



UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

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

Mezcla de concreto con cemento de fosfato de magnesio para mejorar las
propiedades físicas y mecánicas

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniera Civil

AUTORES

Huaylinos Tabra, Claudia Jesús
ORCID: 0009-0003-5775-4591

Santamaria Peña, Katerine Ruth
ORCID: 0009-0003-0552-4794

ASESOR

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

Lima, Perú

2023

METADATOS COMPLEMENTARIOS

Datos de autores

Huaylinos Tabra, Claudia Jesús

DNI: 72972011

Santamaria Peña, Katerine Ruth

DNI: 72848994

Datos de asesor

Chavarría Reyes, Liliana Janet

DNI: 25481792

Datos del jurado

JURADO 1

Pereyra Salardi, Enriqueta

DNI: 06743824

ORCID: 0000-0003-2527-3665

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

Nosotras, Katerine Ruth Santamaria Peña, con código de estudiante N° 201711950, con DNI N° 72848994, con domicilio en Fundo los Carrizales mz. LL lote 6, distrito de Ventanilla, provincia y departamento de Callao, y Claudia Jesús Huaylinos Tabra, con código de estudiante N° 201621144, con DNI N° 72972011, con domicilio en Calle Teodosio Parreño 310, distrito de Barranco, 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: “Mezcla de concreto con cemento de fosfato de magnesio para mejorar las propiedades físicas y mecánicas” es de nuestra única autoría, bajo el asesoramiento del docente Ing. 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 21% 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 asumo 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, 21 de Octubre de 2023



Katerine Ruth Santamaria Peña
DNI N° 72848994



Claudia Jesús Huaylinos Tabra
DNI N° 72972011

INFORME DE ORIGINALIDAD-TURNITIN

Mezcla de concreto con cemento de fosfato de magnesio para mejorar las propiedades físicas y mecánicas

TURNITIN-001

INFORME DE ORIGINALIDAD

21 %	19 %	5 %	7 %
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	10 %
2	Submitted to Universidad Ricardo Palma Trabajo del estudiante	3 %
3	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1 %
4	Muhammad Riaz Ahmad, Bing Chen, Jiang Yu. "A comprehensive study of basalt fiber reinforced magnesium phosphate cement incorporating ultrafine fly ash", Composites Part B: Engineering, 2018 Publicación	1 %
5	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
6	www.mdpi.com Fuente de Internet	<1 %
7	Shuaiyu Zhao, Dongpo Zhang, Yaqiang Li, Hang Gao, Xinmiao Meng. "Physical and Mechanical Properties of Novel Porous	<1 %

Dra. Vargas Chang Esther Joni

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi familia, en especial a mi mamá, a mis tíos y a mi primo Raulito por ser mi total soporte, poner su fe en mí y consejo a lo largo de esta etapa académica. A mi entrañable abuelita Tarcila por siempre guiarme.

Claudia Jesús Huaylinos Tabra

Dedico esta tesis a mi familia, a mis padres por su apoyo incondicional y su amor, a mi tía Lucila por siempre estar para mí en las buenas y malas. Gracias a toda mi familia por apoyarme y siempre creer en mí, los amo.

Katerine Ruth Santamaria Peña

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios, porque sin él no estaríamos aquí. A nuestra familia por su apoyo y amor. También queremos agradecer a nuestros asesores, la Mg. Ing. Liliana Janet Chavarría Reyes y al Dr. Ing. Carlos Magno Chavarry Vallejos por su apoyo con el desarrollo de esta tesis y por todo el conocimiento brindado.

Claudia Jesús Huaylinos Tabra

Katerine Ruth Santamaria Peña

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	xi
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	2
1.1.1. Problema e importancia	2
1.1.2. Árbol del problema (Causas-Problema-Consecuencias).....	3
1.2. Formulación del problema.....	3
1.2.1. Problema general.....	3
1.2.2. Problemas específicos	3
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.....	4
1.4.4. Muestral	4
1.5. Justificación del estudio.....	4
1.5.1. Conveniencia.....	4
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.....	5
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	7
1.9. Viabilidad del estudio	7
1.9.1. El tiempo	7
1.9.2. Espacio	7
1.9.3. Las condiciones económicas	7
1.9.4. Las fuentes de información	7
1.9.5. Recolección de los datos	7
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	8
2.1. Marco histórico	8
2.2. Investigaciones relacionadas con el tema	9
2.2.1. Investigaciones internacionales.....	9
2.2.2. Artículos relacionados con el tema	10
2.3. Estructura teórica y científica que sustenta el estudio	11
2.3.1. Cemento de fosfato de magnesio	11
2.3.2. Propiedades físicas y mecánicas	12
2.4. Definición de términos básicos.....	14
2.5. Fundamentos teóricos que sustentan las hipótesis.....	15
CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS	16
3.1. Hipótesis	16
3.1.1. Hipótesis general.....	16
3.1.2. Hipótesis específicas	16
3.2. Sistema de variables	16
3.2.1. Definición conceptual	16
3.2.2. Definición operacional.....	17
3.2.3. Operacionalización de las variables	18

