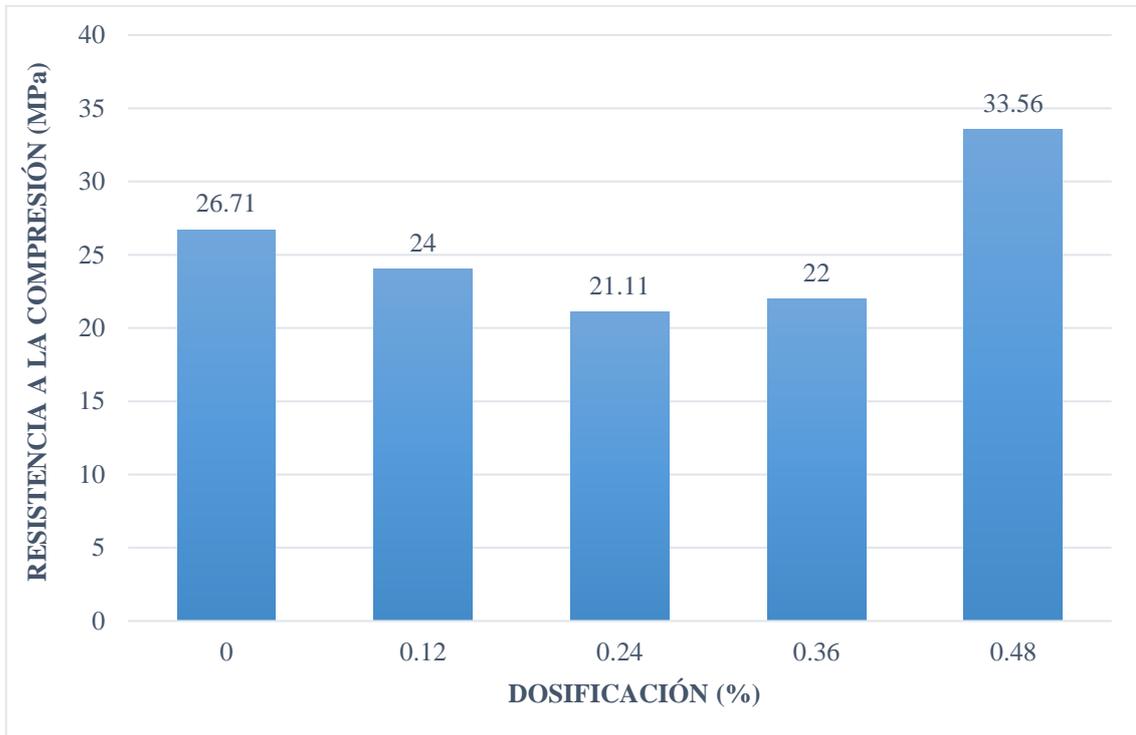
Días	Dosificación (%)	Resistencia a la Compresión (MPa)	f'c de diseño (%)
7	0	26.71	66.775
	0.12	24	60
	0.24	21.11	52.775
	0.36	22	55
	0.48	33.56	83.9
14	0	37.22	93.05
	0.12	35.26	88.15
	0.24	30.9	77.25
	0.36	32.45	81.125
	0.48	39.11	97.775
28	0	42.22	105.55
	0.12	42.37	105.925
	0.24	44.39	110.975
	0.36	42.18	105.45
	0.48	41.23	103.075

Nota. Concreto patrón con curado convencional y concreto con diferentes porcentajes de PVA con autocurado. Adaptado de Kushwaha y Parihar (2018).

Los valores de la tabla 15 se utilizaron para realizar el análisis en la figura 24.

Figura 24

Resistencia a la compresión a los 7 días para dosificaciones de PVA

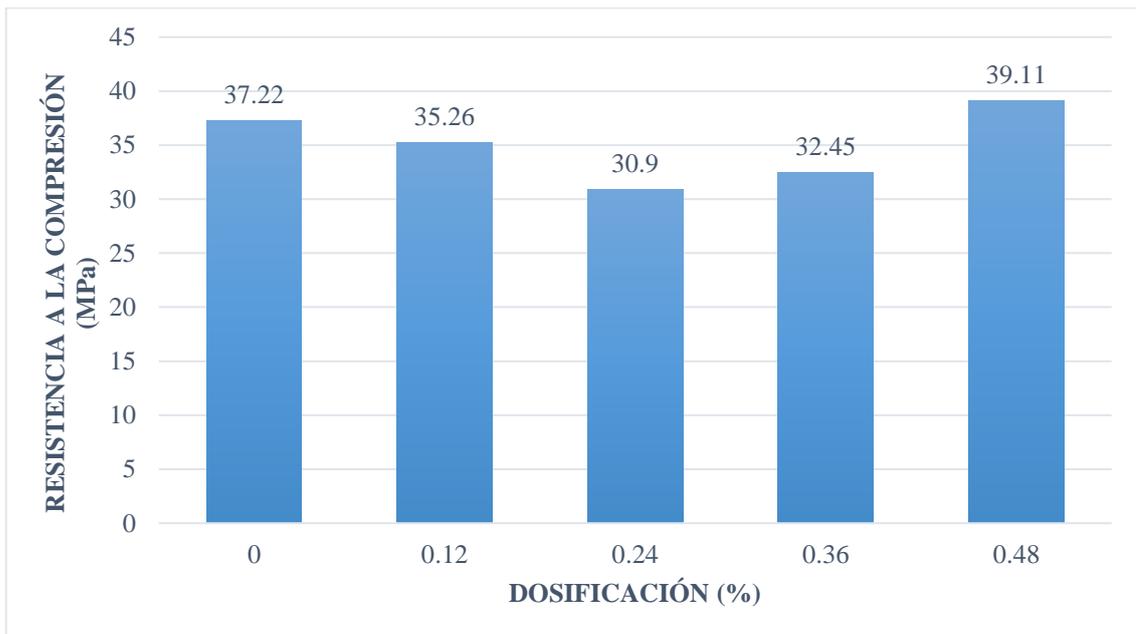


Nota. Adaptado de Kushwaha y Parihar (2018).

De los valores de la tabla 15 se realizó el análisis en la figura 25.

Figura 25

Resistencia a la Compresión a los 14 días

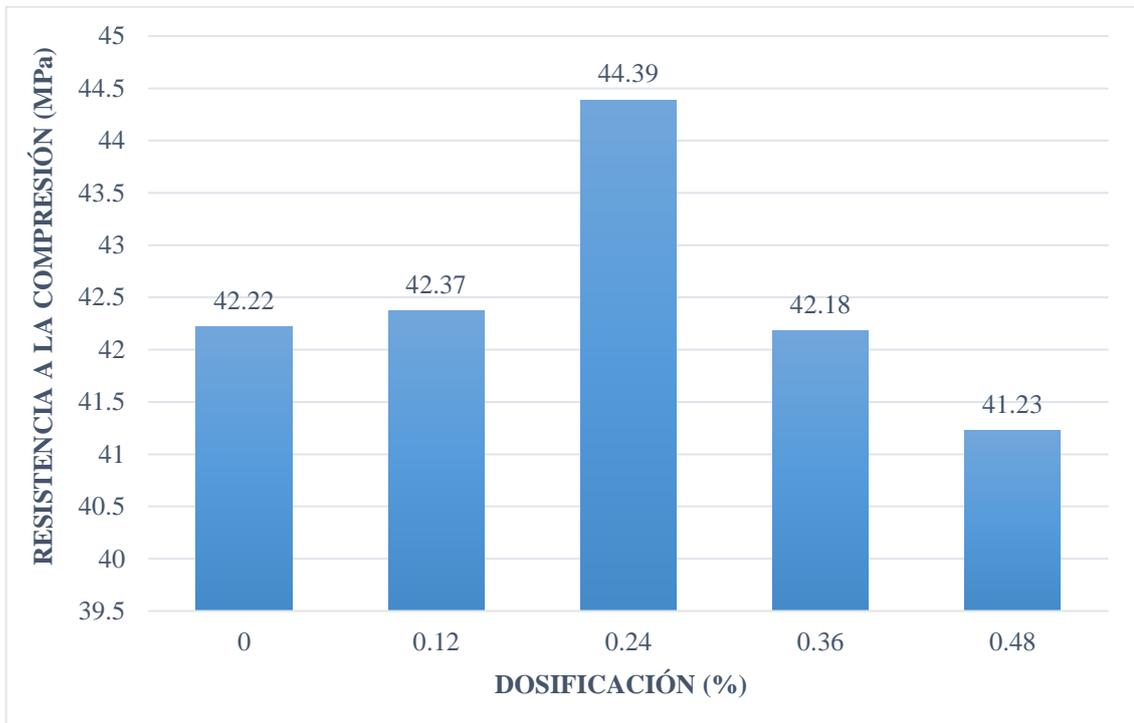


Nota. Adaptado de Kushwaha y Parihar (2018).

De los valores de la tabla 15 se realizó el análisis en la figura 26.

Figura 26

Resistencia a la compresión a los 28 días

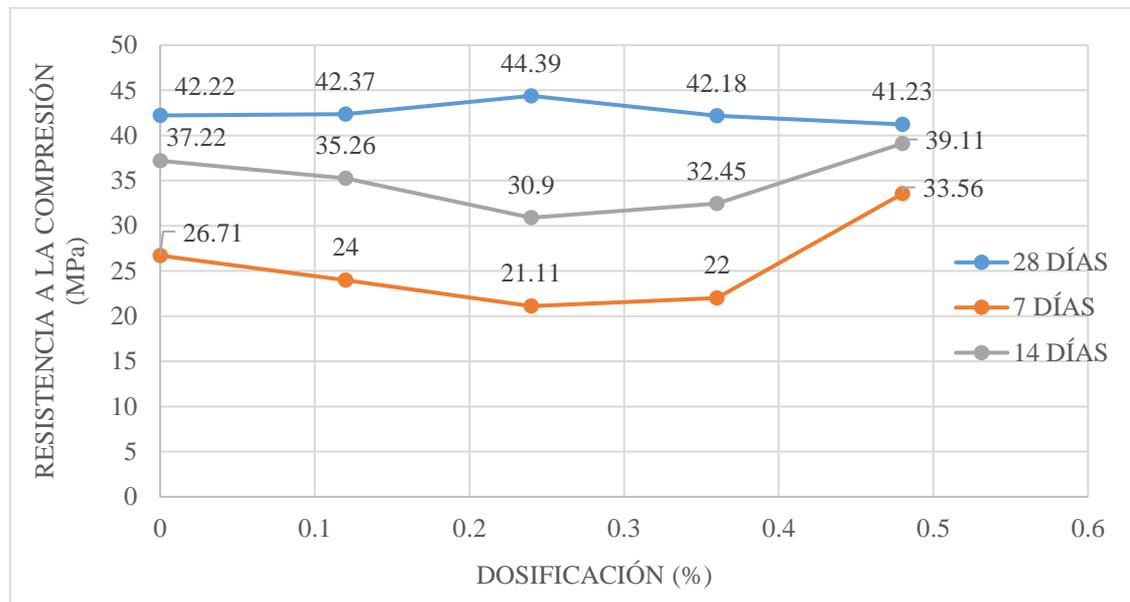


Nota. Adaptado de Kushwaha y Parihar (2018).

En la figura 27 se presenta un resumen comparativo de la resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días para dosificaciones de 0,12%, 0,24%, 0,36% y 0,48%. de PVA con autocurado y concreto patrón curado convencionalmente.

Figura 27

Resumen comparativo de la resistencia a la compresión



Nota. Adaptado de Kushwaha y Parihar (2018).

Artículo 5: Hardik et al. (2020)

Estudio el PVA como agente en diferentes dosis que abarcan el 0.5 %, 1 % y 1.5 %, el diseño de mezcla se detalla en la tabla 16.

Tabla 16

Combinación de proporciones de mezcla para grado M20

Grado de Mezcla	M20 (kg/m ³)
cemento	343.6
agregado fino	717.8
agregado grueso	1189.4
agua	189
w/c	0.55

Nota. Adaptado de Hardik et al. (2020).

En el trabajo de investigación, se tomó en cuenta mezclas con una relación agua/cemento (w/c) de 0.55 y se llevó un cabo de pruebas de resistencia a la compresión para analizar las propiedades del concreto endurecido con grado M20.

La determinación de la resistencia a la compresión se realizó mediante cubos de hormigón con dimensiones de 150x150x150 mm. Esta máquina se llevó a cabo utilizando un ensayo de compresión con una capacidad de 2000 KN.

Según el Bureau of Indian Standards, la resistencia a la compresión del concreto debe requerir como el parámetro fundamental para determinar todas las propiedades y analizar el comportamiento del material. Por esta razón, se le dio especial énfasis a esta prueba en el estudio, y la resistencia a la compresión del concreto fue evaluada a los 28 días después de su elaboración en condiciones de autocurado. Ver tabla 17.

Tabla 17

Resistencia a la compresión a los 28 días

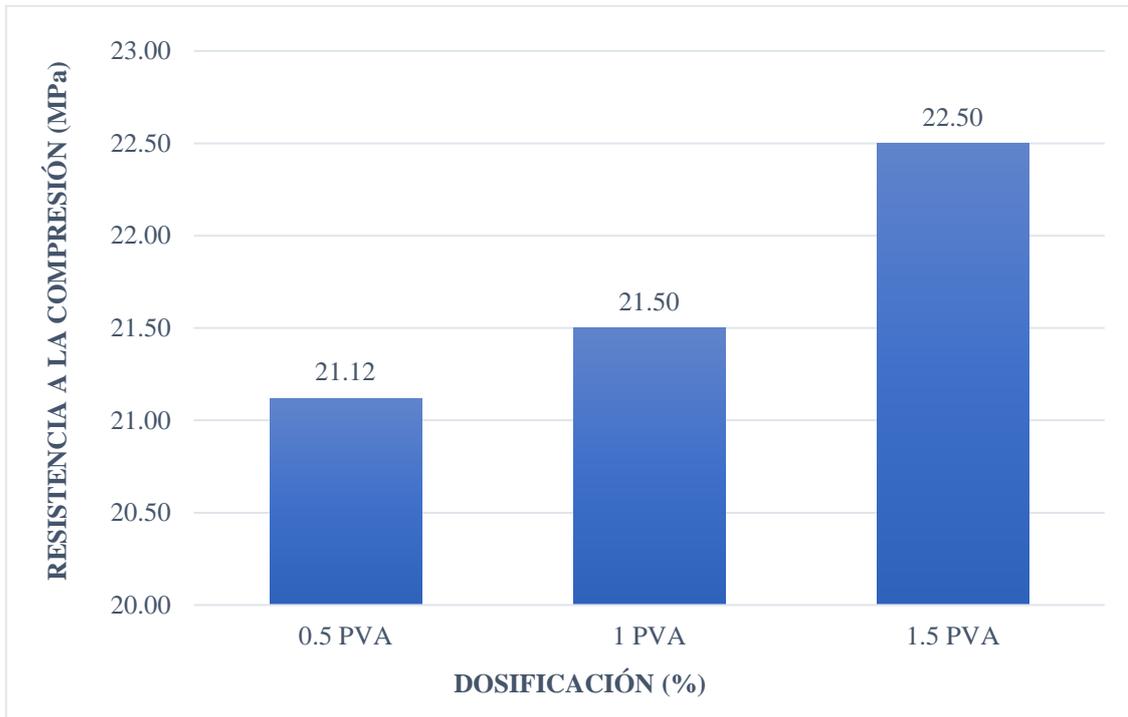
Dosificación (%)	Resistencia a la Compresión (MPa)	Porcentaje del $f'c$ de diseño (%)
0.5 PVA	21.12	105.6
1 PVA	21.50	107.5
1.5 PVA	22.50	112.5

Nota. Adaptado de Hardik et al. (2020).

De los valores de la tabla 17 se realizó el análisis en la figura 28.

Figura 28

Resistencia a la compresión a los 28 días



Nota. Adaptado de Hardik et al. (2020)

Artículo 6: Sastry y Kumar (2018)

Analizaron el efecto de los agentes de autocurado, como el Alcohol Polivinílico (PVA) en la mezcla de concreto de grado M25, que se transmitió como la mezcla de referencia, el diseño de mezcla se detalla en la tabla 18.

Tabla 18

Mezclar proporciones de hormigón de grado M25 para 1 metro cubico

cemento (kg)	agregado fino (kg)	agregado grueso (kg)	agua (lt)
399.12	679.78	1208.73	191.58

Nota. Adaptado de Sastry y Kumar (2018).

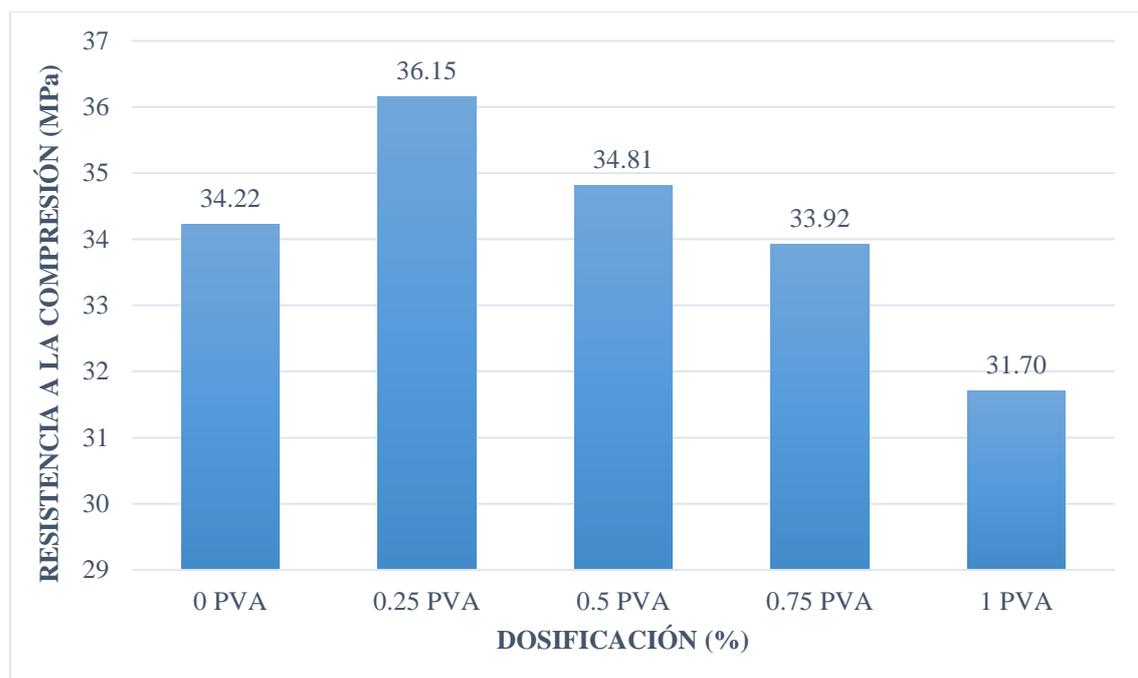
En la tabla 19 se observan los valores obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días para dosificaciones de 0.25, 0.5, 0.75, 1% de PVA en condiciones de autocurado y concreto patrón con curado convencional.