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA	20
4.1. Método de la investigación método, orientación, enfoque e instrumento de recolección de datos.....	20
4.2. Tipo de la investigación.....	20
4.3. Nivel de investigación	20
4.4. Diseño de la investigación	20
4.5. Población y muestra.....	21
4.5.1. Población.....	21
4.5.2. Muestra.....	22
4.6. Técnicas e instrumentación de recolección de datos	23
4.6.1. Instrumento de recolección de datos	23
4.6.2. Métodos y técnicas.....	23
4.7. Descripción de procesamiento de análisis	23
CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	24
5.1. Resultados de la investigación.....	24
5.2. Contratación de hipótesis	48
5.2.1. Contratación de la primera hipótesis	48
5.2.2. Contratación de la segunda hipótesis	50
5.2.3. Contratación de la tercera hipótesis.....	52
5.2.4. Contratación de la cuarta hipótesis.....	54
DISCUSIÓN	56
CONCLUSIONES	58
RECOMENDACIONES	60
REFERENCIAS.....	61
ANEXOS.....	64
Anexo A: Matriz de Consistencia	65
Anexo B: Matriz de Autores	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de tecnologías de cemento alternativas emergentes y disponibles comercialmente	9
Tabla 2 Operacionalización de las variables.....	18
Tabla 3 Resumen de autores para el asentamiento	24
Tabla 4 Mezcla de morteros MPC	25
Tabla 5 Ensayo de asentamiento de las muestras a 20 °C (mm)	25
Tabla 6 Relación de composición en masa de MPC.....	26
Tabla 7 Resultados de ensayo del asentamiento con diferentes cantidades de M/P.....	27
Tabla 8 Proporciones de mezcla de morteros que contienen cenizas volantes (en peso/%).....	28
Tabla 9 Ensayo del asentamiento.....	28
Tabla 10 Resumen de autores para el tiempo de fraguado	29
Tabla 11 Tiempo de fraguado para relación M/P (min)	30
Tabla 12 Resultados de ensayo del tiempo de fraguado (min)	31
Tabla 13 Tiempo de fraguado con diferentes porcentajes de cenizas volantes (min) ...	32
Tabla 14 Resumen de autores para la resistencia a la flexión.....	34
Tabla 15 Resistencia a flexión (MPa) a 20°C con diferentes porcentajes de cenizas volantes.....	35
Tabla 16 Diseño de mezclas de especímenes MPC que comprenden cenizas volantes	36
Tabla 17 Resistencia a flexión (MPa) con respecto a la relación M/P	36
Tabla 18 Resistencia a flexión (MPa) con diferentes porcentajes de cenizas volantes .	38
Tabla 19 Proporciones de mezcla de compuestos con MPC para diferentes porcentajes de cenizas volantes.....	39
Tabla 20 Resistencia a flexión (MPa) con diferentes porcentajes de cenizas volantes ultrafinas.....	40
Tabla 21 Resumen de autores para la resistencia a la compresión	41
Tabla 22 Proporciones de la mezcla de MPC	42
Tabla 23 Valor de resistencia a la compresión del MPC con las edades de curado	42
Tabla 24 Resistencia a la compresión (MPa) a 20°C con diferentes porcentajes de cenizas volantes.....	44
Tabla 25 Influencia de la relación M/P en la resistencia a la compresión del MPC curado a 20 ± 2 °C a 1 y 28 días.....	45
Tabla 26 Resistencia a la compresión (MPa) con respecto a la relación M/P	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Árbol del problema.....	3
Figura 2 Ensayo del cono de Asentamiento	13
Figura 3 Mapa conceptual	15
Figura 4 Asentamientos a temperatura de 20°C para una relación de M/P de 4	26
Figura 5 Asentamientos para muestras con diferentes cantidades de M/P	27
Figura 6 Asentamientos para una relación de M/P de 4	28
Figura 7 Tiempo de fraguado a temperaturas de 20°C para relación M/P (min)	30
Figura 8 Tiempos de fraguado con diferentes relaciones M/P (min)	31
Figura 9 Tiempo de fraguado para diferentes porcentajes de cenizas volantes (min)...	33
Figura 10 Resistencia a la flexión para diferentes porcentajes de cenizas volantes	35
Figura 11 Resistencia a la flexión para diferentes días de curado (MPa).....	37
Figura 12 Resistencia a la flexión para diferentes porcentajes de cenizas volantes	38
Figura 13 Resistencia a la flexión para diferentes porcentajes de cenizas volantes ultrafinas (MPa).....	40
Figura 14 Resistencia a la compresión para diferentes relaciones M/P.....	43
Figura 15 Resistencia a la compresión para diferentes porcentajes de cenizas volantes.....	44
Figura 16 Influencia de la relación M/P en la resistencia a la compresión del MPC curado a 20 ± 2 °C a 1 y 28 días.....	46
Figura 17 Resistencia a la compresión para diferentes días de curado.....	47
Figura 18 Asentamiento-Muestras Relaciones de M/P (mm).....	48
Figura 19 Tiempo de fraguado-Muestras Patrón y Relaciones de M/P (min)	50
Figura 20 Resistencia a la flexión a los 28 días para diferentes relaciones M/P	52
Figura 21 Resistencia a la compresión a los 28 días para diferentes relaciones M/P....	54