Tabla 19*Resistencia a la compresión para diferentes mezclas a los 28 días*

Mezcla	Dosificación (%)	Resistencia a la Compresión (MPa)	f'c de diseño (%)
M0	0 PVA	34.22	136.9
M9	0.25 PVA	36.15	144.6
M10	0.5 PVA	34.81	139.2
M11	0.75 PVA	33.92	135.7
M12	1 PVA	31.70	126.8

Nota. Adaptado de Sastry y Kumar (2018).

De los valores de la tabla 19 se realizó el análisis en la figura 29.

Figura 29*Resistencia a la compresión a los 28 días*

Nota. Adaptado de Sastry y Kumar (2018).

Objetivo 2: Determinar el porcentaje de polímero alcohol polivinílico en el hormigón flexible para aumentar la resistencia a la flexión.

La tabla 20 muestra el porcentaje de alcohol polivinílico y la relación a/c de los autores investigados respecto al objetivo 2.

Tabla 20*Artículos y tesis de resistencia a la flexión*

Ítem	Autor	Título	Relación a/c	Alcohol polivinílico (%)
Tesis 1	Castro, P.	Evaluación técnico económica del autocurado del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con alcohol polivinílico comparado con el proceso tradicional y aditivo curador	0.57	0.24, 0.48, 0.72 y 0.96
Artículo 1	Waleed A. Abbas, Ikbal N. Gorgis and Mahdi J. Hussien A. Mrs.	Compuesto de mortero de cemento de autocurado utilizando alcohol polivinilo	0.3	1
Artículo 3	Roopakala C. G, B. Shivaraju G.D, C. Mrs. Usha S. K V S Gopala	Estudio experimental sobre propiedades del hormigón autocurable incorporado con PEG y PVA	0.45	1
Artículo 6	krishna sastry , Putturu manoj kumar	Concreto de autocurado con diferentes agentes de autocurado.	0.48	0.25,0.5,0.75 y 1

Nota. Elaboración Propia.

Tesis 1: Castro (2022)

Evaluó la resistencia a la flexión del hormigón con la incorporación de alcohol polivinílico (PVA) en condiciones de autocurado. evaluó la resistencia a la flexión o módulo de rotura según la norma ASTM C78, se fabricaron un total de 72 probetas cilíndricas y 18 probetas prismáticas.

Diseñó un concreto con relación a/c de 0.57 con una resistencia de 210 kg/cm^2 y agregó diferentes porcentajes de alcohol polivinílico, incluyendo 0.24%, 0.48%, 0.72% y 0.96% del peso del cemento. Estos porcentajes se utilizaron para realizar comparaciones entre el patrón concreto curado de manera convencional y el concreto sin curar.

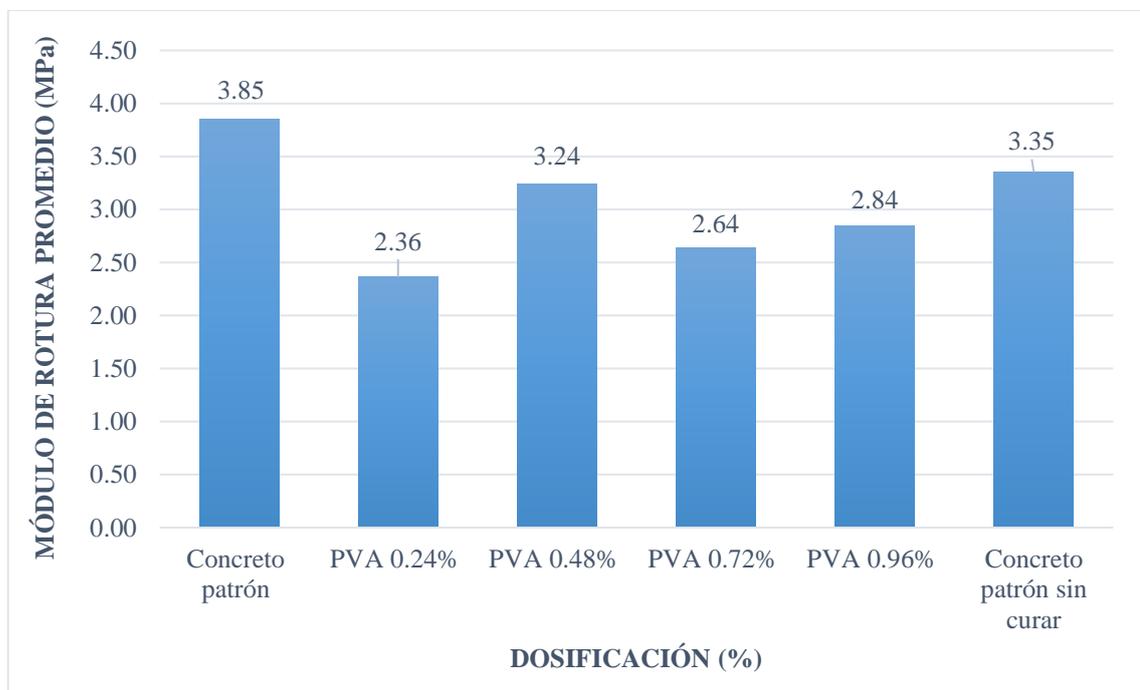
En la tabla 21 se observa los resultados de los ensayos de resistencia a la flexión a los 28 días del concreto patrón curado convencionalmente y con dosificaciones de PVA con autocurado.

Tabla 21*Resistencia a la flexión a los 28 días*

Dosificación (%)	Resistencia a la Flexión Promedio (MPa)	f'c de diseño (%)
Concreto patrón	3.85	18.7
PVA 0.24%	2.36	11.5
PVA 0.48%	3.24	15.7
PVA 0.72%	2.64	12.8
PVA 0.96%	2.84	13.8
Concreto patrón sin curar	3.35	16.3

Nota. Adaptado de Castro (2022).

En la figura 30 se presentan los valores obtenidos del ensayo de resistencia a la flexión a los 28 días para dosificaciones de 0.24%, 0.48%, 0.72% y 0.96% de PVA con autocurado, concreto patrón curado convencionalmente y concreto patrón sin curar.

Figura 30*Resultados de los ensayos de resistencia a la flexión a los 28 días**Nota.* Adaptado de Castro (2022).**Artículo 1:** Abbas et al. (2019)

Mezclaron PVA con agua una proporción del 1% en peso del cemento y aditivo superplastificante. Para realizar el ensayo de resistencia a la flexión se prepararon prismas de mortero (40 x 40 x 160 mm) y se obtuvo los siguientes resultados que se muestran en la tabla 22.

Tabla 22

Resultados de la resistencia a la flexión a los 28 días

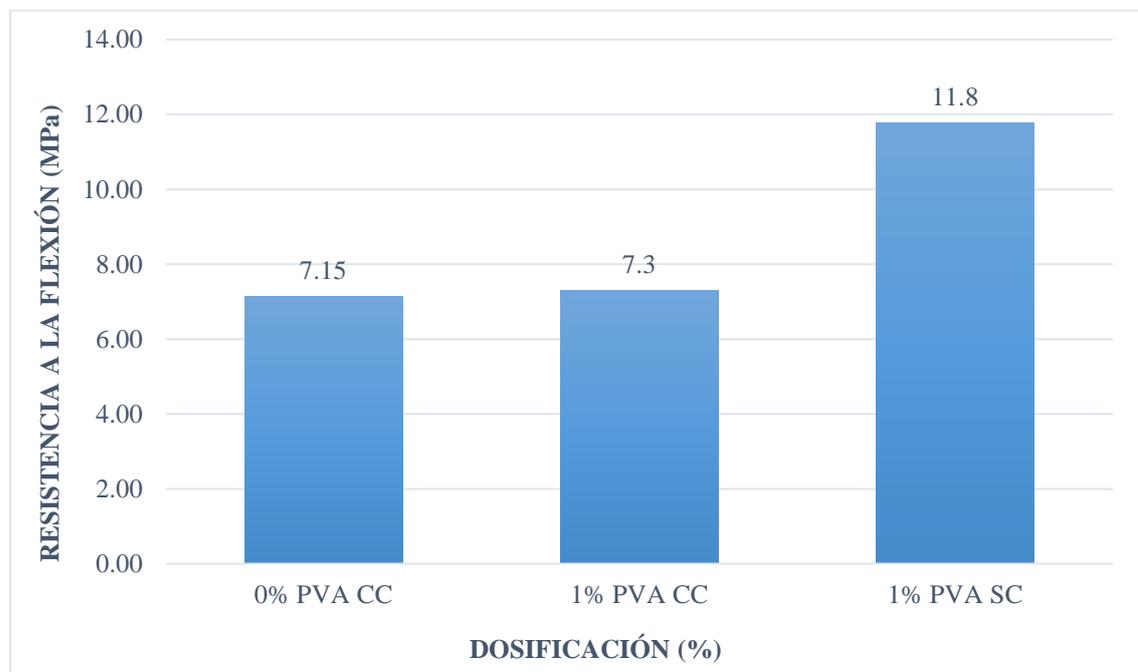
Dosificación	Resistencia a la Flexión (MPa)	f'c respecto al concreto patrón (%)
0% PVA	7.153	100%
1% PVA CC	7.3	102.1
1% PVA SC	11.8	161.4

Nota. Adaptado de Abbas et al. (2019).

Los resultados del estudio demostraron incrementos en la resistencia a la flexión para los morteros con PVA utilizado como agente de autocuración durante un período de 28 días en condiciones secas. Como se observó en la figura 31 para mezclas con 1% de PVA con autocurado (SC) y muestra patrón con curado convencional (CC).

Figura 31

Comparación de la resistencia a la flexión a los 28 días



Nota. Adaptado de Abbas et al. (2019).

Artículo 3: Roopakala et al. (2021)

Evaluaron cómo influye en la resistencia a la flexión, al variar el porcentaje de PVA en peso del cemento de 1 %, en el concreto de autocurado y se comparó con el concreto convencional curado mediante agua. En concretos de grado M30 y relación a/c de 0.45. Ver tabla 23.

Tabla 23

Resistencia a la flexión a diferentes edades

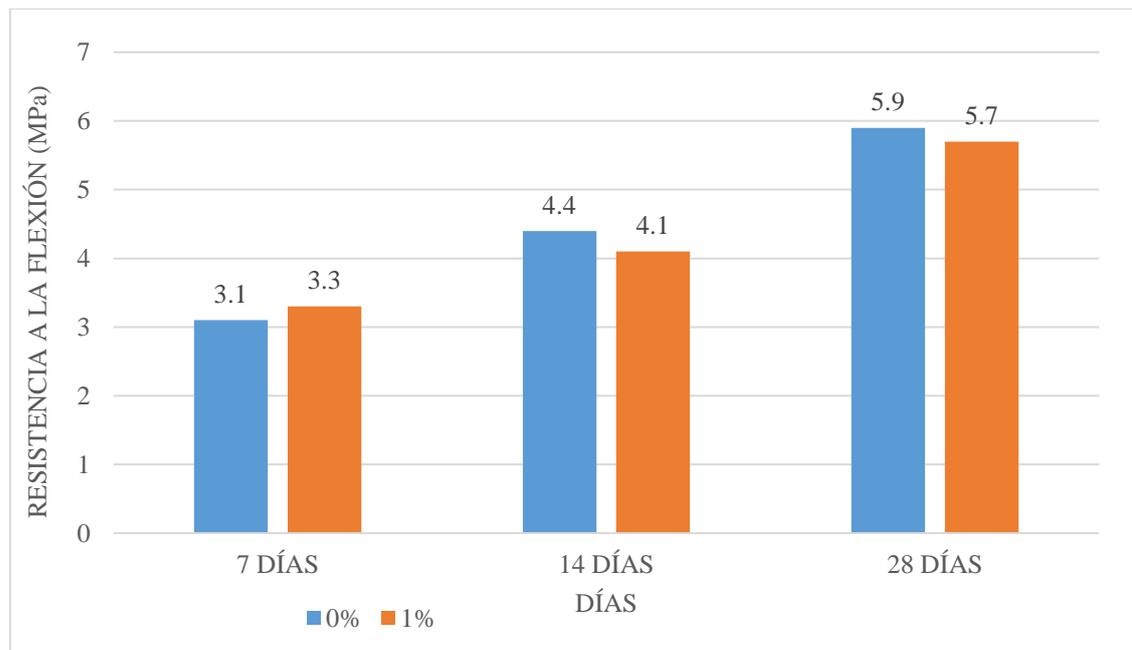
Días	Dosificación (%)	Resistencia a la Flexión (MPa)	f'c de diseño (%)
7	0	3.1	10.33
	1	3.3	11
14	0	4.4	14.67
	1	4.1	13.67
28	0	5.9	19.67
	1	5.7	19.00

Nota. Adaptado de Roopakala et al. (2021).

Los valores de la tabla 23 se utilizaron para realizar el análisis en la figura 32.

Figura 32

Desarrollo de la resistencia a la flexión a los 7,14 y 28 días

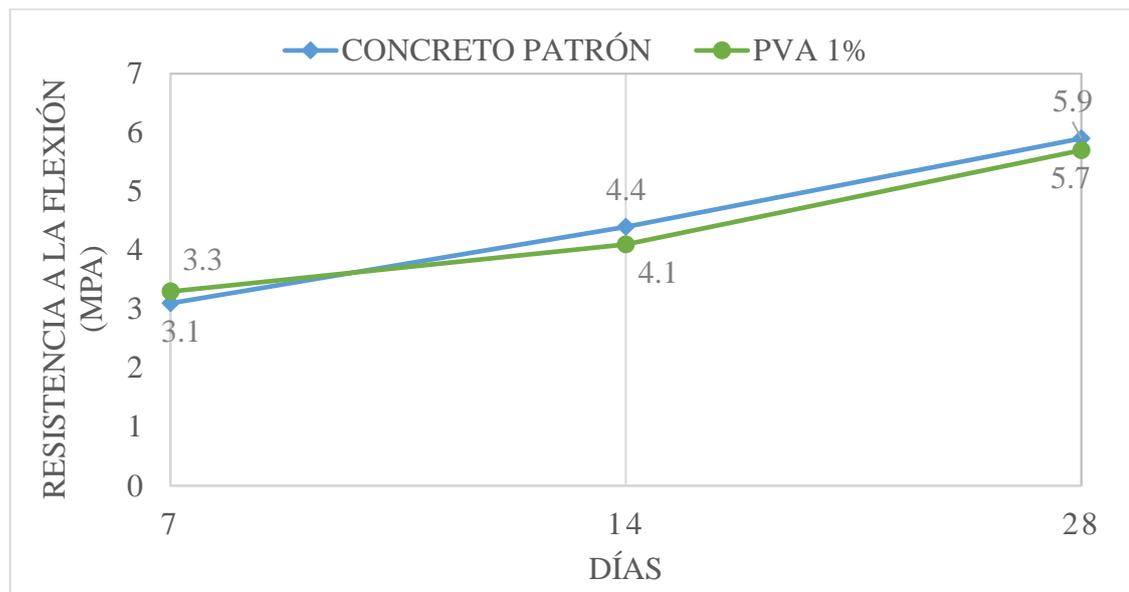


Nota. Adaptado de Roopakala et al. (2021).

En la figura 33 se presenta la variación de los valores obtenidos de los ensayos de resistencia a la flexión a los 7, 14 y 28 días para una dosificación de 1% de PVA con autocurado y concreto patrón curado convencionalmente.

Figura 33

Comparación de la resistencia a la flexión a distintas edades



Nota. Adaptado de Roopakala et al. (2021).

Artículo 6: Sastry y Kumar (2018)

Observaron el efecto que hace el alcohol polivinílico (PVA) en las propiedades de resistencia a la flexión y en la mezcla de concreto de grado M25 (mezcla de referencia) con una relación a/c de 0.48. En la tabla 24 se observa los resultados que obtuvieron en la resistencia a la flexión en el concreto patrón (M0) con curado convencional y concreto con dosificaciones de 0.25%, 0.5%, 0.75%, 1% de PVA con autocurado.

Tabla 24

Resistencia a la flexión a los 28 días

Mezcla	Dosificación (%)	Resistencia a la Flexión (MPa)	Porcentaje del f'c de diseño (%)
M0	0 PVA	3.02	12.1
M9	0.25 PVA	3.04	12.2
M10	0.5 PVA	2.86	11.4

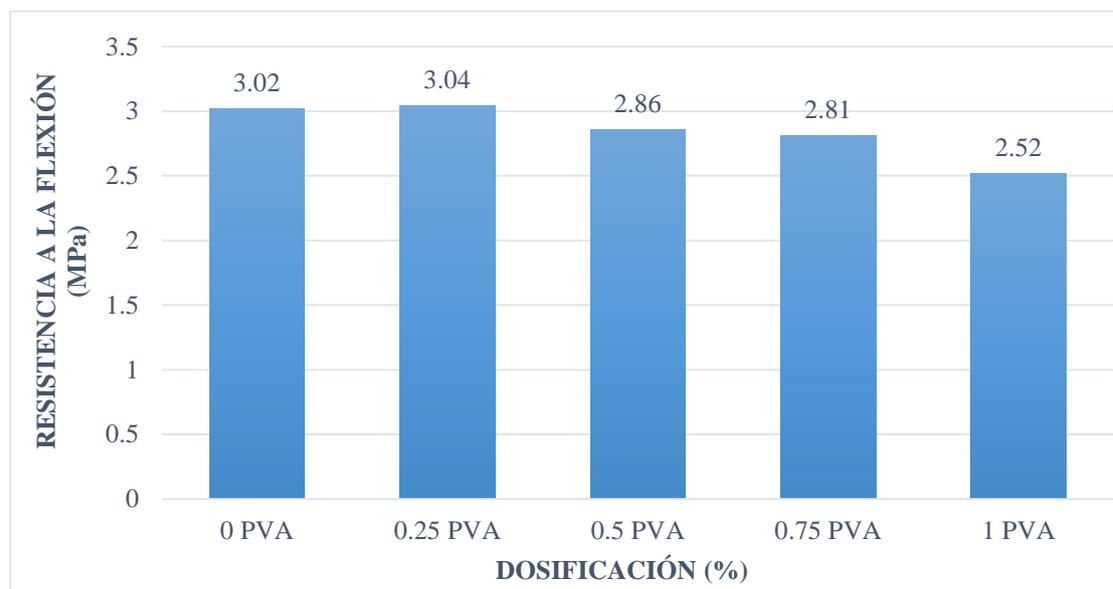
M11	0.75 PVA	2.81	11.2
M12	1 PVA	2.52	10.1

Nota. Adaptado de Sastry y Kumar (2018).

Los valores de la tabla 24 se utilizaron para realizar el análisis en la figura 34.

Figura 34

Resistencia a la flexión a los 28 días



Nota. Adaptado de Sastry y Kumar (2018).

Objetivo 3: Determinar el porcentaje de polímero alcohol polivinílico en el hormigón flexible para reducir el ancho de la fisura.

La tabla 25 muestra el porcentaje de fibras de alcohol polivinílico, PVA en solución acuosa y la relación a/c de los autores investigados respecto al objetivo 3.

Tabla 25

Artículos de reducción del ancho de la fisura

Ítem	Autor	Título	Relación a/c	Alcohol polivinílico (%)
Artículo 7	Jianhang Feng , Yilin Su, Chunxiang Qian	Efecto combinado de la fibra de PP, la fibra de PVA y las bacterias sobre la eficiencia de autosanación de las grietas tempranas en el hormigón	0.45	fibras 1.5% de fracción de volumen

Artículo 8	Prošek Z. Nežerka V. Plachý T. Bartoš M. Tesárek P.	El PVA aumenta la eficiencia de la autocuración inducida por bacterias en morteros de cemento	0.5	16% PVA/agua
Artículo 9	Chunyu Zhang, Meng Wang , Rentai Liu, Xiuhao Li, Jia Yan, Hongjian Du	Mejora de la eficiencia de auto-reparación del hormigón mediante gránulos multifuncionales y fibras de PVA	0.46	Fibra PVA 0.8%

Nota. Elaboración propia.

Artículo 7: Feng et al. (2019)

Estudiaron el efecto de la fibra de PVA en la capacidad de autocuración del concreto. Se obtuvo un ancho de grieta de 300-500 μm , y se evaluó cómo se comporta la autocuración autógena. En la tabla 26 se muestra los valores de las propiedades físicas de la fibra de PVA.

La mezcla contiene cemento Portland tipo II (CEM II 52,5N), arena estándar chino con un módulo de finura de 3,0 y una gradación que cumple con la norma ISO 679, y agua del grifo en una proporción de 1:2 :0,45. Ver tabla 27.

Tabla 26

Propiedades físicas de la fibra de PVA

Tipo de Fibra	Resistencia a Tracción/ (MPa)	Módulo de Young/ (GPa)	Máxima deformación a tracción (%)	Densidad /(g/cm ³)	Diámetro /(μm)
PVA	1419	37.4	7	1.29	15

Nota. Adaptado de Feng et al. (2019).

Tabla 27*Composición de las mezclas*

Mezcla	Cemento (g)	Arena (g)	Agua (g)	Fracción de Volumen de Fibra de PVA (%)
Mortero con fibra PVA	600	1200	270	1.5 (6 mm)
Mortero como control	600	1200	270	0

Nota. Adaptado de Feng et al. (2019).

Las mezclas frescas se introdujeron en moldes de dimensiones de 40x40x160 mm y se sometieron a una compactación adecuada mediante una mesa vibratoria. Inmediatamente después de la preparación de la mezcla, se cubrieron los moldes con film plástico con el fin de evitar la pérdida de humedad de la mezcla recién preparada.

Tras un período de 24 horas de curado, se procedió a retirar las muestras de los moldes y se colocaron en una sala de curado estándar, donde se mantuvieron a una temperatura constante de 20 ± 1 °C y una humedad relativa del 95%. Esto se hizo para dar continuidad al proceso de curado.

Se indujeron fisuras con dimensiones controladas en las muestras mediante una prueba de flexión utilizando una máquina de prueba de esfuerzo constante automática (modelo DYB-300B de Nanjing Luda Measurement & Control Co., Ltd., China), que cumplía con una clase de precisión de 1.0.

Luego, cada conjunto de tres muestras con fisuras, tratadas con la misma mezcla, se sumergió en 1500 ml de agua desionizada en una caja de plástico transparente con dimensiones de 15 cm x 15 cm x 17 cm, orientada verticalmente. La superficie inferior de cada muestra medía 40 mm x 40 mm (con una altura de 160 mm). Este proceso se llevó a cabo a una temperatura constante de 25 ± 2 °C.

Las muestras se retiraron del agua de forma periódica cada siete días y se mantuvieron a una temperatura de 25 °C y una humedad relativa del 60% durante un período de tres horas. En este intervalo, se procedió a capturar imágenes de la superficie de las fisuras que estaban en contacto con el agua empleando un microscopio estereoscópico. Para obtener un conjunto representativo de imágenes, se tomaron fotografías desde 3 a 4 posiciones distribuidas de manera uniforme a lo largo de la longitud de cada muestra.

Luego, calcularon el área de la superficie de la fisura como un porcentaje con respecto a la sección transversal total de la muestra a los 7 días. Ver tabla 28.

Tabla 28

Ratio de área reparada a los 7 días después de realizada la grieta

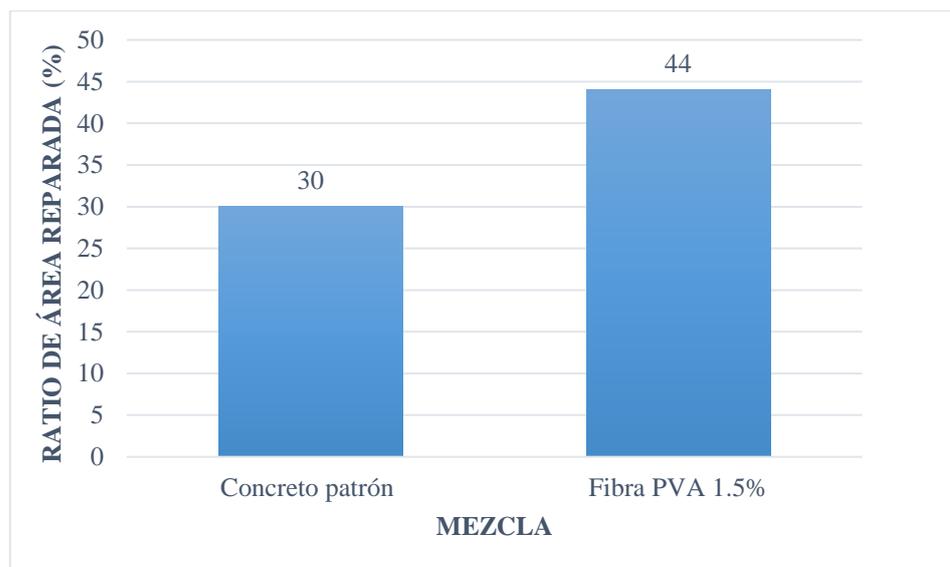
Dosificación	Ratio de área reparada (%)
Concreto patrón	30
Fibra PVA 1.5%	44

Nota. Adaptado de Feng et al. (2019).

Los valores de la tabla 28 se utilizaron para realizar el análisis en la figura 35.

Figura 35

Ratio de área reparada a los 7 días



Nota. Adaptado de Feng et al. (2019).

En la tabla 29 se muestran los valores del área de la superficie de la fisura como un porcentaje con respecto a la sección transversal total de la muestra a los 28 días.

Tabla 29

Ratio de área reparada a los 28 días

Dosificación (%)	Ratio de área reparada (%)
------------------	----------------------------

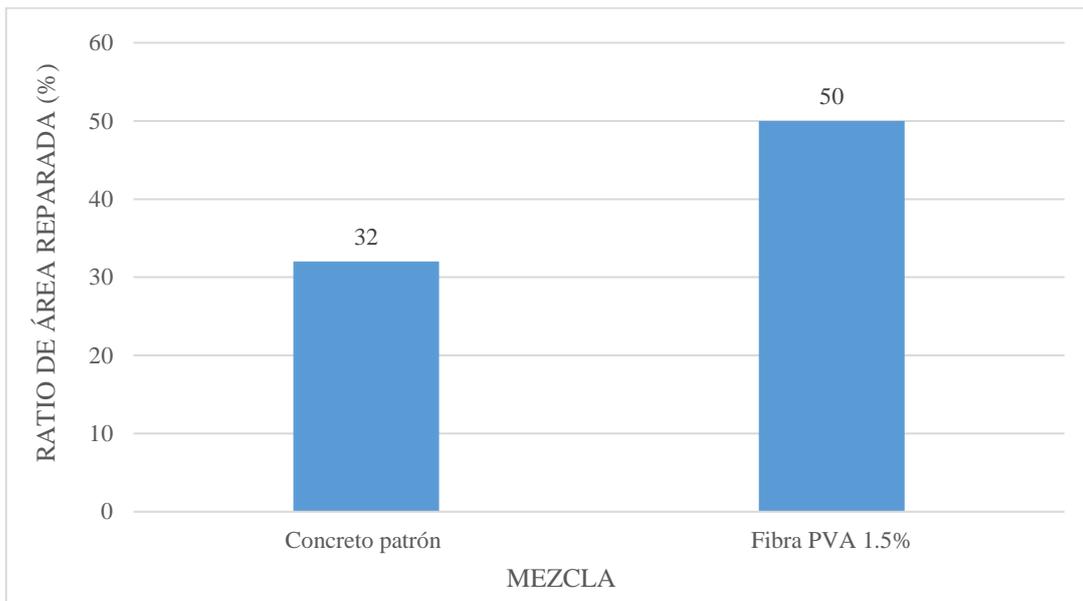
Concreto patrón	32
Fibra PVA 1.5%	50

Nota. Adaptado de Feng et al. (2019).

Los valores de la tabla 29 se utilizaron para realizar el análisis en la figura 36.

Figura 36

Ratio de área reparada a los 28 días



Nota. Adaptado de Feng et al. (2019).

Artículo 8: Prošek et al. (2022)

Estudiaron las limitaciones asociadas con la protección convencional de bacterias mediante la incorporación de alcohol polivinílico (PVA) impregnado con esporas de *Bacillus pseudofirmus* y nutrientes directamente en el agua de mezcla al preparar los morteros de cemento. Las muestras de mortero endurecido se sometieron a fisuración y se analizaron utilizando diversas técnicas como microscopía, detección de resonancia, microtomografía de rayos X (μ -CT) y pruebas mecánicas destructivas para evaluar la velocidad y eficiencia de cicatrización. Se prepararon cuatro grupos distintos de morteros, cada uno con seis especímenes de $40 \times 40 \times 160$ mm. Se mezcló cemento Portland ordinario (PC) CEM I/42.5R (EN 197-1:2001) con arena de pozo sílicea (0-4mm) en una proporción en masa de 3:7. Ver tabla 30. La mezcla de referencia (Ref.) no contiene ni solución de bacterias ni solución de PVA.

Se creó un grupo de control de muestras (PVA) que contenían la solución de PVA, pero sin bacterias. Es relevante destacar que el 10% del agua de mezcla, que contiene PVA, debe agregarse a la mezcla de mortero fresco, que ya contiene el 90% restante de agua de mezcla pura; invertir este enfoque resultaría en una alta porosidad y una cobertura excesiva de los granos de Clinker con PVA.

Tabla 30

Composición de las mezclas de mortero estudiadas

Mezcla	Cemento Portland (gr)	Arena (0-4mm)	Agua (gr)	Solución de PVA al 16% (PVA/agua)
Mortero patrón	480	1120	268.8	-
Mortero con 16% PVA/Agua	480	1120	243.6	30 g (4.8/25.2)

Nota. Adaptado de Prošek et al. (2022).

Los especímenes fueron curados durante 28 días en un baño de agua a 20°C. Posteriormente, se sometió a una prueba de flexión de tres puntos a una velocidad controlada de liberación de la deformación elástica. Durante esta prueba, se descubrió un cierre parcial de las grietas, con promedios de 0,23 mm, 0,19 mm, 0,23 mm y 0,22 mm para los especímenes Ref. y PVA. La formación y apertura de las grietas se monitorearon en tiempo real mediante el registro de imágenes a nivel de subpíxeles. Todos los especímenes se reforzaron con alambres de acero de 1,4 mm de diámetro para evitar la pérdida de estabilidad y la ruptura completa.

Luego de la fractura, los especímenes se sometieron a un proceso de curado en un baño de agua mantenido a una temperatura de 18–22 °C durante un período de 180 días. Para evitar que las grietas se abrieran o cerraran debido a la influencia de la gravedad, los especímenes se dispusieron de manera lateral, en una orientación paralela a la dirección de las grietas.

Durante este proceso de curado, observaron que los anchos de las fisuras experimentaron una reducción de aproximadamente un 40% en comparación con los valores iniciales que oscilaban entre 120-200 µm, tanto en los especímenes de referencia como en los tratados con PVA.

Para evaluar la evolución en el ancho de las grietas durante el proceso de reparación, midieron en un punto ubicado a 7 mm de la apertura de la fisura. Este punto era crucial

en el proceso de remediación, ya que el ancho de la grieta superaba los 50 μm en esta ubicación, lo que indicaba una situación crítica para la auto-reparación.

Emplearon un microscopio óptico estereoscópico de la marca ZEISS Axio Zoom V16, para examinar las grietas inmediatamente después de su generación y para evaluar el proceso de recuperación a los 180 días. Ver tabla 31.

Tabla 31

Reducción de ancho de grieta a los 180 días

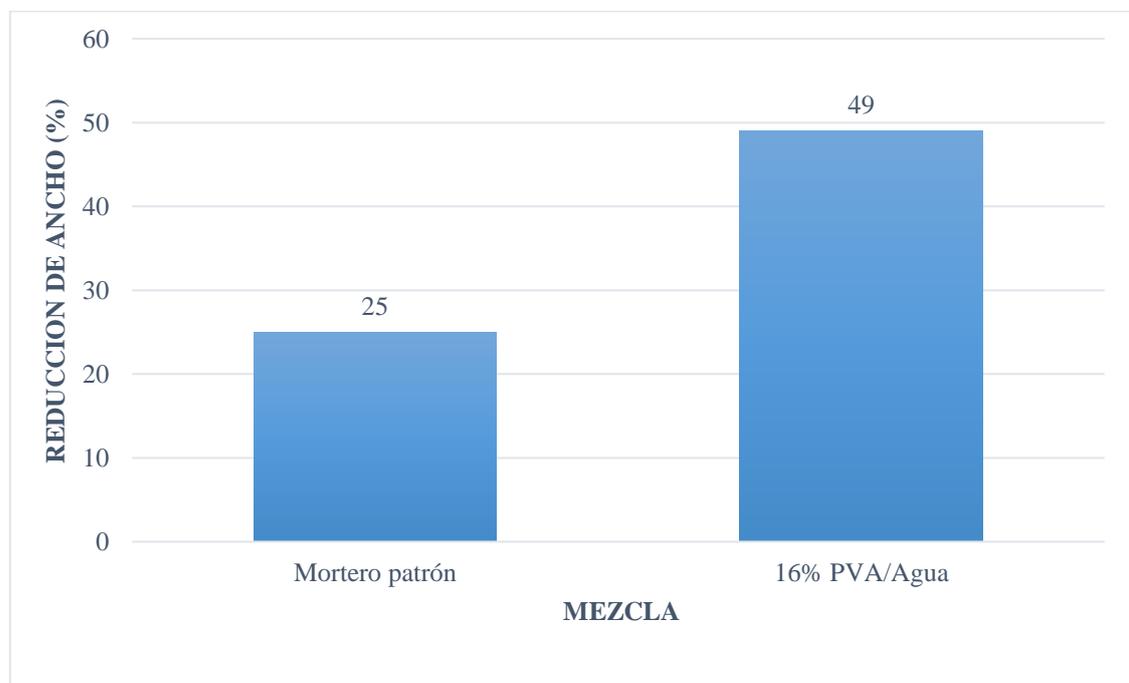
Mezcla	Reducción de ancho (%)
Mortero patrón	25
16% PVA/Agua	49

Nota. Adaptado de Prošek et al. (2022).

Los valores de la tabla 31 se utilizaron para realizar el análisis en la figura 37.

Figura 37

Reducción de ancho de grieta a los 180 días



Nota. Adaptado de Prošek et al. (2022).

Artículo 9: Zhang et al. (2023)

Prepararon las muestras de auto-reparación, empleando cemento Portland (PO 42.5), ceniza volante de alta calidad, arena de cuarzo, agua y un superplastificante. Se seleccionaron proporciones de mezcla que incluían el grupo de control y muestras con fibra de PVA para evaluar su efecto en la auto-reparación. Ver tabla 32.

Para analizar el cierre de las grietas en la superficie bajo diferentes condiciones de curado, se utilizaron muestras cilíndricas de $\phi 50 \times 25$ mm.

Los materiales en polvo se pesaron y se mezclaron en una olla durante 2 minutos. Luego, se añadió la mezcla al agua y se agitó durante otros 2 minutos. Posteriormente, se incorporó la fibra de PVA, mezclándolos durante 3 minutos. El compuesto resultante se vertió en moldes preparados para crear las muestras de prueba. Después de 24 horas, se desmoldaron y se sometieron a un proceso de curado bajo condiciones estándar (20 °C y 95% de humedad).

Tabla 32

Contenido de las mezclas

ID de Mezcla	Cemento (kg/m ³)	Agua (kg/m ³)	Superplastificante (kg/m ³)	Fibra de PVA (%)
S-9	650	300	1.5	0
S-11	650	300	1.5	0.8

Nota. Adaptado de Zhang et al. (2023).

En la tabla 33 se muestra el ID de la muestra de fibra de PVA seleccionada y el ID de la Mezcla.

Tabla 33

ID de mezcla para análisis de auto-reparación

ID de muestra seleccionada	Descripción de la mezcla	Mezcla Original ID	Fibra PVA (%)
S-F-3	Muestras con fibra PVA	S-11	0.8

Nota. Adaptado de Zhang et al. (2023).

Después de 56 días de curado estándar, la muestra alcanzó la completa hidratación. Para evaluar cómo afectaba el cierre de las grietas en la superficie, se indujo una grieta

penetrante en las muestras mediante la aplicación de una carga controlada. Se emplearon abrazaderas de manguera para regular el ancho de la grieta.

Las muestras dañadas previamente se sometieron a diferentes condiciones de curado (a 20 ± 2 °C) hasta el momento de las pruebas, las cuales incluyeron el uso de agua desionizada. Se observó el efecto de cierre de las grietas en las muestras de auto-reparación que se habían mantenido bajo diversas condiciones de curado durante 3, 7, 14, 21 y 28 días.

Es importante destacar que las muestras de auto-reparación demostraron la capacidad de reparar grietas de hasta 500 μm de ancho.

En la tabla 34 se muestran los valores del ratio de área reparada como un porcentaje con respecto a la sección transversal total de la muestra a los 7 días.