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

- M:** Óxido de magnesio o magnesia (MgO)
- P:** Fosfato monoamónico o dihidrógeno fosfato de amonio ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$)
- Bx:** Bórax
- FA:** Cenizas volantes
- M/P:** Relación óxido de magnesio-fosfato monoamónico
- MPC:** Cemento de fosfato de magnesio
- SA:** Acetato de sodio anhidro
- STP:** Tripolifosfato de sodio o trifosfato de sodio
- W/B:** Relación agua-material cementante o también llamado relación agua-materiales cementicios

RESUMEN

Esta investigación tuvo como objetivo general determinar la mezcla de concreto con cemento de fosfato de magnesio para mejorar las propiedades físicas y mecánicas. Se analizaron diferentes relaciones de óxido de magnesio/fosfato monoamónico (M/P) para el asentamiento, tiempo de fraguado, resistencia a la flexión y compresión. La presente tesis fue documental, de método deductivo, orientación aplicada y retrolectiva, de tipo descriptiva, correlacional y explicativa. Nivel descriptivo, y diseño no experimental, recopilando artículos internacionales actualizados. Según los resultados se obtuvo que para el cemento de fosfato de magnesio con una relación M/P de 4/1 mejoró el asentamiento en un 3.53% con 5% de ceniza volante, con una relación M/P de 2/1 redujo el tiempo de fraguado en un 17.27% con 30% de ceniza volante, con una relación M/P de 3/1 incrementa la resistencia a la flexión en un 4.1% con 20% de cenizas volantes y con una relación M/P de 3/1 se obtiene una resistencia a la compresión en un 13.57% con 20% de cenizas volantes. Finalmente, el cemento de fosfato de magnesio logró muestras muy trabajables y de consistencias fluidas, con tiempo de fraguados cortos y altas resistencias. Se demostró que el incremento de la resistencia a la compresión y flexión es directamente proporcional al aumento de la relación M/P hasta cierto valor.

Palabras Clave: Cemento de fosfato de magnesio, asentamiento, tiempo de fraguado, resistencia a la flexión, resistencia a la compresión

ABSTRACT

This research had the general objective of determining the mixture of concrete with magnesium phosphate cement to improve the physical and mechanical properties. Different magnesium oxide/phosphate (M/P) ratios were analyzed for slump, setting time, flexural and compression strength. This thesis was documentary, with a deductive method, applied and retrolective orientation, descriptive, correlational and explanatory. Descriptive level, and non-experimental design, compiling updated international articles. According to the results, it was obtained that for magnesium phosphate cement with an M/P ratio equal to 4/1, the slump improved by 3.53% with 5% fly ash, with an M/P ratio equal to 2/1 it reduced the setting time by 17.27% with 30% fly ash, with an M/P ratio equal to 3/1 increases the flexural strength by 4.1% with 20% fly ash and with an equal M/P ratio At 3/1, a compressive strength of 13.57% is obtained with 20% fly ash. Finally, the magnesium phosphate cement achieved very workable samples with fluid consistency, with short setting times and high resistance. It was shown that the increase in compressive and flexural strength is directly proportional to the increase in the M/P ratio up to a certain value.

Keywords: Magnesium phosphate cement, workability, setting time, flexural strength, compressive strength

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el mundo está viviendo unos tiempos críticos con respecto al daño ocasionado al medio ambiente. Las industrias son una de las principales causantes del cambio climático en el mundo, siendo una de ellas el sector de la construcción. Asimismo, el cemento portland a pesar de ser el material más utilizado dentro de la industria de la construcción, su producción representa uno de los mayores factores de emisión de CO₂. A pesar del impacto negativo, la industria de la construcción seguirá expandiéndose debido a las emergentes necesidades de los países en vías de desarrollo de implementar más infraestructuras en sus ciudades, por ello es importante desarrollar estrategias sostenibles como el uso de nuevas tecnologías y materiales. Por estas razones se estudia al cemento de fosfato de magnesio (MPC) como una alternativa respetuosa con el medio ambiente.

Este trabajo tiene como finalidad buscar la sostenibilidad del concreto, por ello se propone al MPC para reemplazar totalmente al cemento portland tradicional, mejorar sus propiedades y cuidar al medio ambiente.