Tabla 34

Ratio de área reparada a los 7 días después de realizada la grieta

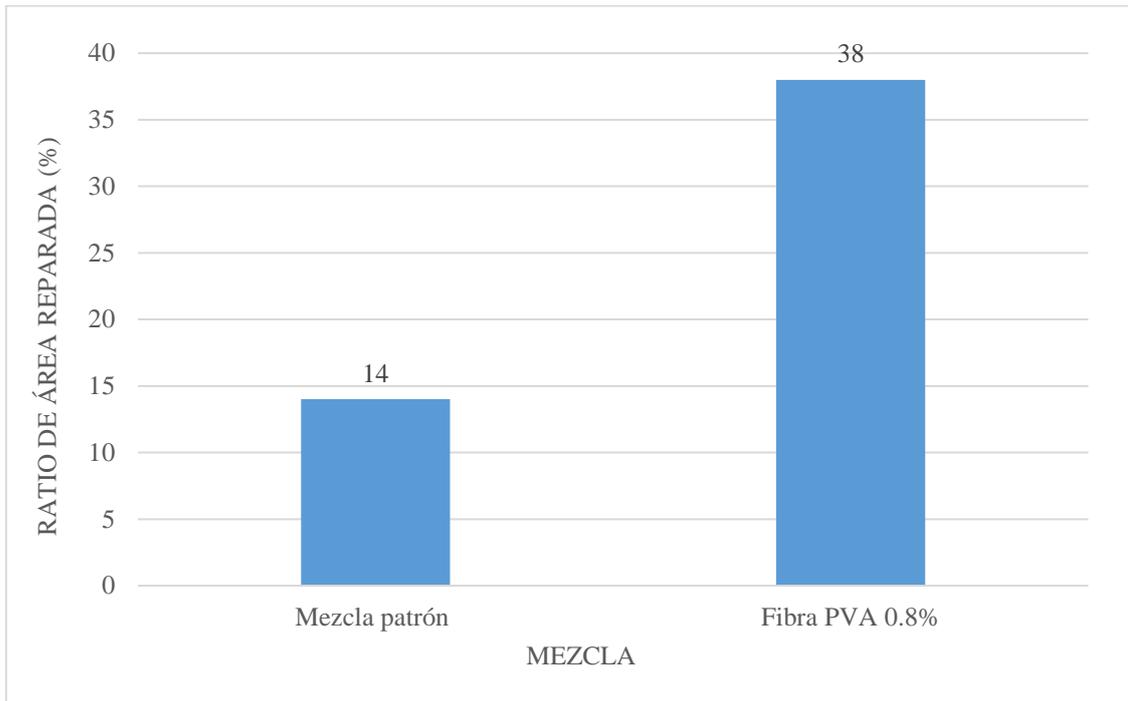
Dosificación	Ratio de área reparada (%)
Mezcla patrón	14
Fibra PVA 0.8%	38

Nota. Adaptado de Zhang et al. (2023).

Los valores de la tabla 34 se utilizaron para realizar el análisis en la figura 38.

Figura 38

Reducción de ancho de grieta a los 7 días



Nota. Adaptado de Zhang et al. (2023).

En la tabla 35 se muestran los valores del ratio de área reparada como un porcentaje con respecto a la sección transversal total de la muestra a los 28 días.

Tabla 35

Ratio de área reparada a los 28 días después de realizada la grieta

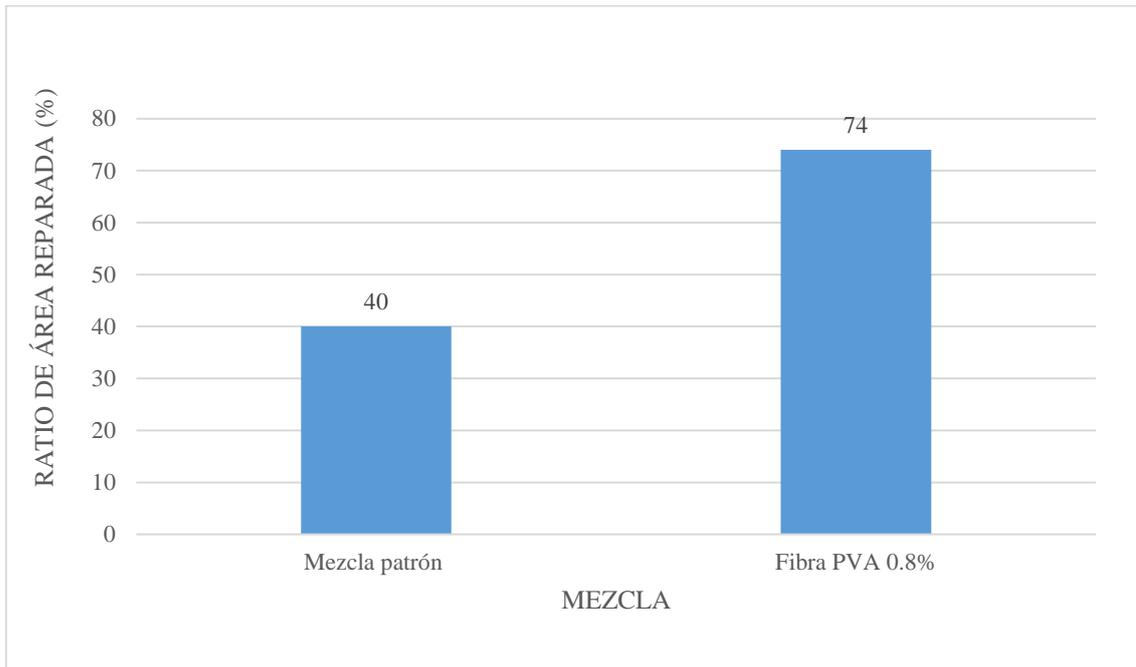
Dosificación (%)	Ratio de área reparada (%)
Mezcla patrón	40
Fibra PVA 0.8%	74

Nota. Adaptado de Zhang et al. (2023).

Los valores de la tabla 35 se utilizaron para realizar el análisis en la figura 39.

Figura 39

Reducción de ancho de grieta a los 28 días



Nota. Adaptado de Zhang et al. (2023).

Objetivo 4: Determinar el porcentaje de polímero alcohol polivinílico en el hormigón flexible para aumentar la resistencia a la tracción.

La tabla 36 muestra el porcentaje de alcohol polivinílico y la relación a/c de los autores investigados respecto al objetivo 4.

Tabla 36

Artículos de resistencia a la tracción

ítem	Autor	Título	Relación a/c	Alcohol polivinílico (%)
Artículo 10	Anke Vamsi Krishna, K.Mohammed Rasheed.	Análisis eficaz del proceso de curado del hormigón mediante alcohol polivinílico y polietilenglicol	-	1, 2 y 3

Artículo 1	Waleed A. Abbas, Iqbal N. Gorgis and Mahdi J. Hussien	Compuesto de mortero de cemento de autocurado utilizando alcohol polivinilo	0.3	1
Artículo 3	A. Mrs. Roopakala C. G, B. Shivaraju G.D, C. Mrs. Usha S.	Estudio experimental sobre propiedades del hormigón autocurable incorporado con PEG y PVA	0.45	1
Artículo 6	K V S Gopala krishna sastry , Putturu manoj kumar	Concreto de autocurado con diferentes agentes de autocurado.	0.48	0.25,0.5,0.75 y 1
Artículo 2	Vaseem Akram.N, Balachandiran.P	Estudio experimental del concreto de autotratamiento utilizando polivinilo alcohol	0.45	0.5, 1, 1.5 y 2

Nota. Elaboración propia.

Artículo 1: Abbas et al. (2019)

Investigaron el impacto del efecto de auto-reparación en algunas propiedades mecánicas al incorporar una solución de PVA a la relación agua-cemento (*a/c*) con condiciones variables de curado. El PVA se disolvió en agua al 1% en peso del cemento. Se observó que el PVA podría actuar como agente de autocuración al incrementar la resistencia en comparación con el curado convencional. Se evaluó la resistencia a la tracción de los morteros de cemento con PVA como agente de auto-reparación en condiciones secas durante un periodo de 28 días. Se preparó probetas con forma de hueso para la prueba de tracción directa según la Norma Británica de 1985.

En la tabla 37 se observa los valores obtenidos del ensayo de resistencia a la tracción de la mezcla con 1% de PVA con autocurado (SC) y curado convencional (CC) y muestra patrón sin adición.

Tabla 37

Resultados de la resistencia a la tracción a los 28 días

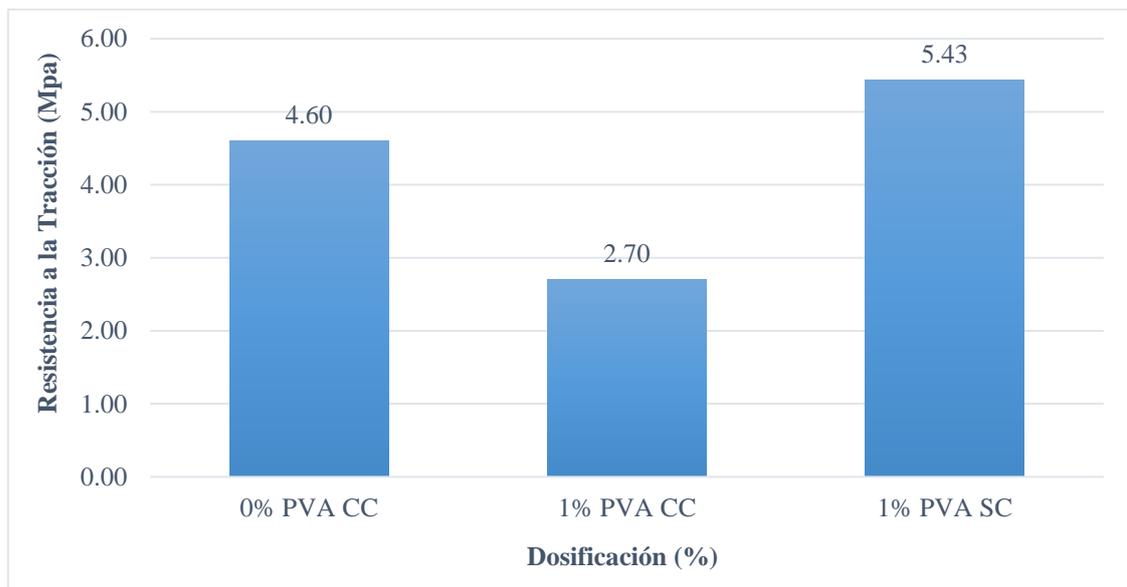
Dosificación	Resistencia a la tracción (MPa)
0% PVA CC	4.60
1% PVA CC	2.70
1% PVA SC	5.43

Nota. Adaptado de Abbas et al. (2019).

Los valores de la tabla 37 se utilizaron para realizar el análisis en la figura 40.

Figura 40

Comparación de la resistencia a la tracción a los 28 días



Nota. Adaptado de Abbas et al. (2019).

Artículo 2: Vaseem y Balachandiran (2018)

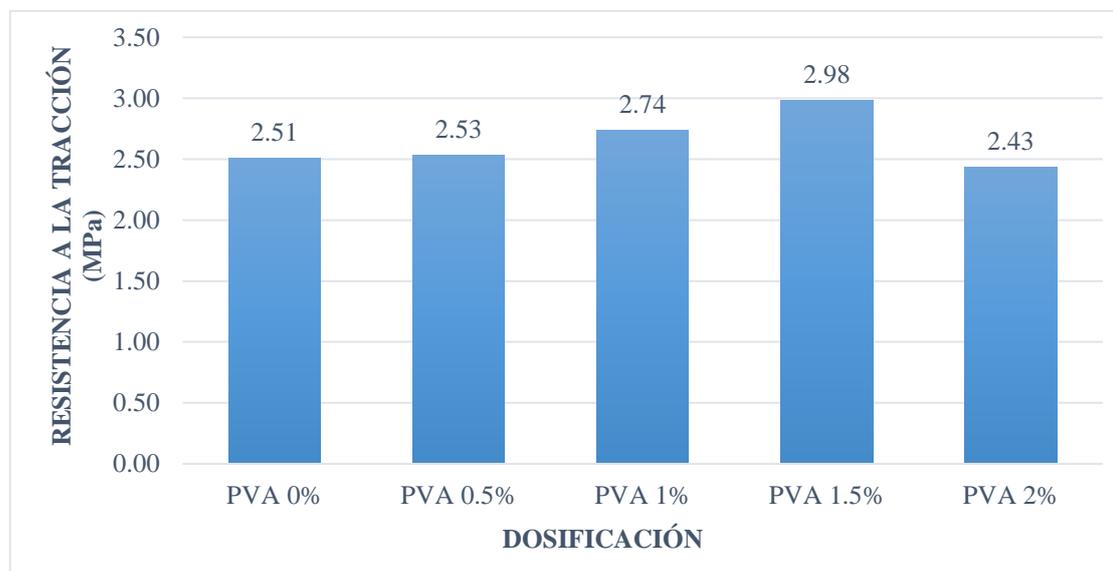
El hormigón autocurable que utilizaron tenía una relación agua/cemento (a/c) de 0,45 e incluía alcohol polivinílico en cantidades variables (0,5%, 1%, 1,5% y 2%). Se sometieron a ensayos de resistencia a la tracción cubos de 150 x 150 x 150 mm y cilindros de 150 x 300 mm. El agente de autocurado le añadieron a muestras en dosis de 0%, 0,5%, 1%, 1,5% y 2% de PVA en peso de cemento. La tabla 38 muestra los resultados después de 7 días tanto para el curado en agua a temperatura ambiente como para el curado en circunstancias normales. Las pruebas de resistencia a la tracción se realizaron con un aparato de ensayo de compresión universal de 400 toneladas.

Tabla 38*Resultados de resistencia a la tracción a los 7 días*

Dosificación	Curado	Resistencia a la Tracción (MPa)	Porcentaje del f'c de diseño (%)
PVA 0%	Convencional	2.51	8.4
PVA 0.5%	SC	2.53	8.4
PVA 1%	SC	2.74	9.1
PVA 1.5%	SC	2.98	9.9
PVA 2%	SC	2.43	8.1

Nota. Curado convencional (CC) y autocurado (SC). Adaptado de Vaseem y Balachandiran (2018).

Los valores de la tabla 38 se utilizaron para realizar el análisis en la figura 41.

Figura 41*Resistencia a la tracción a los 7 días*

Nota. Adaptado de Vaseem y Balachandiran (2018).

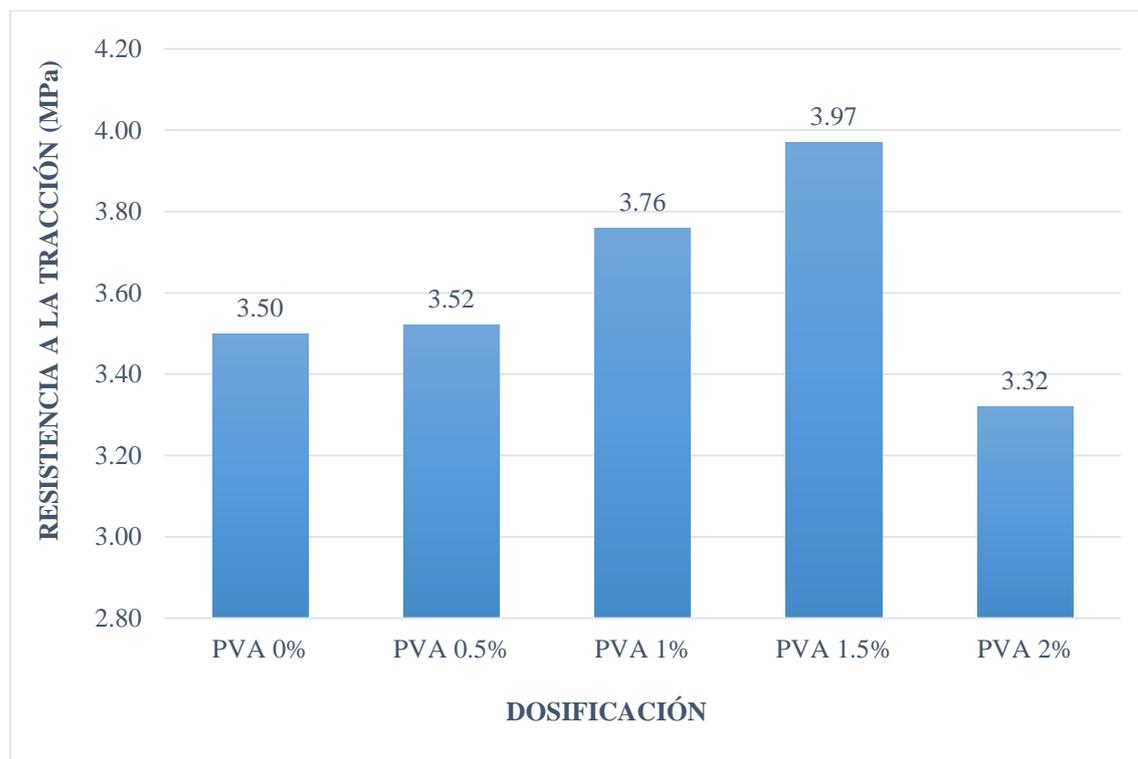
En la tabla 39 se observa los resultados de los ensayos de resistencia a la tracción a los 28 días con curado convencional (CC) y autocurado (SC).

Tabla 39*Resistencia a la tracción a los 28 días de edad*

Dosificación	Curado	Resistencia a la Tracción (MPa)	f'c de diseño (%)
PVA 0%	Convencional	3.50	11.7
PVA 0.5%	SC	3.52	11.7
PVA 1%	SC	3.76	12.5
PVA 1.5%	SC	3.97	13.2
PVA 2%	SC	3.32	11.1

Nota. Adaptado de Vaseem y Balachandiran (2018).

Los valores de la tabla 39 se utilizaron para realizar el análisis en la figura 42.

Figura 42*Resistencia a la tracción a los 28 días*

Nota. Adaptado de Vaseem y Balachandiran (2018).

Artículo 3: Roopakala et al. (2021)

Analizaron el efecto en la resistencia a la tracción con 1% de PVA en relación al peso del cemento en concretos con una relación agua/cemento (a/c) de 0.45. Se comparó el

concreto de autocurado con el concreto convencional curado mediante agua. La proporción de mezcla para el grado M30 se realiza siguiendo pruebas de materiales estándar y utilizando el método de diseño de mezcla IS: 10262:2000. Se fabricaron cubos, cilindros y vigas para el concreto de grado M30.

En la tabla 40 se observan los valores obtenidos del ensayo de resistencia a la tracción a los 7, 14 y 28 días para una dosificación de 1% de PVA con autocurado y concreto patrón curado convencionalmente.

Tabla 40

Resistencia a la tracción a diferentes edades

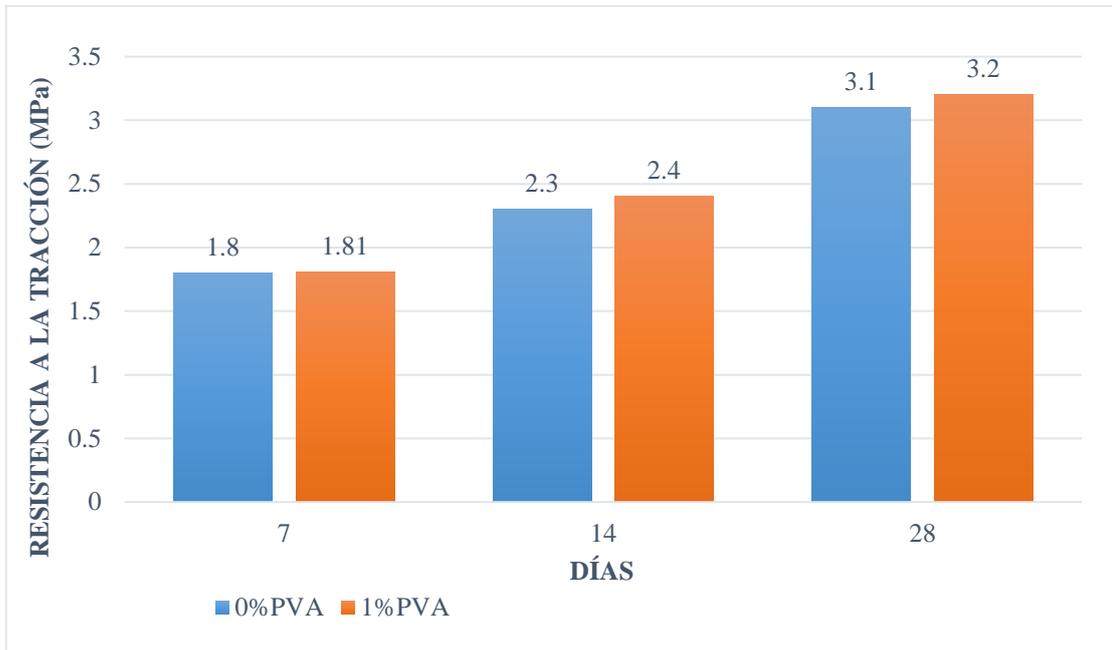
Días	Dosificación (%)	Resistencia a la Tracción (MPa)	f'c de diseño (%)
7	0	1.8	6.00
	1	1.81	6.03
14	0	2.3	7.67
	1	2.4	8.00
28	0	3.1	10.33
	1	3.2	10.67

Nota. Adaptado de Roopakala et al. (2021).

Los valores de la tabla 40 se utilizaron para realizar el análisis en la figura 43.

Figura 43

Desarrollo de la resistencia a la tracción a distintas edades

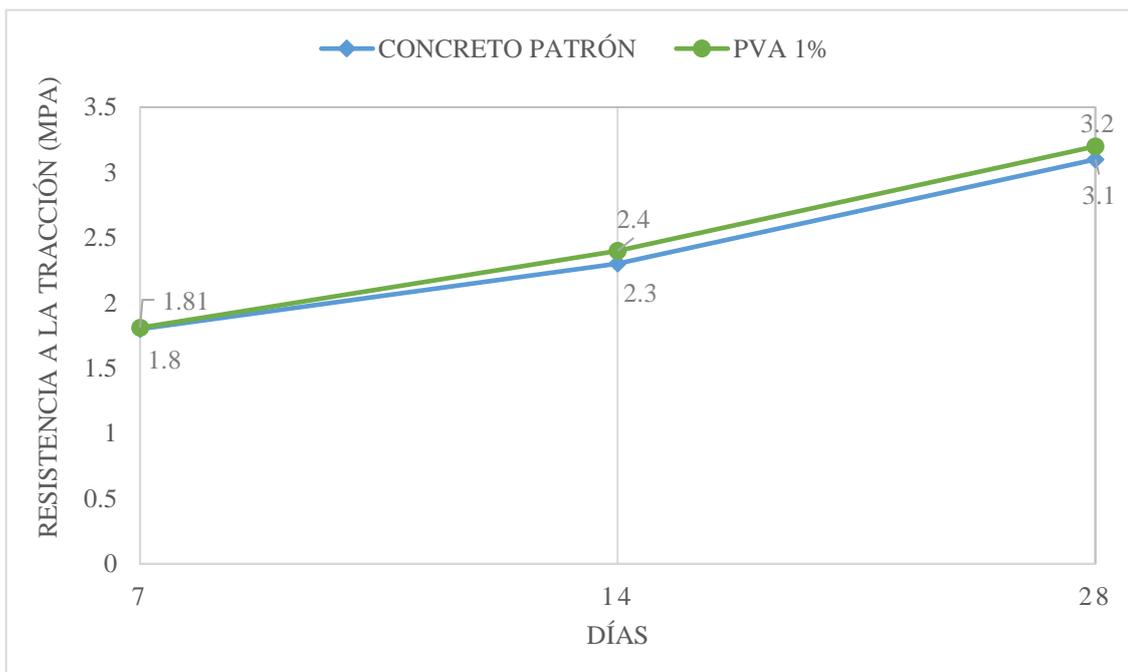


Nota. Adaptado de Roopakala et al. (2021).

En la figura 44 se presenta la variación de los valores obtenidos de los ensayos de resistencia a la tracción a los 7, 14 y 28 días para una dosificación de 1% de PVA con autocurado y concreto patrón curado convencionalmente.

Figura 44

Desarrollo de la resistencia a la tracción a distintas edades



Nota. Adaptado de Roopakala et al. (2021).

Artículo 10: Krishna y Rasheed (2019)

Investigaron cómo el Alcohol Polivinílico (PVA), un aditivo retentor de agua influye en el proceso de curado de los concretos. Prepararon mezclas de PVA en diferentes concentraciones que van desde 0%, 1%, 2%, 3% de alcohol polivinílico en relación al peso del cemento.

En la tabla 41 se observa los resultados de los ensayos de resistencia a la tracción a los 28 días en un concreto patrón sin dosificación curado convencionalmente y concreto con PVA con autocurado.

Tabla 41

Resistencia a la tracción

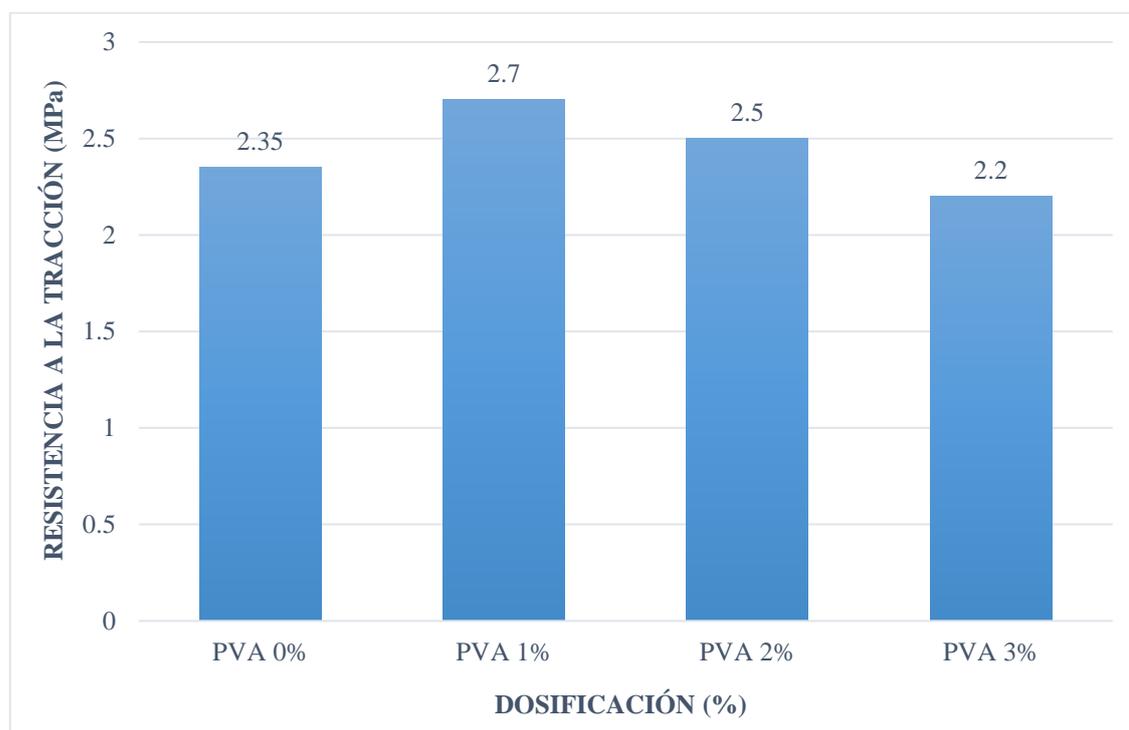
Dosificación (%)	Resistencia a la Tracción (MPa)
PVA 0%	2.35
PVA 1%	2.7
PVA 2%	2.5
PVA 3%	2.2

Nota. Adaptado de Krishna y Rasheed (2019).

Los valores de la tabla 41 se utilizaron para realizar el análisis en la figura 45.

Figura 45

Resistencia a la tracción a los 28 días



Nota. Adaptado de Krishna y Rasheed (2019).

Artículo 6: Sastry y Kumar (2018)

Analizaron el impacto de los agentes de autocurado, incluyendo el Polietilenglicol (PEG), el Alcohol Polivinílico (PVA) y el Polímero Superabsorbente (SAP), en una mezcla de concreto de grado M25 que tiene una relación a/c de 0.48. Evaluaron cómo estos agentes afectan a la resistencia a la tracción por flexión, a través de comparaciones. observaron que, en comparación con los otros agentes, el PEG 4000 mostró el efecto más positivo. También investigaron el impacto del Alcohol Polivinílico (PVA), siguiendo la norma IS: 10262-2009 para realizar el diseño de la mezcla de concreto.

En la tabla 42 se observan los resultados a los 28 días del ensayo de resistencia a la tracción por flexión en la mezcla de referencia (M0) curado convencionalmente y en todas las otras mezclas preparadas, las cuales contienen 0.25%, 0.5%, 0.75%, 1% de PVA en condiciones de autocurado utilizando un dispositivo especializado.

Tabla 42

Resistencia a la compresión para diferentes mezclas a los 28 días

Mezcla	Dosificación (%)	Resistencia a la Tracción (MPa)	f'c de diseño (%)
--------	------------------	---------------------------------	-------------------

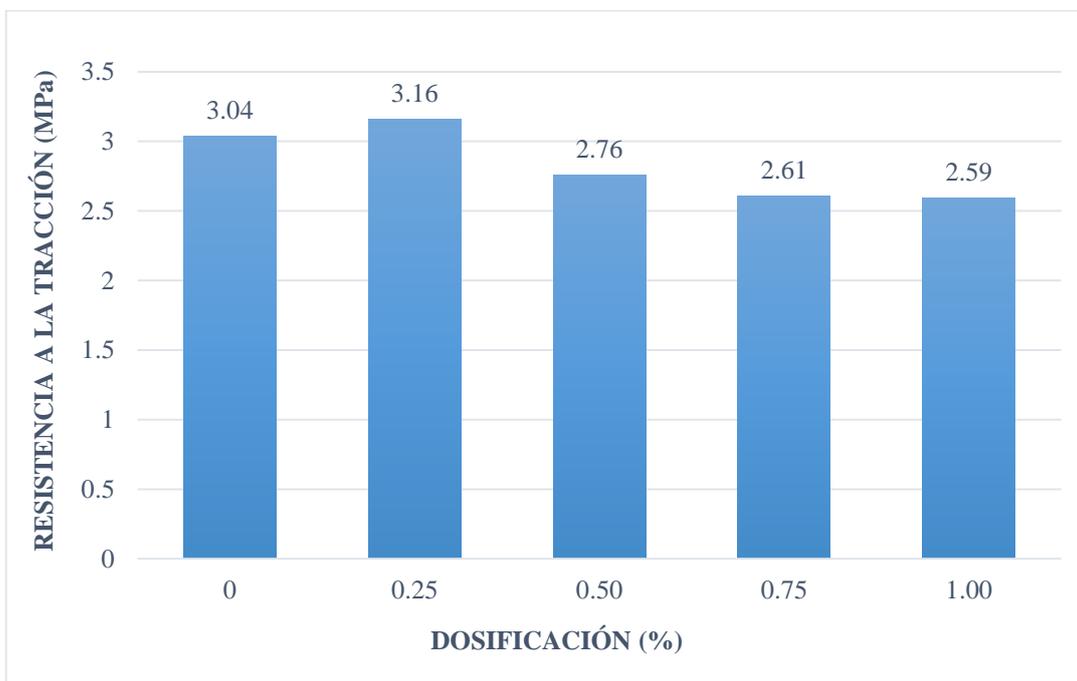
M0	0 PVA	3.04	12.2
M9	0.25 PVA	3.16	12.6
M10	0.5 PVA	2.76	11.0
M11	0.75 PVA	2.61	10.4
M12	1 PVA	2.59	10.4

Nota. Adaptado de Sastry y Kumar (2018).

Los valores de la tabla 42 se utilizaron para realizar el análisis en la figura 46.

Figura 46

Resistencia a la tracción para distintas dosificaciones a los 28 días



Nota. Adaptado de Sastry y Kumar (2018).

5.2 Contrastación de hipótesis

5.2.1 Contrastación de hipótesis 1

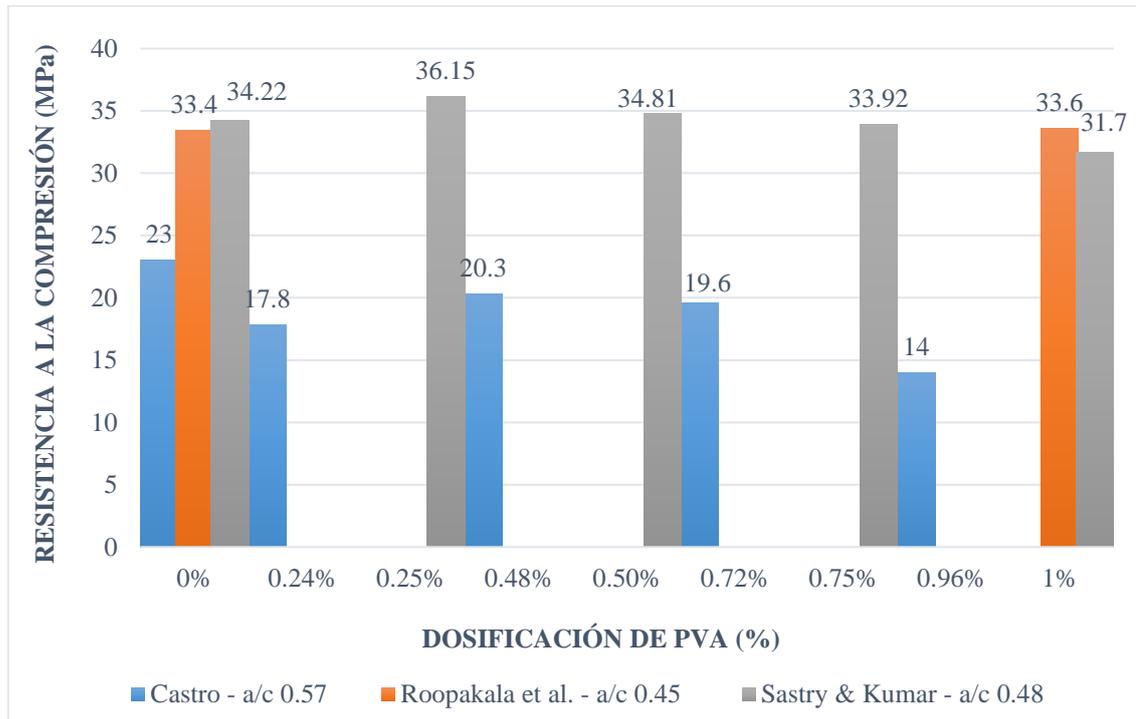
Hipótesis 1: Al determinar el porcentaje de polímero alcohol polivinílico en el hormigón flexible aumentará la resistencia a la compresión.

H₀: Al determinar el porcentaje de polímero alcohol polivinílico en el hormigón flexible no aumenta la resistencia a la compresión.

H₁: Al determinar el porcentaje de polímero alcohol polivinílico en el hormigón flexible si aumenta la resistencia a la compresión.

Figura 47

Resumen comparativo de las resistencias a la compresión



Nota. Dosificaciones de PVA a los 28 días con autocurado (SC) y concreto patrón sin adición con curado convencional (CC). Elaboración propia.

En la figura 47 se observa que Castro obtuvo un porcentaje óptimo de PVA de 0.48% con una resistencia a la compresión de 20.3 MPa disminuyendo en 11.7%.

Sastry y Kumar obtuvieron un porcentaje óptimo de PVA de 0.25% con una resistencia a la compresión de 36.15 MPa aumentando en 5.64%.

Roopakala et al. obtuvieron con 1% de PVA una resistencia a la compresión de 33.6 MPa aumentando en 0.6%.

Se acepta la hipótesis alterna (H_1), porque al determinar el porcentaje de polímero alcohol polivinílico en el hormigón flexible si aumenta la resistencia a la compresión.

5.2.2 Contrastación de hipótesis 2

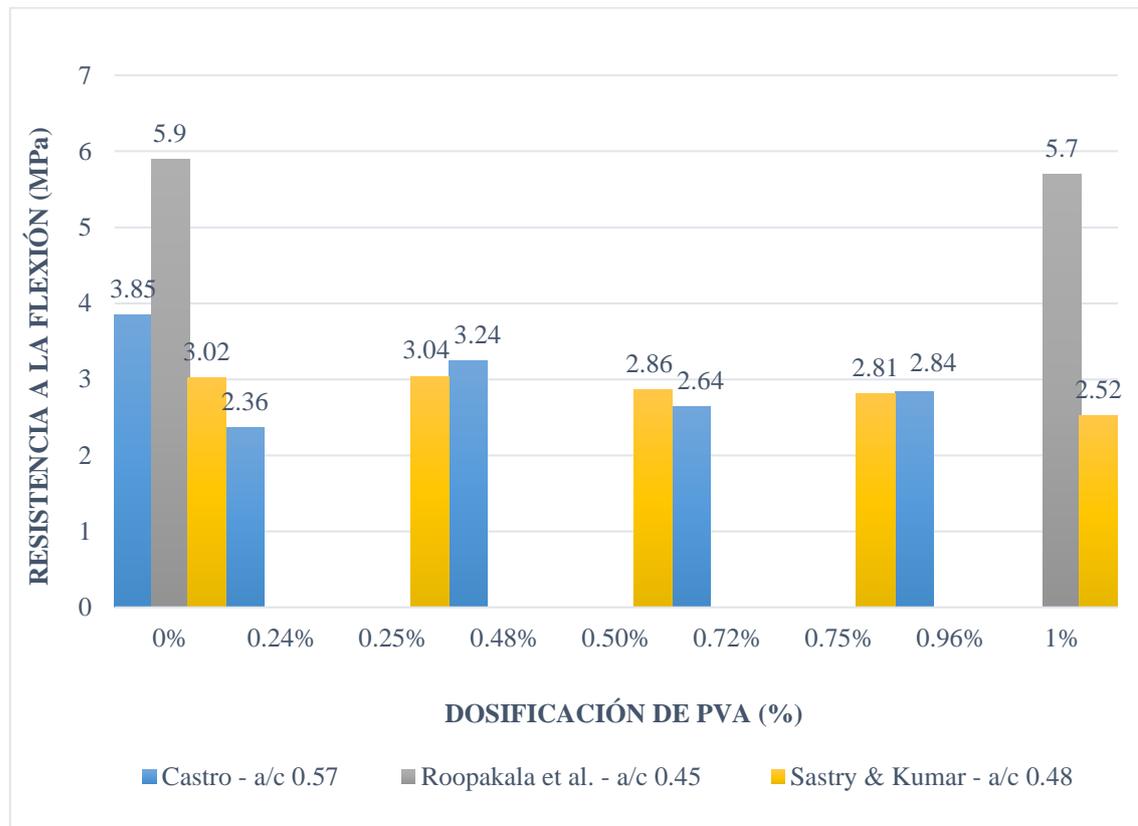
Hipótesis 2: Al determinar el porcentaje de polímero alcohol polivinílico en el hormigón flexible aumentará la resistencia a la flexión.