La actual tesis permite profundizar el conocimiento acerca de la mezcla de concreto con MPC para mejorar las propiedades físicas y mecánicas, debido a que desarrolla una nueva propuesta de cemento y aporta una estrategia innovadora en la industria de la construcción.

Esta tesis abarca cinco capítulos. El primer capítulo trata sobre el planteamiento del problema, objetivos, delimitaciones, justificaciones e importancia. El siguiente capítulo contempla el marco teórico, en el cual se recopila información bibliográfica relacionada con el tema. El tercer capítulo describe el sistema de hipótesis, el cual contiene la formulación de hipótesis y el sistema de variables. El cuarto capítulo desarrolla la metodología, el cual contempla el método de investigación, tipo, nivel, diseño, población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos y la descripción de procesamiento de análisis. El quinto capítulo detalla el análisis y contrastación de los resultados. Por último, se desarrolla la discusión, conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

1.1.1. Problema e importancia

“El hormigón no sólo es el material de construcción más utilizado del mundo, sino que es el material más utilizado en general después del agua, por una razón. Es abundante, asequible, disponible localmente y puede utilizarse de innumerables maneras” (*Global Cement and Concrete Association*, 2021, p. 08). Sin embargo, desde hace decenas de años el concreto convencional viene contribuyendo a la contaminación del medio ambiente. Según la Organización Meteorológica Mundial (2021) “en 2020, el CO₂ atmosférico alcanzó una concentración equivalente al 149 % del nivel preindustrial, principalmente debido a las emisiones procedentes de la quema de combustibles fósiles y la producción de cemento” (p. 6).

Un gran número de estructuras son de concreto, las cuales son perjudicadas por diversas cargas a lo largo de su vida útil. Además, el concreto se deteriora debido a la infiltración de agua, actividad sísmica, corrosión, etc., por eso es importante realizar mantenimientos periódicos a la estructura para protegerlas y prolongar su vida útil, evitando la demolición o reconstrucción de obras.

Actualmente en el país encontramos muchos escenarios de pavimentos deteriorados con baches, fisuras, etc. los cuales perjudican a la transitabilidad y generan malestar en los conductores. Estas fallas pudieron evitarse reparando el pavimento sin embargo esto evidencia un sistema de transporte deficiente que sufrimos en nuestro país.

Adicionalmente, el tiempo de fraguado del concreto es una de las mayores preocupaciones, debido a que si hay presencia de climas cálidos la superficie del concreto se secura antes de que haya fraguado, formándose grietas por contracción plástica. En el caso de climas fríos el fraguado tardará más de lo normal, como consecuencia puede generar agrietamientos y retrasos en la obra.

Una forma sostenible para mitigar los problemas antes mencionados es el uso del MPC, el cual es una excelente opción como conglomerante ya que mejoran las propiedades físico-mecánicas del concreto; además, a diferencia del cemento Portland convencional reduce notablemente la contaminación ambiental.

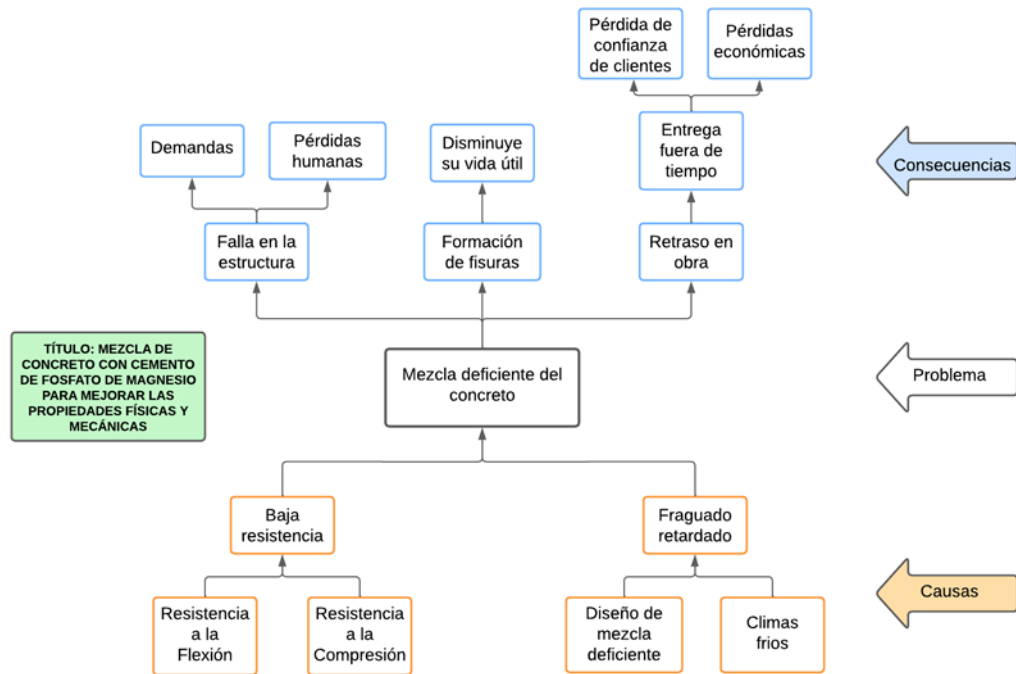
La presente investigación analizará el MPC para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del concreto.

1.1.2. Árbol del problema (Causas-Problema-Consecuencias)

A continuación, se muestra el árbol del problema en la Figura 1.

Figura 1

Árbol del problema



Nota. Elaboración propia

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿De qué manera la mezcla de concreto con cemento de fosfato de magnesio contribuye en las propiedades físicas y mecánicas?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿De qué manera la relación de magnesio y fosfato contribuye en el asentamiento?
- ¿De qué manera la relación de magnesio y fosfato contribuye en el tiempo de fraguado?
- ¿De qué manera la relación de magnesio y fosfato contribuye en la resistencia a la flexión?
- ¿De qué manera la relación de magnesio y fosfato contribuye en la resistencia a la compresión?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Determinar la mezcla de concreto con cemento de fosfato de magnesio para mejorar las propiedades físicas y mecánicas.

1.3.2. Objetivos específicos

- a) Determinar la relación de magnesio y fosfato para mejorar el asentamiento.
- b) Determinar la relación de magnesio y fosfato para reducir el tiempo de fraguado.
- c) Determinar la relación de magnesio y fosfato para incrementar la resistencia a la flexión.
- d) Determinar la relación de magnesio y fosfato para incrementar la resistencia a la compresión.

1.4. Delimitación de la investigación

1.4.1. Geográfica

Esta tesis abarca diversas fuentes bibliográficas de investigación experimental, donde presentan ensayos de laboratorio del concreto.

1.4.2. Temporal

La tesis se realizó en el 2023.

1.4.3. Temática

La tesis propuesta tiene como tema de estudio el diseño del concreto con MPC (variable independiente) para mejorar las propiedades físicas y mecánicas.

1.4.4. Muestral

La unidad de análisis de la investigación fue estudiar el concreto con diferentes relaciones M/P, la incorporación de cenizas volantes, y su contribución en el tiempo de fraguado, asentamiento, resistencia a la compresión y flexión de ensayos de laboratorio obtenidos de artículos internacionales.

1.5. Justificación del estudio

La finalidad de la presente tesis es proponer una opción innovadora para el diseño del concreto, utilizando un material inorgánico para reemplazar totalmente al cemento portland, y mejorar sus propiedades físicas y mecánicas.

1.5.1. Conveniencia

El propósito de la actual tesis es demostrar que utilizando MPC dentro del diseño del concreto, se optimizan las propiedades físicas y mecánicas. Adicionalmente, esta investigación será de utilidad como antecedente para una variedad de estudios aplicados bajo el enfoque en el diseño del concreto con MPC.

1.5.2. Relevancia social

Esta tesis aporta una solución en beneficio de la comunidad, ya que busca mejorar las propiedades del concreto, logrando una mezcla eficiente y viable para el desarrollo de diferentes obras de infraestructura.

El cemento Portland es el material más utilizado y uno de los más contaminantes, su campo de aplicación abarca desde la reparación de fisuras hasta la construcción de puentes, es por ello que se debe tomar acciones para obtener un cemento con cero emisiones de CO₂. Una acción para lograr la sostenibilidad del hormigón es el uso del MPC el cual reemplaza totalmente al cemento portland tradicional, mejora sus propiedades y cuida al medio ambiente.

1.5.3. Aplicaciones prácticas

La aplicación práctica de la tesis consiste en ayudar a resolver problemas reales del concreto, ejemplificando los siguientes casos: fraguado retardado, variación en asentamiento y bajas resistencias mecánicas. Por ello, se estudió el diseño de mezcla con MPC y cenizas volantes para optimizar la resistencia del concreto y contribuir a sus propiedades físicas.

1.5.4. Utilidad metodológica

El método utilizado para la recolección de datos es la observación indirecta, se hará uso de los resultados obtenidos de varios documentos y artículos sobre el tiempo de fraguado, asentamiento, resistencia a la flexión y compresión.

1.5.5. Valor teórico

Esta investigación busca ser fuente para futuros investigadores sobre la contribución del cemento a base de fosfato de magnesio, desde un enfoque relacionado a la viabilidad al utilizar este cemento.

Se busca promover su uso para mejorar el desempeño del concreto convencional y obtener diseños de mezclas con materiales innovadores, ayudando a crear una base de datos que ayuden a formular nuevas hipótesis.

1.6. Importancia del estudio

La presente tesis es importante porque tiene como objetivo ampliar el conocimiento relacionado al concreto implementando MPC. Cabe mencionar que la producción del cemento es uno de los sectores más contribuyentes a la crisis climática, demostrando que la búsqueda de nuevos materiales de construcción debe ser importante en este sector. Además, esta propuesta contribuye a la implementación de nuevas tecnologías, manuales y normas que aportarán a la optimización de costos y al alcance de un proyecto.