H_0 : Al determinar el porcentaje de polímero alcohol polivinílico en el hormigón flexible no aumenta la resistencia a la flexión.

H_1 : Al determinar el porcentaje de polímero alcohol polivinílico en el hormigón flexible si aumenta la resistencia a la flexión.

Figura 48

Resumen comparativo de las resistencias a la Flexión



Nota. Dosificaciones de PVA a los 28 días con autocurado (SC) y concreto patrón sin adición con curado convencional (CC). Elaboración propia.

En la figura 48 Castro obtuvo con un porcentaje óptimo de 0.48% de PVA una resistencia a la flexión de 3.24 MPa disminuyendo en 15.84%.

Roopakala et al. obtuvieron con 1% de PVA una resistencia a la flexión de 5.7 MPa disminuyendo un 3.38%.

Sastry y Kumar obtuvieron un porcentaje óptimo de PVA de 0.25% con una resistencia a la flexión de 3.04 MPa aumentando en 0.66%.

Se acepta la hipótesis nula (H_0), porque al determinar el porcentaje de polímero alcohol polivinílico en el hormigón flexible no aumenta la resistencia a la flexión.

5.2.3 Contrastación de hipótesis 3

Hipótesis 3: Al determinar el porcentaje de polímero alcohol polivinílico en el hormigón flexible se reduce el ancho de la fisura.

Hipótesis auxiliar:

H₀: Al determinar el porcentaje de polímero alcohol polivinílico en el hormigón flexible no se reduce el ancho de la fisura.

H₁: Al determinar el porcentaje polímero alcohol polivinílico en el hormigón flexible si se reduce el ancho de la fisura.

Feng et al. (2019) evaluaron el comportamiento de auto-reparación de fisuras y grietas, como se muestra en la figura 35 y 36. El efecto de reparación del área de los morteros con fibra de PVA al 1.5% de fracción de volumen, fue destacado, alcanzando una ratio de reparación del área de grieta del 44% a los 7 días aumentando un 46.66% y fluctuando hasta el 50% a los 28 días aumentando 56.25%. Estos resultados indican que la fibra de PVA tuvo un impacto positivo en la capacidad de auto-reparación. La investigación realizada por Prošek et al. (2022), midieron el desarrollo del ancho de la fisura durante el proceso de auto-reparación con adición de PVA en solución acuosa al 16% en peso del agua. Se observa en la figura 37 que después de 180 días, obtuvo como resultado una reducción del ancho de fisura del 49% aumentando en un 96%. Esto demuestra que la presencia de PVA contribuyó significativamente a la remediación autógena, reduciendo el ancho de fisuras y grietas.

Se acepta la hipótesis alterna (H₁), debido a que al determinar el porcentaje de polímero alcohol polivinílico en el hormigón flexible, si se reduce el ancho de la fisura.

5.2.4 Contrastación de hipótesis 4

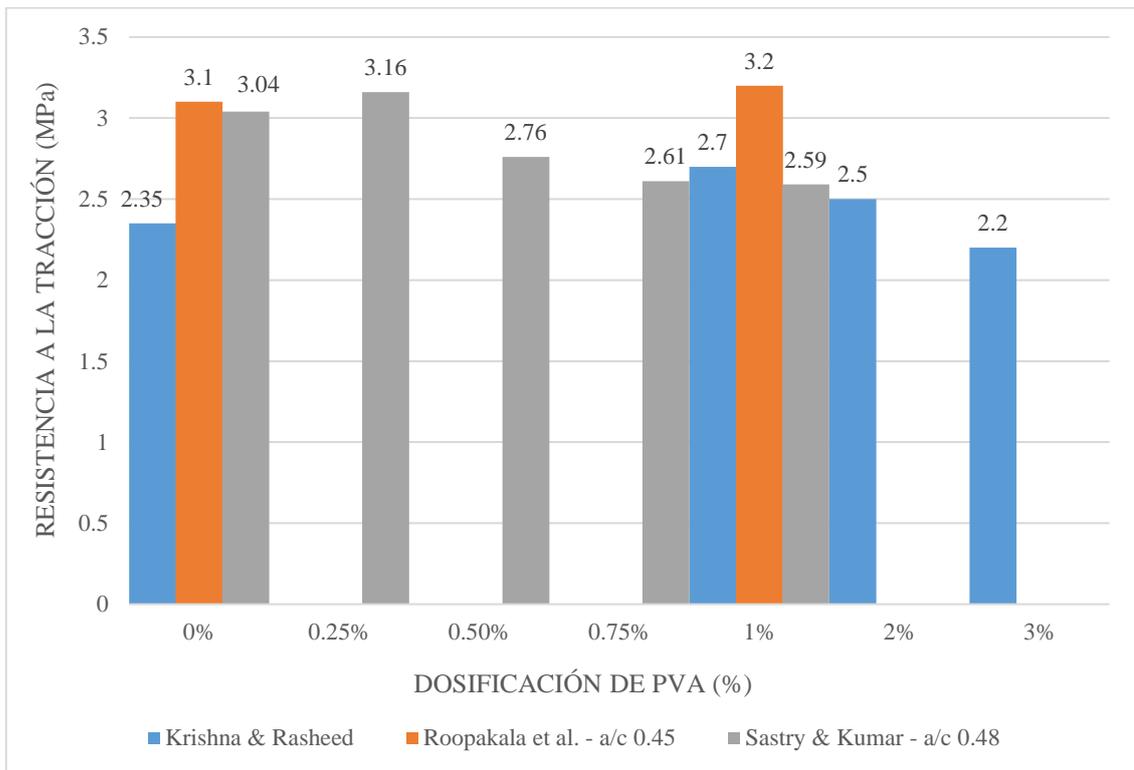
Hipótesis 4: Al determinar el porcentaje de polímero alcohol polivinílico en el hormigón flexible aumentará la resistencia a la Tracción.

H₀: Al determinar el porcentaje de polímero alcohol polivinílico en el hormigón flexible no aumenta la resistencia a la Tracción.

H₁: Al determinar el porcentaje de polímero alcohol polivinílico en el hormigón flexible si aumenta la resistencia a la Tracción.

Figura 49

Resumen comparativo de las resistencias a la tracción



Nota. Dosificaciones a los 28 días con autocurado (SC) y concreto patrón sin adición con curado convencional (CC). Elaboración propia.

Se observa en la figura 49 que Sastry y Kumar obtuvieron un porcentaje óptimo de PVA de 0.25% con 3.16 MPa de resistencia a la tracción aumentando en 4%.

Roopakala et al. Al añadir 1% de PVA obtuvieron una resistencia a la tracción de 3.2 MPa aumentando en 3.2%.

Krishna y Rasheed obtuvieron un porcentaje óptimo de 1% de PVA con una resistencia a la tracción de 2.7 MPa aumentando en 15%.

Se acepta la hipótesis alterna (H_1), porque al determinar el porcentaje de polímero alcohol polivinílico en el hormigón flexible si aumenta la resistencia a la tracción.

CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN

1. En la figura 47 se presentan los resultados de los ensayos de los autores castro, roopakala et al. y sastry y Kumar con los que se logra contrastar la hipótesis 1, se determina que al añadir una adición menor a 0.25% y mayor a 0.48% disminuye la resistencia a la compresión alcanzando valores entre 20.3 MPa y 36.15 MPa. los autores Abbas et al. utilizaron un aditivo superplastificante de polímeros modificados de carboxilatos y una relación a/c de 0.30. En la figura 17 se observa que lograron un incremento 1.71% de resistencia a la compresión respecto a la muestra patrón, al agregar 1%, Vaseem y Balachandiran optaron por utilizar un 2% de superplastificante Cera plast 300 y una relación a/c de 0.45 como se muestra en la figura 20, alcanzaron un incremento de la resistencia de 3% con un porcentaje óptimo de 1.5% de PVA Kushwaha y Parihar incorporaron de un aditivo superplastificante AURA MIX-400 en un 2% y cemento portland puzolánico con una relación a/c de 0.33. En la figura 26 se observa que lograron una resistencia a la compresión de 44.39 MPa con un porcentaje óptimo de 0.24%, lo que representa un incremento del 5% respecto a la muestra patrón. las diferencias significativas en las resistencias que alcanzaron los autores se deben a que utilizan diferentes relaciones agua/cemento además los autores que utilizan aditivo superplastificante y cemento portland puzolánico no logran un incremento superior a los autores que solo añadieron alcohol polivinílico.
2. En la figura 48 se presenta los resultados de los ensayos de los autores castro, roopakala et al. y Sastry & Kumar con los que se logró contrastar la hipótesis 2, y se determina que al añadir una adición menor a 0.25% y mayor a 0.48% disminuye la resistencia a la flexión alcanzando valores entre 3.04 MPa y 3.24 MPa, casi todos los resultados superan a la muestra patrón excepto el resultado de 3.04 MPa con una dosificación de 0.25%, aumentando en 0.66% respecto a la muestra patrón. Los autores Abbas et al. incorporan un aditivo superplastificante de polímeros modificados de carboxilatos con una relación a/c de 0.30. Se observa en la figura 31, que al añadir 1% logran una resistencia a la flexión de 11.8 MPa lo que representa un aumento de 65.3% respecto a la muestra patrón. las diferencias en la resistencia que alcanzaron los autores se deben a que utilizaron diferentes relaciones agua/cemento además los autores que utilizaron aditivo superplastificante logran un incremento significativo respecto a la muestra patrón.

3. En las figuras 35 y 36 se presentan los resultados de Feng et al. y en la figura 37 los de Prošek et al. con los que se logra contrastar la hipótesis 3, en los resultados de Feng et al. al añadir fibras de alcohol polivinílico en 1.5% de fracción de volumen, se reduce el ancho de fisuras y grietas de hasta 500 μm , en un 50% a los 28 días a diferencia de Prošek et al. con una reducción de ancho de fisuras de 120-200 μm utilizando alcohol polivinílico en solución acuosa al 16% en peso del agua, pero obtuvieron una reducción mayor siendo esta del 96% respecto a la muestra patrón a los 180 días. Sin embargo, no logró reducir al 100% el ancho de fisura. Los autores Zhang et al., incorporaron aditivo superplastificante y ceniza volante. Se observa en las figuras 38 y 39 los resultados de la auto-reparación en los morteros con 0.8% de fibras de PVA en fracción de volumen, alcanzando una ratio de reparación del área de grieta del 38% a los 7 días aumentando un 171% y fluctuando hasta el 74% a los 28 días aumentando 85% respecto a la muestra patrón. Al añadir aditivo superplastificante y ceniza volante se logró un incremento significativo en la auto-reparación a edad temprana y a los 28 días respecto a la muestra patrón en contraste con los otros autores.
4. En la figura 49 se presenta los resultados de los ensayos de los autores Krishna & Rasheed, Roopakala et al., Sastry & Kumar con los que se logra contrastar la hipótesis 4, se determina que al añadir una adición menor a 0.25% y mayor a 1% disminuye la resistencia a la tracción alcanzando valores entre 3.16 MPa y 3.2 MPa, si bien en todas las dosificaciones óptimas de los autores hay un aumento, el mayor aumento se da en 1% de adición, siendo este valor 2.7 MPa lo que representa un aumento de 14.89%. Los autores Vaseem & Balachandiran añadieron 2% de aditivo superplastificante de carboxilato de tercera generación con una relación a/c de 0.45. En la figura 42 se observa, un porcentaje óptimo de 1.5% obteniendo un valor de 3.97 MPa lo que representa un aumento de 13.43% respecto a la muestra patrón. Abbas et al. utilizan aditivo superplastificante de polímeros modificados de carboxilatos con una relación a/c de 0.30. Se observa en la figura 40 que al añadir 1% se obtiene un valor de 5.43 MPa lo que representa un aumento de 18% respecto a la muestra patrón. Las diferencias significativas en la resistencia alcanzadas por los autores se deben a que utilizan diferentes relaciones agua/cemento además los autores que añadieron aditivo superplastificante obtienen un aumento mayor en la resistencia a la tracción respecto a la muestra patrón a diferencia de los autores que solo añaden alcohol polivinílico.

CONCLUSIONES

1. Al añadir alcohol polivinílico en el hormigón se obtiene los valores 36.15 MPa con 0.25% aumentando en 5.64% y 33.6 MPa con 1% aumentando en 0.6% respecto a la muestra patrón (figura 47). Se concluye que aumenta la resistencia a la compresión, y se determina que un porcentaje óptimo se encuentra dentro del rango de 0.25% a 0.48%, según los resultados se determina que en 0.25% la resistencia a la compresión aumenta en contraste con una adición de 0.48% donde disminuye en 11.7%, en consecuencia, se estima un porcentaje óptimo cerca al 0.25%.
2. Al añadir alcohol polivinílico en el hormigón se obtiene como resultados 5.7 MPa con 1% disminuyendo en 3.38% y 3.24 MPa con 0.48% disminuyendo en un 15.84% respecto a la muestra patrón (figura 48), se concluye que no aumenta la resistencia a la flexión y se determina que un porcentaje óptimo se encuentra dentro del rango de 0.25% a 0.48%, según los resultados se determina que en 0.25% la resistencia a la flexión aumenta en 0.66% en contraste con la adición de 0.48% donde disminuye 15.84, en consecuencia, se estima un porcentaje óptimo cerca al 0.25%.
3. Al añadir alcohol polivinílico se reduce el ancho de la fisura al añadir fibras de alcohol polivinílico en 1.5% de fracción de volumen reparando el área de grietas de hasta 500 μm en 44% a los 7 días aumentando en un 46.66% y fluctuando hasta el 50% a los 28 días aumentando en un 56.25% (figura 35 y 36) y con alcohol polivinílico en solución acuosa al 16% en peso del agua se reduce de ancho de fisura significativamente a largo plazo aumentando un 96% a los 180 días (figura 37).
4. Al añadir alcohol polivinílico en el hormigón se obtiene de los resultados 3.16 MPa con 0.25% aumenta en un 4% y 3.2 MPa con 1% aumenta hasta un 15% (figura 49), se concluye que aumenta la resistencia a la tracción y se determina que un porcentaje óptimo se encuentra dentro del rango de 0.25% a 1%, según los resultados se determina que con 1% la resistencia a la tracción aumenta más que con una adición de 0.25%, en consecuencia, se estima un porcentaje óptimo cerca al 1%.

5. Con la adición de alcohol polivinílico el porcentaje óptimo para aumentar la resistencia a la compresión se encuentra entre 0.25% y 0.48% logrando un aumento de 5.64% con 0.25% y una reducción de 11.7% con 0.48% y en la resistencia a la tracción entre 0.25% y 1% logrando un aumento de 4% con 0.25% y 15% con 1%. Sin embargo la resistencia a la flexión no aumenta en la mayoría de los resultados a excepción de una adición de 0.25% donde alcanza un aumento de 0.06%, se determina que un porcentaje óptimo se encuentra entre 0.25% a 1% y se estima que el porcentaje óptimo está cerca al 0.25%. Finalmente, en la auto-reparación de fisuras y grietas con una adición de 1.5% de fibras de alcohol polivinílico se logra un incremento de 56.25% a los 28 días y en solución acuosa al 16% en peso del agua de 96% a los 180 días.

RECOMENDACIONES

1. Evaluar al detalle como la relación agua/cemento influye en la efectividad del alcohol polivinílico en el hormigón flexible. Donde se incluye el estudio de la influencia de diferentes relaciones agua/cemento con la finalidad de optimizar las proporciones de alcohol polivinílico en relación al agua/cemento, e investigaciones sobre cómo influye la adición de aditivo superplastificante a base de carboxilatos en la resistencia a la compresión además realizar más investigaciones del efecto del alcohol polivinílico en la resistencia a la compresión para dosificaciones en el rango de 0.25% y 0.48% ya que se ha demostrado que no es necesario agregar una cantidad significativamente mayor para lograr un aumento sustancial.
2. Al añadir alcohol polivinílico al hormigón no aumenta la resistencia a la flexión sin embargo combinado con aditivo superplastificante de polímeros modificados de carboxilatos se tiene un incremento significativo en la resistencia a la flexión por lo que se sugiere realizar un estudio más detallado, ya que al incrementarse la trabajabilidad se logra una mezcla más uniforme y una mejor distribución de los polímeros lo que podría explicar el incremento significativo de la resistencia a la flexión. además, investigar de manera experimental el efecto del alcohol polivinílico en la resistencia a la flexión en condiciones de autocurado dentro del rango de 0.25% a 0.48% y se sugiere buscar un porcentaje óptimo cerca al 0.25% lo que lo hace más económico y sostenible desde el punto de vista de los costos y los recursos.
3. Realizar más investigaciones sobre la auto-reparación de fisuras y grietas en el hormigón utilizando fibras de alcohol polivinílico y alcohol polivinílico en solución acuosa. Estas investigaciones deben llevarse a cabo evaluándolos de manera individual y medir la capacidad de auto-reparación, para luego llevar a cabo una comparación de los resultados de ambas opciones, siendo importante considerar las condiciones de aplicación, la relación de costo-efectividad, la resistencia y trabajabilidad del hormigón además con la finalidad de ampliar el conocimiento sobre los anchos de grieta que se puede reparar con efectividad se sugiere realizar la evaluación de la auto-reparación en grietas que superen los 500 μm y otras dosificaciones que mejoren el porcentaje de reducción del ancho de fisura en un rango del 0.25% al 1%.

4. Investigar la adición de alcohol polivinílico en un rango del 0.25% al 1% y se sugiere buscar una dosificación óptima cerca al 1% ya que la adición de alcohol polivinílico en 1% aumenta la resistencia a la tracción, lo que podría aumentar más al utilizar fibras de alcohol polivinílico de manera individual o combinadas con fibras de acero lo que podría mejorar sustancialmente la resistencia a la tracción al reforzar la matriz del hormigón ayudando a prevenir fisuras y grietas.

5. Investigar el efecto de diferentes temperaturas en la efectividad del alcohol polivinílico en diversas condiciones climáticas ya que una exposición a congelamiento y descongelamiento podría implicar una disminución en su capacidad de auto-reparación además se sugiere investigar la combinación de nanomateriales y alcohol polivinílico para determinar su efectividad y sinergia en la mejora de la auto-reparación de grietas y fisuras considerando sus posibles aplicaciones prácticas y viabilidad económica, esta investigación podría tener un impacto significativo en la construcción y la sostenibilidad de las infraestructuras.