1.6.1. Nuevos conocimientos

Esta tesis brinda información importante sobre el MPC y las cenizas volantes en el concreto y las mejoras que producen en sus propiedades físicas y mecánicas. Asimismo, promueve y amplía los estudios sobre la incorporación de estos productos inorgánicos, en especial del MPC, el cual no es muy utilizado nacionalmente.

1.6.2. Aporte

Como profesionales debemos contribuir positivamente en la sociedad y el medio ambiente, es por ello que se decidió estudiar un conglomerante novedoso que impacte e innove en el diseño del concreto. Además, engloba una comparación de los diseños del concreto con MPC y cenizas volantes, que ayudará a encontrar diseños óptimos.

1.7. Limitaciones del estudio

1.7.1. Falta de estudios previos de investigación

Las fuentes de información sobre el MPC son escasas nacionalmente. Por consiguiente, se recolectó estudios de investigaciones internacionales e información de artículos respecto al tema de esta tesis. Adicionalmente, como es un estudio bibliográfico, en esta tesis no se realizan visitas a campo, ni visitas a plantas de concreto ni ensayos de laboratorio.

1.7.2. Metodológicos o prácticos

Existe un pequeño sesgo en los resultados debido a que algunos ensayos de laboratorio de las bibliografías consultadas no están descritos puntualmente. Además, los artículos encontrados poseen diferentes unidades de medida con respecto a los componentes del concreto, lo cual conlleva a realizar conversiones que casi siempre no reflejan precisión en los resultados.

1.7.3. Medidas para la recolección de los datos

Para mejorar las propiedades del concreto, se realizan comparaciones entre diferentes artículos de las investigaciones encontradas. Entre ellas consideran diferentes relaciones entre magnesio y fosfato, diferentes tamaños de probetas, diferentes porcentajes de agregados, diferentes porcentajes de cenizas volantes, incorporación de otras adiciones, etc., con el fin de optimizar sus propiedades del concreto.

1.7.4. Obstáculos en la investigación

Al realizar una tesis no experimental, el tamaño de la muestra es el obstáculo más significativo, debido a que se encontró resultados donde no mencionan la relación M/P utilizada o se utiliza la misma relación para cada una de las muestras. También se omiten la distribución de los materiales en las mezclas del concreto (ag. fino, ag. grueso, agua,

cemento, etc.). Al no contar con nuestros propios datos debemos establecer límites en nuestra población de estudio.

1.8. Alcance

La presente investigación estudia al MPC como aglomerante de la mezcla de concreto para mejorar sus propiedades físicas, estas son el tiempo de fraguado y el asentamiento, y sus propiedades mecánicas como la resistencia a la compresión y flexión, para garantizar un diseño óptimo.

1.9. Viabilidad del estudio

1.9.1. El tiempo

La tesis se desarrolló en un periodo de 6 meses (Mayo-Octubre).

1.9.2. Espacio

La tesis se realizó en la región de Lima Metropolitana, departamento de Lima.

1.9.3. Las condiciones económicas

Debido a que es una investigación descriptiva, se incluye el pago por la asesoría que nos brinda el asesor metodológico y especialista en el área, los servicios de luz e internet.

1.9.4. Las fuentes de información

Se recopilan datos que se encuentran tanto como en tesis, libros, artículos, revistas y páginas web de ámbito internacional.

1.9.5. Recolección de los datos

Se recolectó información bibliográfica de las bases de datos de recursos científicos como Scopus, Knovel, ProQuest, etc.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Marco histórico

Según Hipedinger (2007), “Si bien son más caros que los productos basados en cemento Pórtland, estos materiales encuentran su nicho de aplicación cuando los cementos tradicionales fallan o cuando la rapidez en restablecer el servicio es esencial” (p. 24).

“Fue descubierto y desarrollado por primera vez como cemento dental a finales del siglo XIX” (Haque y Chen, 2019, p. 2). Desde su descubrimiento se pudo conocer que este aglomerante posee características beneficiosas de gran aporte no solo en la construcción sino en otras ramas como la odontología, escultura, etc.

Hipedinger (2007) afirma que:

La primera patente se remonta a 1945, en la cual C. E. Elvery detallaba un procedimiento para preparar un material de fraguado rápido para moldear objetos artísticos de “piedra artificial”, consistente en un sólido inerte, un sólido inorgánico básico (preferentemente magnesia) y una sal inorgánica sólida (preferentemente un fosfato diácido de amonio o de un metal alcalino). La reacción con agua producía un cemento que fraguaba en un tiempo corto y predeterminado. (p. 24)

Debido a la creciente preocupación por el cambio climático, organizaciones de carácter internacional se vieron obligadas a establecer objetivos para el cuidado del medio ambiente. Por ello, la industria del cemento como uno de los grandes sectores contaminantes en su época, busca innovar en la producción del cemento para lograr reducir las emisiones de CO₂ que aportan al mundo.

El concreto, teniendo al cemento como componente principal, debía realizar cambios para lograr diseños de mezclas amigables con el medio ambiente, por lo tanto, se empezó a utilizar diferentes materiales de construcción.

Según Hipedinger (2007), “Así, a principios de la década del 70, comenzó en Estados Unidos la aplicación en forma experimental de los MPC como material para reparaciones rápidas de carreteras de hormigón, usando sistemas de uno o dos componentes” (p. 24).

En el año 1977, la Junta de Investigación del Transporte (TRB) aprobó al MPC en su uso en carreteras como material de reparación.

Durante las últimas décadas, el campo de aplicación de este cemento ha sido muy variado, se ha utilizado en reparaciones de concretos, diseño de materiales de medicina, rehabilitación de estructuras, etc.

Hoy en día se conoce que el fosfato de magnesio, que es uno de los componentes de este cemento, ayuda a absorber CO₂ siendo este cemento un sustituto prometedor. A continuación, según *ACI Innovation Task Group 10* podemos ver en la Tabla 1 los nuevos materiales cementicios emergentes actualmente.

Tabla 1

Clasificación de tecnologías de cemento alternativas emergentes y disponibles comercialmente

Clinkered alternative cements	Calcium aluminate Reactive belite Calcium sulfoaluminate Carbonated calcium silicate
Calcined alternative cements	Magnesium oxychloride Magnesium phosphate Magnesium ammonium phosphate Magnesium potassium phosphate
Non-clinkered alternative cements	Alkali-activated Fly ash Slag Recycled glass Supersulfated cement

Nota. Adaptado de “*Report on Alternative Cements*” (p. 4), por *ACI Innovation Task Group 10* (2018)

2.2. Investigaciones relacionadas con el tema

2.2.1. Investigaciones internacionales

Bilginer (2018) manifiesta:

Estudió al cemento de fosfato como aglutinante prometedor con respecto al cemento Portland, analizan la influencia de indicadores como relación de magnesio y fosfato, relación agua-aglutinante y bórax, para ver la influencia en las propiedades físicas y mecánicas del concreto. Se obtuvieron resultados de tiempos de fraguado entre 4 y 10 min, con resistencias a la compresión de aproximadamente 50 MPa. (pp. 11-66)

Almashaqbeh (2019) declara:

Se estudió las propiedades físicas, mecánicas, térmicas y químicas del cemento de fosfato de magnesio que muestran resultados superiores de sus propiedades de alta resistencia a la compresión, tiempo de fraguado rápido y excelente durabilidad.

Los resultados resultaron que la microestructura de la pasta de MPC se ve muy influenciada por la adición de ácido bórico. (p. 167)

Cobos (2021) afirma:

Estudió hormigones bio-receptivos, entre los cuales se encuentra el concreto con cemento de fosfato de magnesio. Se estudió las propiedades intrínsecas como porosidad, rugosidad y pH superficial, para mejorar las propiedades mecánicas, teniendo como variables a las condiciones externas y la composición del material. Se propuso métodos para mejorar la bioreceptividad del concreto, así como otros materiales de reemplazo por los agregados. (pp. 153-155)

2.2.2. Artículos relacionados con el tema

Zhao et al. (2022) manifestaron:

Evaluó el valor de pH, resistencia a la compresión del MPC y se analizó la estructura de poros. La alcalinidad y la resistencia a la compresión del MPC aumentaron con la adición de cenizas volantes y escoria molida de alto horno, y este último señala efectos más significativos sobre la alcalinidad y la resistencia a la compresión que las cenizas volantes. Se obtuvo que la resistencia a la compresión del MPC alcanzó el valor máximo de 49,2 MPa cuando el P/M era de 1/4. Lo que resulta que el cemento de fosfato amónico de magnesio mejora el fraguado y endurecimiento muy rápido, alta resistencia inicial, pequeña contracción por secado, además de endurecimiento a baja temperatura. (p. 1)

Ahmad et al. (2018) afirmaron:

Este estudio investigó la influencia de las cenizas volantes ultrafinas (FA) en las propiedades mecánicas, la resistencia a temperaturas elevadas y la estabilidad del agua del cemento de fosfato de magnesio reforzado con fibra de basalto. Los resultados experimentales mostraron que la incorporación de FA mejoró las propiedades mecánicas, la resistencia a la temperatura y la estabilidad al agua de los compuestos MPC. (p. 1)

Haque et al. (2020) testificaron:

El estudio actual agregó cenizas volantes (FA) y bauxita como aditivos en mezclas de MPC para mejorar la densidad estructural y la permanencia del agua. Se diseñaron seis combinaciones diferentes basadas en MPC puro, MPC con FA y MPC mezclado con FA y bauxita. Los resultados analíticos mostraron que los morteros MPC preparados con FA (un tercio de óxido de magnesio, M) y bauxita (12% de M) presentaron resistencia superior a la compresión (CS) alrededor de