REFERENCIAS

- Abbas, W., Gorgis, I., y Hussien, M. (2019). Self-curing cement mortar composite by using poly vinyl alcohol. *Kufa Journal of Engineering*, 10(4), 16–28.
<https://doi.org/10.30572/2018/kje/100402>
- ASTM C293 / C293M-16. (2016). *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam With Center-Point Loading)*.
https://www.astm.org/c0293_c0293m-16.html
- ACI-212. (2010). *Report on Chemical Admixtures for Concrete*.
<https://www.concrete.org/Portals/0/Files/PDF/Previews/212.3R-10web.pdf>
- Bautista, Y. (2021). *Influencia de Lysinibacillus sphaericus en la autoreparación y resistencia del concreto $f'c=350\text{kg/cm}^2$ en la ciudad de Piura* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo, Trujillo-Perú].
https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/72746/Bautista_MY-S-D.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Bernal, S. (2017). *Reparación de fisuras de concreto a partir de bioprecipitación de carbonato de calcio por medio de bacterias* [Tesis de pregrado, Universidad de los Andes, Bogotá-Colombia].
<https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/39804?show=full>
- Bentz, D., y Weiss, J. (2011). Internal Curing: A 2010 State of the Art Review. *National Institute of Standards and Technology*.
<https://doi.org/10.6028/NIST.IR.7765>
- Castro, P. (2020). *Efecto del uso de alcohol polivinílico como agente de curado interno en el concreto* [Trabajo de investigación, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo-Perú].
<https://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/4780>
- Castro, P. (2022). *Evaluación técnico económica del autocurado del concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ con alcohol polivinílico comparado con el proceso tradicional y aditivo curador* [Tesis de pregrado, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo-Perú].
<https://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/5149>
- Chavarry Vallejos, C., Chavarría Reyes, L., Valencia Gutiérrez, A., Pereyra Salardi, E., Arieta Padilla, J., y Rengifo Salazar, C. (2020). Hormigón reforzado con vidrio

- molido para controlar grietas y fisuras por contracción plástica. *Pro Sciences*, 4(31), 31-41.
<https://doi.org/10.29018/issn.2588-1000vol4iss31.2020pp31-41>
- De Rooij, M., van Tittelboom, K., De Belie, N., y Schlanger, E. (2013). Self-Healing Phenomena in Cement-Based Materials. *RILEM State-of-the-Art Reports*, 11.
<https://doi.org/10.1007/978-94-007-6624-2>
- Feng, J., Su, Y., y Qian, C. (2019). Coupled effect of PP fiber, PVA fiber and bacteria on self-healing efficiency of early-age cracks in concrete. *Construction and Building Materials*, 228.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116810>
- Gopala Krishna Sastry, K. V. S., y Kumar, P. M. (2018). Self-curing concrete with different self-curing agents. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 330(1).
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/330/1/012120>
- Giraldo, N. (2017). *Autorreparación de fisuras en concreto rígido para pavimentos mediante la adición de bacterias bioprecipitadoras de carbonato de calcio - Estado del arte y diseño experimental*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá-Colombia].
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/60199>
- Hernández, S. (2019). *Evaluación del proceso de auto-reparación de un concreto con agregado grueso impregnado con solución de Silicato de Sodio* [Tesis de maestría, Instituto Tecnológico de Chetumal, Chetumal-México].
<https://es.studenta.com/content/114569860/evaluaci-an-del-proceso-de-auto-reparaci-an-de-un-concreto-con-agregado-grueso-i>
- Hardik, M., Mistri, S., Priyank, M., Bhimani, D., y Gorasiya, M. H. (2020). Experimental Study on M20 Grade of Concrete by Using Self Curing Agent. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, 7(6), 2071-2076.
- INDECOPI. (2012). *Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo*.
[NTP 339.078 Ensayo de Flexión.pdf - Free Download PDF \(kupdf.net\)](https://www.indeco.com.pe/Documentos/NTP339.078%20Ensayo%20de%20Flexi%20n.pdf)
- Krishna, A. V., y Rasheed, K. M. (2019). Effective Analysis on Curing Process of Concrete by Poly Vinyl Alcohol & Polyethylene Glycol. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 8(3), 2418-2424.

- Nishiwaki, T., Koda, M., Makoto, Y., Mihashi, H., y Kikuta, T. (2012). Experimental Study on Self-Healing Capability of FRCC Using Different Types of Synthetic Fibers. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 10(6), 195-206.
<https://doi.org/10.3151/jact.10.195>
- Kushwaha, A., y Parihar, S. (2018). Self-Curing by using of Super Absorbent Polymer and Shrinkage Reducing Admixture for M-40. *International Journal of Science Technology & Engineering*, 4(11), 109-113.
- Mohd.Hanif, B. S., Mahd. Ashraf, B. A., KaleemSaleem, S., Naeem, U. N., y Siddiqui, M. J. (2016). *An Experimental Investigation on Internally Cured Concrete* [Trabajo de investigación, Anjuman-I-Islam's Kalsekar Technical Campus, Nueva Bombay-India].
<https://core.ac.uk/download/pdf/55305286.pdf>
- Neville, A., y Brooks, J. (2010). *Concrete Technology* (2nd ed.). Pearson Education Ltd.
https://www.academia.edu/34551261/Concrete_Technology_Second_Edition_-_J.J._Brooks
- Neville, A. M. (1995). *Properties of concrete*. (4th ed.). Pitman Publishing Comp. Ltd.
<https://www.udocz.com/apuntes/66641/tecnologia-del-concreto-neville>
- Pariona, J. (2021). *Bacterias alcalófilas en la auto-reparación de fisuras en concretos sostenibles* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo-Perú].
<https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/6905>
- Peralta, A. (2022). *Análisis del comportamiento del hormigón con refuerzo de fibra de PVA largas y cortas* [Tesis de pregrado, Universidad de Chile, Santiago de Chile-Chile].
<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/191384>
- Prošek, Z., Nežerka, V., Plachý, T., Bartoš, M., y Tesárek, P. (2022). PVA increases efficiency of bacterially-induced self-healing in cement mortars. *Cement and Concrete Composites*, 131.
<https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2022.104593>
- Rubio, L. (2016). *Caracterización de la recuperación de las propiedades mecánicas en hormigones autosanables. Aplicación práctica en una nave industrial en Benifaió, Valencia* [trabajo final de grado, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia-España].

https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/69817/01_Memoria.pdf?sequence=1

- Roopakala, A. M., Shivaraju, B., Mrs, C., y Usha, S. (2021). Experimental study on properties of self-curing concrete incorporated with PEG and PVA. *International Journal of Research & Technology*, 8(4), 821-828.
- Reveco, J. (2021). *Caracterización y estudio de la respuesta de hormigón reforzado con fibras de PVA* [Tesis de maestría, Universidad de Chile, Santiago de Chile-Chile]. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/180055>
- Reinhardt, H.-W., y Jooss, M. (2003). Permeability and self-healing of cracked concrete as a function of temperature and crack width. *Cement and Concrete Research*, 33(7), 981-985. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(02\)01099-2](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(02)01099-2)
- Sánchez De Guzmán, D. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero* (5ta ed.). Bhandar Editores. ISBN: 9589247040. https://www.academia.edu/35759848/Tecnolog%C3%ADa_del_concreto_y_del_mortero_Diego_S%C3%A1nchez_De_Guzm%C3%A1n_Bhandar_Editores
- Trujillo, A. (2018). *Influencia de la fibra de polipropileno en las propiedades de un mortero de reparación en estado fresco y endurecido* [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte, Trujillo-Perú]. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/13749>
- Valenzuela, M. (2022). *Evaluación del efecto de la autoreparación biológica en la corrosión de estructuras de hormigón armado* [Tesis de maestría, Universidad de Concepción, Concepción-Chile]. <http://repositorio.udec.cl/jspui/handle/11594/10013>
- Vassem.N, y Balachandiran.P. (2018). Experimental study of self curing concrete by using poly vinyl alcohol. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 9(3), 102-105. <https://www.ijser.org/researchpaper/EXPERIMENTAL-STUDY-OF-SELF-CURING-CONCRETE-BY-USING-POLY-VINYL-ALCOHOL.pdf>
- Zhang, C., Wang, M., Liu, R., Li, X., Yan, J., y Du, H. (2023). Enhancing self-healing efficiency of concrete using multifunctional granules and PVA fibers. *Journal of Building Engineering*, 76. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.107314>

ANEXOS

Anexo A: Matriz de consistencia

Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variables	Indicadores	Diseño de método
¿De qué manera el polímero de alcohol polivinílico en el hormigón flexible influye en la auto-reparación de grietas y fisuras?	Determinar la adición de polímero de alcohol polivinílico en el hormigón flexible para aumentar la auto-reparación de grietas y fisuras.	La adición de polímero de alcohol polivinílico en el hormigón flexible aumentará la auto-reparación de grietas y fisuras.	VI: polímero de alcohol polivinílico	Porcentaje de polímero alcohol polivinílico	Método: Deductivo
Problemas Específicos:	Objetivos Específicos:	Hipótesis Específicas:			Orientación: Aplicada
a) ¿En qué medida el porcentaje de polímero alcohol polivinílico en el hormigón flexible aumenta la resistencia a la compresión?	a) Determinar el porcentaje de polímero alcohol polivinílico en el hormigón flexible para aumentar la resistencia a la compresión.	a) Al determinar el porcentaje de polímero alcohol polivinílico en el hormigón flexible aumentará la resistencia a la compresión.		Resistencia a la compresión	Enfoque: Cuantitativo
b) ¿En qué medida el porcentaje de polímero alcohol polivinílico en el hormigón flexible aumenta la resistencia a la flexión?	b) Determinar el porcentaje de polímero alcohol polivinílico en el hormigón flexible para aumentar la resistencia a la flexión.	b) Al determinar el porcentaje de polímero alcohol polivinílico en el hormigón flexible aumentará la resistencia a la flexión.	VD: Auto-reparación de grietas y fisuras	Resistencia a la flexión	Instrumento de recolección de datos: Retrolectivo
c) ¿En qué medida el porcentaje de polímero alcohol polivinílico en el hormigón flexible reduce el ancho de la fisura?	c) Determinar el porcentaje de polímero alcohol polivinílico en el hormigón flexible para reducir el ancho de la fisura.	c) Al determinar el porcentaje de polímero alcohol polivinílico en el hormigón flexible se reduce el ancho de la fisura.		Ancho de la fisura	Tipo: Explicativa Descriptiva Correlacional
d) ¿En qué medida el porcentaje de polímero alcohol polivinílico en el hormigón flexible aumenta la resistencia a la tracción?	d) Determinar el porcentaje de polímero alcohol polivinílico en el hormigón flexible para aumentar la resistencia a la tracción.	d) Al determinar el porcentaje de polímero alcohol polivinílico en el hormigón flexible aumentará la resistencia a la tracción.		Resistencia a la tracción	

Anexo B: Matriz de artículo y tesis nacionales e internacionales

N°	Titulo	Title	Autor	Referencia
1	Efecto combinado de la fibra de PP, la fibra de PVA y las bacterias sobre la eficiencia de autosanación de las grietas tempranas en el hormigón.	Coupled effect of PP fiber, PVA fiber and bacteria on self-healing efficiency of early-age cracks in concrete.	Jianhang Feng , Yilin Su, Chunxiang Qian	Feng, J., Su, Y., & Qian, C. (2019). Coupled effect of PP fiber, PVA fiber and bacteria on self-healing efficiency of early-age cracks in concrete. <i>Construction and Building Materials</i> , 228, 116743. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061819322408?via%3Dihub
2	El PVA aumenta la eficiencia de la autocuración inducida por bacterias en morteros de cemento	PVA increases efficiency of bacterially-induced self-healing in cement mortars	Prošek Z. Nežerka V. Plachý T. Bartoš M. Tesárek P.	Prošek, Z., Nežerka, V., Plachý, T., Bartoš, M., & Tesárek, P. (2022). PVA increases efficiency of bacterially-induced self-healing in cement mortars. <i>Cement and Concrete Composites</i> , 129, 104230. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0958946522001871?via%3Dihub
3	Análisis térmico de hormigones autorreparables con alcohol polivinílico	Thermal analysis on self-healing concrete using polyvinyl alcohol	Manoj Kumaar C., Mageswari M.	Manoj Kumaar, C., & Mageswari, M. (2018). Thermal analysis on self-healing concrete using polyvinyl alcohol. <i>Journal of Thermal Analysis and Calorimetry</i> , 134(3), 1601-1612. https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01430750.2018.1531260

4	Efecto de la escoria de alto horno granulada molida sobre la hidratación del cemento y la curación autógena del hormigón	Effect of ground granulated blast furnace slag on cement hydration and autogenous healing of concrete	Jianing sun, Kian hau kong, Chao qun lye, Ser tong quek	Sun, J., Kong, K. H., Lye, C. Q., & Quek, S. T. (2022). Effect of ground granulated blast furnace slag on cement hydration and autogenous healing of concrete. <i>Construction and Building Materials</i> , 346, 121495. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061821031068?via%3Dihub
5	Evaluación de la auto-reparación en hormigones con árido grueso calizo impregnado con solución de Na ₂ SiO ₃	Evaluation of self-healing in concrete with limestone coarse aggregate impregnated with Na ₂ SiO ₃ solution	Jc cruz, SM hernández, Dl trejo- arroyo, Z zarhri, J zárate-medina, Jiménez, Mp gurrola	Cruz, J. C., Hernández, S. M., Trejo-Arroyo, D. L., Zarhri, Z., Zárate-Medina, J., Jiménez, & Gurrola, M. P. (2022). Evaluation of self-healing in concrete with limestone coarse aggregate impregnated with Na ₂ SiO ₃ solution. <i>IOP Conference Series: Materials Science and Engineering</i> , 1462(1), 012010. https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2053-1591/ac513d/meta
6	Ensayos de laboratorio a gran escala de agregados inteligentes para la auto-reparación en hormigón	Large-scale laboratory trials of smart aggregates for self-healing in concrete	Alghamri, Rengaraju	Alghamri, R., & Rengaraju. (2023). Large-scale laboratory trials of smart aggregates for self-healing in concrete under different curing regimes. <i>Cement and Concrete Composites</i> , 124, 104216. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0958946522004577?via%3Dihub
7	Novedoso Sistema Core-Shell Basado en Gelatina y Polímeros Hidrofílicos Útil como sistemas de auto-reparación de concreto	Novel Core-Shell System Based on Gelatin and Hydrophilic polymers Useful as concrete self-healing systems	Corrêa da Costa, Gomes de Souza Jr, Castro Sousa, Tolêdo Filho	Corrêa da Costa, G., Gomes de Souza Jr, Castro Sousa, & Tolêdo Filho. (2021). Novel Core-Shell System Based on Gelatin and Hydrophilic Polymers Useful as Concrete Self-healing Systems. <i>Macromolecular Symposia</i> , 403(1), 2000180. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/masy.202000180

8	Efecto sinérgico de fibras ricas en OH y cápsulas minerales sobre la autocuración	Synergistic effect of OH-rich fibers and mineral capsules on the self-healing	Mingyue wu, Xiangming hu, Qian zhang, Yanyun zhao, Yue feng, Hao yuan	Wu, M., Hu, X., Zhang, Q., Zhao, Y., Feng, Y., & Yuan, H. (2023). Synergistic effect of OH-rich fibers and mineral capsules on the self-healing properties of cement mortar. <i>Cement and Concrete Composites</i> , 127, 104111. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0958946522005066?via%3Dihub
9	Autocuración en compuestos cementosos que contienen bacterias y polímeros protectores a varias temperaturas.	Selfhealing-in-cementitious-composite-containing-bacteria-and-protective-polymers-at-various-temperatures	Schreiberova, Trtik, Chylik, Prosek,Seps, Fladr, Bily, Kohoutkova	Schreiberova, H., Trtik, T., Chylik, R., Prosek, V., Seps, K., Fladr, J., Bily, M., & Kohoutkova, A. (2021). Self-healing in cementitious composite containing bacteria and protective polymers at various temperatures. <i>Procedia Engineering</i> , 205, 3595-3600. https://engstroy.spbstu.ru/en/article/2021.107.13/3595-3600
10	Soluciones biotecnológicas para la reparación de concreto con mayor durabilidad	Biotech solutions for concrete repair with enhanced durability	H.M. Jonkers, R.M. Mors, M.G. Sierra-Beltran, V. Wiktor	Jonkers, H. M., Mors, R. M., Sierra-Beltran, M. G., & Wiktor, V. (2016). Biotech solutions for concrete repair with enhanced durability. In <i>Eco-efficient Repair and Rehabilitation of Concrete Infrastructures</i> (pp. 193-220). Elsevier. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780081002148000129?via%3Dihub
11	Rendimiento en la reparación de fisuras de gránulos recubiertos de PVA hechos de cemento, CSA y Na ₂ CO ₃ en la matriz de cemento	Crack Healing Performance of PVA-Coated Granules Made of Cement, CSA, and Na ₂ CO ₃ in the Cement Matrix	Lee, Ryou	Lee, R., & Ryou. (2016). Crack Healing Performance of PVA-Coated Granules Made of Cement, CSA, and Na ₂ CO ₃ in the Cement Matrix. <i>Materials</i> , 9(7), 555. https://www.mdpi.com/1996-1944/9/7/555

12	Evaluación del rendimiento de auto-reparación del concreto de PE y PVA utilizando pruebas de flexión	Evaluation of Self-Healing Performance of PE and PVA Concrete Using Flexural Test	Kang, Huh, Huy tran, Kwak	Kang, H., Huh, Y., Huy Tran, & Kwak. (2018). Evaluation of Self-Healing Performance of PE and PVA Concrete Using Flexural Test. <i>Advances in Materials Science and Engineering</i> , 2018, 6386280. https://www.hindawi.com/journals/amse/2018/6386280/
13	Control efectivo de fisuras en el concreto mediante la auto-reparación de compuestos cementicios utilizando fibra sintética.	Effective Crack Control of Concrete by Self-Healing of Cementitious Composites Using Synthetic Fiber	Choi, Inoue, Kwon, Choi, Lim	Choi, Inoue, Kwon, Choi, & Lim. (2016). Effective Crack Control of Concrete by Self-Healing of Cementitious Composites Using Synthetic Fiber. <i>Materials</i> , 9(4), 248. https://www.mdpi.com/1996-1944/9/4/248
14	Investigación experimental sobre las propiedades mecánicas del concreto de curado propio utilizando lignosulfonato de sodio y alcohol polivinílico	Experimental Investigation on the Mechanical Properties of Self Curing Concrete Using Sodium Lignosulphonate and Polyvinyl Alcohol	T. A Sajana Khader, T.S Shabana	Sajana Khader, T. A., & Shabana, T. S. (2018). Experimental Investigation on the Mechanical Properties of Self Curing Concrete Using Sodium Lignosulphonate and Polyvinyl Alcohol. <i>International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology</i> , 7(3), 2140-2146. http://www.ijirset.com/upload/2018/march/105_Experimental.pdf

15	Caracterización de un mortero sostenible de origen biológico para la reparación de concreto.	Characterization of sustainable bio-based mortar for concrete repair	Sierra-Beltran, Jonkers, Schlangen	Sierra-Beltran, M. G., Jonkers, H. M., & Schlangen, E. (2014). Characterization of sustainable bio-based mortar for concrete repair. <i>Construction and Building Materials</i> , 55, 229-239. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061814000361?via%3Dihub
16	Sistema de núcleo-cáscara basado en gelatina y poli(alcohol vinílico) (PVA) para aplicaciones de auto-reparación en concreto: síntesis, caracterización y optimización	Core-Shell System Based on Gelatin and Poly(Vinyl Alcohol)(PVA) for Concrete Self-Healing Applications: Synthesis, Characterization, and Optimization	Corrêa da Costa, Gomes de Souza, Castro Sousa, Pal, Tolêdo Filho	Corrêa da Costa, G., Gomes de Souza, Castro Sousa, Pal, & Tolêdo Filho. (2021). Core-Shell System Based on Gelatin and Poly(Vinyl Alcohol) (PVA) for Concrete Self-Healing Applications: Synthesis, Characterization, and Optimization. <i>Macromolecular Symposia</i> , 403(1), 2000194. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/masy.202000194
17	Evaluación técnico económica del autocurado del concreto $f'c = 210$ kg/cm ² con alcohol polivinílico comparado con el proceso tradicional y aditivo curador	Technical and Economic Evaluation of Self-Curing for Concrete with $f'c = 210$ kg/cm ² Using Polyvinyl Alcohol Compared to the Traditional Process and Curing Admixture	Castro, P.	Castro,P. (2022). Evaluación técnico económica del autocurado del concreto $f'c = 210$ kg/cm ² con alcohol polivinílico comparado con el proceso tradicional y aditivo curador (Tesis de pregrado). Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo. https://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/5149
18	Estudio experimental sobre el efecto de auto-reparación en el concreto reforzado con fibras de PVA y aditivos	Experimental study on self-healing effect of FRCC with PVA fibers and additives	Nishiwaki, Kwon, Sasaki	Nishiwaki, H., Kwon, S., & Sasaki. (2015). Experimental study on self-healing effect of FRCC with PVA fibers and additives. <i>Procedia Engineering</i> , 125, 763-768. https://www.researchgate.net/publication/292149611_Experimental_study_on_self-healing_effect_of_FRCC_with_PVA_fibers_and_additives

19	Desempeño mecánico y de auto-reparación de compuestos cementicios de alta resistencia modificados con caucho triturado	Mechanical and Self-Healing Performances of Crumb Rubber Modified High-Strength Engineered Cementitious Composites	Jiangtao, Fangming, Qiong, Qi, Mi	Jiangtao, Fangming, Qiong, Qi, & Mi. (2021). Mechanical and Self-Healing Performances of Crumb Rubber Modified High-Strength Engineered Cementitious Composites. <i>Frontiers in Materials</i> , 8, 811110. https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmats.2021.811110/full
20	Influencia del Nano-SiO ₂ en las propiedades mecánicas del hormigón de árido reciclado con y sin fibra de alcohol polivinílico (PVA)	Influence of Nano-SiO ₂ on the Mechanical Properties of Recycled Aggregate Concrete with and without Polyvinyl Alcohol (PVA) Fiber	Wang, Zhu	Wang, & Zhu. (2021). Influence of Nano-SiO ₂ on the Mechanical Properties of Recycled Aggregate Concrete with and without Polyvinyl Alcohol (PVA) Fiber. <i>Materials</i> , 14(6), 1446. https://www.mdpi.com/1996-1944/14/6/1446
21	Compuesto de mortero de cemento autopolimerizable mediante alcohol polivinílico.	Self-curing cement mortar composite by using polyvinyl alcohol	Abbas, Hussein, Gorgis	Abbas, H., Hussein, M., & Gorgis, A. (2019). Self-curing cement mortar composite by using polyvinyl alcohol. <i>Kufa Journal for Engineering</i> , 10(2), 34-42. https://journal.uokufa.edu.iq/index.php/kje/article/view/399
22	Autocurado mediante el uso de Super absorbente Aditivo reductor de contracción y polímeros para M-40	Self-Curing by using of Super Absorbent Polymer and Shrinkage Reducing Admixture for M-40	Kushwaha, Parihar	Kushwaha, & Parihar. (2018). Self-Curing by using of Super Absorbent Polymer and Shrinkage Reducing Admixture for M-40. <i>International Journal of Science Technology and Engineering</i> , 4(11), 227-231. https://ijste.org/Article.php?manuscript=IJSTEV4I11054

23	<p>Caracterización de la recuperación de las propiedades mecánicas en hormigones autosanables. Aplicación práctica en una nave industrial en Benifaió, Valencia.</p>	<p>Characterization of the Recovery of Mechanical Properties in Self-Healing Concretes. Practical Application in an Industrial Warehouse in Benifaió, Valencia.</p>	Rubio Garde	<p>Rubio Garde. (2016). Caracterización de la recuperación de las propiedades mecánicas en hormigones autosanables. Aplicación práctica en una nave industrial en Benifaió, Valencia (Tesis de maestría). Universidad Politécnica de Valencia. https://riunet.upv.es/handle/10251/69817?show=full</p>
24	<p>Comportamiento de concretos reforzados con microfibras de polipropileno (PP), polivinilo (PVA) y poliéster reciclado (POL) en relación con la contracción por secado restringido y las propiedades mecánicas.</p>	<p>Comportamento de concretos reforçados com microfibras de polipropileno (PP), álcool polivinílico (PVA) e recicladas de poliéster (POL) em relação à retração por secagem restringida e às propriedades mecânicas</p>	Ehrenbring	<p>Ehrenbring, H. (2017). Comportamento de concretos reforçados com microfibras de polipropileno (PP), álcool polivinílico (PVA) e recicladas de poliéster (POL) em relação à retração por secagem restringida e às propriedades mecânicas. [Comportamiento de concretos reforçados com microfibras de polipropileno (PP), álcool polivinílico (PVA) e recicladas de poliéster (POL) em relação à retração por secagem restringida e às propriedades mecânicas]. Universidad de Sinuos. http://repositorio.jesuita.org.br/handle/UNISINOS/6703</p>

25	Efecto de la mezcla de micro-fibras y macro-fibras poliméricas en el comportamiento a flexión y compresión del UHPFRC	Effect of the Mixture of Micro-Fibers and Polymer Macro-Fibers on the Flexural and Compressive Behavior of UHPFRC	Neira Medina	Neira Medina. (2020). Efecto de la mezcla de micro-fibras y macro-fibras poliméricas en el comportamiento a flexión y compresión del UHPFRC. [Efecto de la mezcla de micro-fibras y macro-fibras poliméricas en el comportamiento a flexión y compresión del UHPFRC]. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/1240
26	Concreto de autocurado y sus propiedades inherentes	Self Curing Concrete and Its Inherentproperties	Evangeline	Evangeline, S. (2014). Self Curing Concrete and Its Inherent Properties. <i>International Journal of Engineering Research and Applications</i> , 4(8), 66-71. https://www.ijera.com/papers/Vol4_issue8/Version%207/I48076671.pdf
27	Evaluación de las propiedades del concreto de autocurado mediante el uso de polivinilo alcohol (PVA).	Evaluation of Properties of Self Curing Concrete by Using Polyvinyl Alcohol	B. Ajitha, Nirupama	Ajitha, B., & Nirupama. (2017). Evaluation of Properties of Self Curing Concrete by Using Polyvinyl Alcohol. <i>International Journal of Advanced Technological Exploration in Engineering</i> , 4(11), 2510-2513. http://www.ijates.com/images/short_pdf/1493212524_IETE152ijates.pdf

28	Estudio experimental del concreto de autocurado mediante el uso de alcohol polivinílico	Experimental Study of Self Curing Concrete by Using Polyvinyl Alcohol	Akram, Balachandiran	Akram, & Balachandiran. (2018). Experimental Study of Self Curing Concrete by Using Polyvinyl Alcohol. <i>International Journal of Scientific & Engineering Research</i> , 9(8), 55-59. https://www.ijser.org/researchpaper/EXPERIMENTAL-STUDY-OF-SELF-CURING-CONCRETE-BY-USING-POLY-VINYL-ALCHAHOL.pdf
29	Estudio experimental sobre las propiedades del concreto de autocurado incorporado con PEG y PVA.	Experimental study on properties of self-curing concrete incorporated with PEG and PVA	Roopakala, Shivaraju, Usha	Roopakala, Shivaraju, & Usha. (2021). Experimental study on properties of self-curing concrete incorporated with PEG and PVA. <i>International Journal of Innovative Research in Technology</i> , 7(12), 47-50. https://ijirt.org/master/publishedpaper/IJIRT152881_PAPER.pdf
30	Análisis efectivo del proceso de curado del concreto mediante polivinilo alcohol y polietilenglicol.	Effective Analysis on Curing Process of Concrete by Poly Vinyl Alcohol & Polyethylene Glycol	Anke Vamsi Krishna, K.Mohammed Rasheed	Krishna, A. V., & Rasheed, K. M. (2019). Effective Analysis on Curing Process of Concrete by Poly Vinyl Alcohol & Polyethylene Glycol. <i>International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology</i> , 8(3), 5557-5563. http://www.ijirset.com/upload/2019/march/105_VAMSI-%20JOURNAL%20final_MB.pdf

31	Estudio experimental sobre concreto de grado M20 mediante el uso de agente de autocurado	Experimental Study on M20 Grade of Concrete by Using Self Curing Agent	Hardik, Priyank, Gorasiya	Hardik, Priyank, & Gorasiya. (2020). Experimental Study on M20 Grade of Concrete by Using Self Curing Agent. <i>Journal of Emerging Technologies and Innovative Research</i> , 7(11), 1197-1200. https://www.jetir.org/papers/JETIR2006299.pdf
32	Un análisis experimental de las propiedades del concreto de autocurado utilizando PEG4000 y PVA.	An Experimental Analysis on Properties of Self Curing Concrete Using PEG4000 and PVA	Chandra, Shamshad, Sreenivasulu	Chandra, Shamshad, & Sreenivasulu. (2018). An Experimental Analysis on Properties of Self Curing Concrete Using PEG4000 and PVA. <i>International Journal of Research</i> , 5(1), 31-34. https://journals.pen2print.org/index.php/ijr/article/view/11547/10957
33	Concreto de autocurado con diferentes agentes de autocurado	Self-curing concrete with different self-curing agents	K V S Gopala, Putturu	Gopala, K. V. S., & Putturu. (2018). Self-curing concrete with different self-curing agents. <i>IOP Conference Series: Materials Science and Engineering</i> , 330(1), 012120. https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/330/1/012120

34	Caracterización y estudio de la respuesta de hormigón reforzado con fibras de PVA	Characterization and Study of the Response of Concrete Reinforced with PVA Fibers	Reveco	Reveco. (2021). Caracterización y estudio de la respuesta de hormigón reforzado con fibras de PVA. [Characterization and Study of the Response of Concrete Reinforced with PVA Fibers]. Universidad de Chile. https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/180055
35	Efecto de aditivos cristalinos, ceniza volante y fibras de PVA en la capacidad de auto-reparación del concreto	Effect of crystalline admixture, fly ash, and PVA fiber on self-healing capacity of concrete	Nasim, Dewangan, Shirish	Nasim, Dewangan, & Shirish. (2020). Efecto de la mezcla cristalina, las cenizas volantes y la fibra de PVA sobre la capacidad de autocuración del hormigón. <i>Construction and Building Materials</i> , 256, 119474. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214785320326778?via%3Dihub
36	Análisis de morteros de reparación de compuesto con copolímero vinílico, PVA y SBR	Analysis of compost repair mortars by vinylic copolymer, PVA, and SBR	Henrique de Souza, Alves de Souza	De Souza, H., & Alves de Souza. (2019). Analysis of compost repair mortars by vinylic copolymer, PVA, and SBR. <i>Revista ALCONPAT</i> , 9(2), 171-182. https://revistaalconpat.org/index.php/RA/article/view/330
37	Preparación de un novedoso composite de cemento con fibras superabsorbentes y evaluación de su rendimiento de autocurado.	Preparation of a novel superabsorbent fiber–cement composite and evaluation of its self-healing performance	Ma, Fan, Chen, Li, Chen, Pan, Liu	Ma, Fan, Chen, Li, Chen, Pan, & Liu. (2022). Preparation of a novel superabsorbent fiber–cement composite and evaluation of its self-healing performance. <i>Construction and Building Materials</i> , 342, 123348. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0958946522003067

38	Mejorando la eficiencia de autocurado del concreto utilizando gránulos multifuncionales y fibras de PVA.	Enhancing self-healing efficiency of concrete using multifunctional granules and PVA fibers	Zhang, Wang , Liu a, Li a, Yan a, Du	Zhang, Wang, Liu, Li, Yan, & Du. (2023). Enhancing self-healing efficiency of concrete using multifunctional granules and PVA fibers. <i>Construction and Building Materials</i> , 345, 123902. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352710223014948?via%3Dihub
----	--	---	--------------------------------------	---

Anexo C: Matriz de relación entre subtemas y referencias bibliográficas

Fuente	Autor(es)	Título	SUBTEMAS (Indicadores) 1	SUBTEMAS (Indicadores) 2	SUBTEMAS (Indicadores) 3	SUBTEMAS (Indicadores) 4
1	Jianhang Feng , Yilin Su, Chunxiang Qian	Coupled effect of PP fiber, PVA fiber and bacteria on self-healing efficiency of early-age cracks in concrete.		Las muestras agrietadas después de 7 día de curado se midió la resistencia a la flexión después de curar por 28 días.	Después de curar por 7 días se realizó la grieta y cada 7 días se midió el ancho de fisura durante 28 días.	
2	Anke Vamsi Krishna, K.Mohammed Rasheed	Effective Analysis on Curing Process of Concrete by Poly Vinyl Alcohol & Polyethylene Glycol	La adición del 1% de PVA ofrece la mayor resistencia a la compresión.	La adición del 1% de PVA ofrece la mayor resistencia a la flexión.		La adición del 1% de PVA ofrece la mayor resistencia a la tracción.
3	Zhang, Wang , Liu a, Li a, Yan a, Du	Enhancing self-healing efficiency of concrete using multifunctional granules and PVA fibers			Las fibras de PVA inhiben la propagación de las grietas durante el proceso de daño, actuando como puentes que conectan las grietas parcialmente y disminuyendo el ancho de fisura.	

4	Mr. Hardik S. Mistri, Mr. Priyank D. Bhimani, Ms Hetal Gorasiya	Experimental Study on M20 Grade of Concrete by Using Self Curing Agent	Se llevó a cabo en una máquina de ensayo de compresión con capacidad de 2000 kN mediante cubos de tamaño 150x150x150 mm y se evaluó a los 28 días.			
5	A. Mrs. Roopakala C. G1, B. Shivaraju G.D2, C. Mrs. Usha S.3	Experimental study on properties of self- curing concrete incorporated with PEG and PVA	Se noto que la combinación de 1% de PEG 600 y 1% de PVA da una mayor resistencia a la compresión con respecto al concreto la convencional.	Se noto que la combinación de 1% de PEG 600 y 1% de PVA da una mayor resistencia a la flexión con respecto al concreto convencional.		Se noto que la combinación de 1% de PEG 600 y 1% de PVA da una mayor resistencia a la tracción con respecto al concreto convencional.
6	Vaseem Akram.N, Balachandiran.P	Experimental Study of Self Curing Concrete by Using Polyvinyl Alcohol	Se lleva a cabo una prueba de compresión en cubos de tamaño 150 mm x 150 mm x 150 mm y cilindros de tamaño 150 mm x 300 mm, se agrega el PVA en dosis de 0%, 0.5%, 1%, 1.5% y 2% y los resultados de las pruebas se recopilan a los 7 días, 14 días y 28 días.			Se lleva a cabo una prueba de tracción en cubos de tamaño 150 mm x 150 mm x 150 mm y cilindros de tamaño 150 mm x 300 mm, se agrega el PVA en dosis de 0%, 0.5%, 1%, 1.5% y 2% y los resultados de las pruebas se recopilan a los 7 días, 14 días y 28 días.

7	Waleed A. Abbas1, Ikbal N. Gorgis2 and Mahdi J. Hussien3	Self-curing cement mortar composite by using polyvinyl alcohol	Se llevo a cabo la adición del 1% de PVA al concreto para hallar la resistencia a la compresión se determinó a los 28 días de edad del mortero de cemento y dio una resistencia de 43.65 MPa.	Se llevo a cabo la adición del 1% de PVA al concreto para hallar la resistencia a la flexión se determinó a los 28 días de edad del mortero de cemento y dio una resistencia de 11.78 MPa.		Se llevo a cabo la adición del 1% de PVA al concreto para hallar la resistencia a la tracción se determinó a los 28 días de edad del mortero de cemento y dio una resistencia de 5.43MPa.
8	Prošek Z. Nežerka V. Plachý T. Bartoš M. Tesárek P.	PVA increases efficiency of bacterially-induced self-healing in cement mortars		Después de 28 días de curado se realizó la fisura y se midió la resistencia a la flexión a los 0 días y 180 días de curación	Después de 28 días de curado se realizó la fractura y se observó el ancho de la fisura a los 0 ,32,90 ,180 días	
9	Kushwaha, Parihar	Self-Curing by using of Super Absorbent Polymer and Shrinkage Reducing Admixture for M-40	Las muestras de cubo para el concreto de auto-curado se prueban en una máquina con capacidad de 2000 kN y la resistencia a los 28 días con la adición de 0.5% de PEG y el 0.24% de PVA proporcionan una resistencia a la compresión superior al concreto convencional			

10	K V S Gopala krishna sastry, Putturu manoj kumar	Self-curing concrete with different self- curing agents	La resistencia a la compresión utilizando diferentes agentes de autocurado como PEG 4000, PEG 6000, PVA y SAP. Para el PVA, la resistencia a la compresión máxima obtenida fue de 36.15 N/mm ² al 0.25 %.	La resistencia a la flexión utilizando diferentes agentes de autocurado como PEG 4000, PEG 6000, PVA y SAP. Para el PVA la máxima resistencia a la flexión se obtuvo con 3.04 N/mm ² al 0.25 %		La resistencia a la tracción utilizando diferentes agentes de autocurado como PEG 4000, PEG 6000, PVA y SAP. Para el PVA, la máxima resistencia a la tracción por flexión obtenida fue de 3.16 N/mm ² al 0.25 %.
11	Castro, P.	Evaluación técnico económica del autocurado del concreto f'c = 210 kg/cm ² con alcohol polivinílico comparado con el proceso tradicional y aditivo curador	La Resistencia a la compresión se hizo una dosificación de diferentes porcentajes (0.24%, 0.48%, 0.72% y 0.96%) de alcohol polivinílico. La proporción que dio los resultados más favorables fue una adición del 0.48% a los 28 días y solo alcanzó el 98.8% de la resistencia deseada en el diseño.	La Resistencia a la flexión se hizo una dosificación de diferentes porcentajes (0.24%, 0.48%, 0.72% y 0.96%) de alcohol polivinílico. Se observó que el porcentaje de 0.48% a los 28 días es la mejor adición para el concreto, logrando un efecto de autocurado y teniendo más contenido de aire y permeabilidad que el concreto convencional.		