92,7 MPa y 90,4 MPa, y resistencia a la flexión (FS) alrededor de 13,7. MPa y 10,3 MPa en ambientes de aire y agua, respectivamente, que tenían una resistencia cercana a un 25% mayor que la muestra de control. (p. 1)

Jia et al. (2021) manifestaron:

Analizaron las influencias de magnesia/fosfato calcinado a muerte (M/P), bórax/magnesia calcinada (Bx/M) y agua/MPC para una relación M/P (3, 3.5, 4, 4.5, 5). Donde demostraron que el tiempo de fraguado de MPC en temperaturas negativas disminuyó notablemente cuando la relación M/P aumentó de 3 a 5, al igual que la resistencia inicial de compresión del MPC que aumentó aproximadamente un 50% cuando la relación M/P aumentó de 3 a 5. Por otro lado, la relación M/P tuvo una ligera influencia en el asentamiento. (pp. 1-5)

Liu et al. (Diciembre 2022) declararon:

Investigó acerca de las propiedades físicas y mecánicas del mortero de reparación de cemento de fosfato de magnesio (MPC) modificado con cenizas volantes curado a 0 °C y 20 °C, fueron estudiados comparativamente en este trabajo. Los resultados muestran que, al aumentar las cenizas volantes (FA) mejoran la resistencia a la compresión, el tiempo de fraguado, la fluidez, la resistencia a la flexión. (p. 1)

Liu et al. (Julio 2022) manifestaron:

Investigó la influencia de FA y MK en la trabajabilidad, características reológicas, resistencia a la flexión, resistencia a la compresión y contracción por secado del MPC. Se prepararon muestras de MPC con diferentes porcentajes de FA y MK por reposición de peso. Los resultados indican que una dosis adecuada de MK y FA podría disminuir la fluidez del MPC y retrasar el tiempo de fraguado. (p. 1)

2.3. Estructura teórica y científica que sustenta el estudio

2.3.1. *Cemento de fosfato de magnesio*

Según Yu et al. (2021) “El cemento de fosfato de magnesio (MPC) es un tipo de cerámica de fosfato químicamente ligada que se compone de fosfatos y óxido de magnesio (M) quemado” (p. 1). El principal producto de hidratación es la estruvita, la cual es resultante de las reacciones químicas de las materias primas del MPC.

De acuerdo a Yu et al. (2021) “El MPC se compone de dihidrógeno fosfato de amonio ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$), óxido de magnesio (M) calcinado, bórax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) y cenizas volantes en una determinada proporción” (p. 2).

Entre sus aplicaciones podemos mencionar la estabilización de metales pesados, material de reparación de obras civiles (edificios y pavimentos), aplicación clínica como materiales biocompatibles, etc.

Liu et al. (2022) afirman que el “MPC tiene excelentes propiedades mecánicas y trabajabilidad a temperatura ambiente y puede hidratarse y endurecerse en condiciones de temperatura más alta o más baja, lo que indica que tiene buena adaptabilidad a diversas temperaturas” (p. 2).

Algunas de sus desventajas del MPC son su baja resistencia en presencia al agua e inestabilidad causada por el M o sales de fosfato sin reaccionar.

Ahmad et al. (2018) resaltaron que “Los aglutinantes del MPC se mezclan comúnmente con FA para reducir el costo de producción, la intensidad exotérmica y la demanda de agua. También mejora la trabajabilidad del aglutinante a través del efecto de rodamiento de bolas” (p. 2).

2.3.2. Propiedades físicas y mecánicas

a) Propiedades físicas

Asentamiento

Según *Portland Cement Association* (2004), “El ensayo de asentamiento se utiliza para evaluar la consistencia del hormigón. Según una proporción dada de cemento y agregado, la mezcla se hace más húmeda cuanto más asentamiento hay” (p. 191).

La medición del asentamiento del concreto se rige por la Norma ASTM C143 y la Norma Técnica Peruana NTP 339.035.

Kosmatka et al. (2004) define al asentamiento como:

El ensayo de revenimiento (asentamiento) se usa para medir la consistencia del concreto. Para una dada proporción de cemento y agregado, sin aditivos, cuanto mayor el revenimiento, más húmeda es la mezcla. El revenimiento es un indicador de trabajabilidad cuando se evalúan mezclas similares. (p. 191)

Según Indecopi (2009) manifiesta:

Este método solo se puede utilizar en concretos plásticos con agregados de hasta 37,5 mm de tamaño. Si en caso el agregado es superior, este ensayo se ejecuta con la porción de concreto que pasa el tamiz de 37,5 mm, retirando los agregados más grandes. (p. 2)

Este experimento se lleva a cabo en un molde metálico troncocónico, el cual se llena con tres tapas que se compactan cada una de estas con 25 golpes de varilla. Básicamente, consiste en medir la reducción de la altura del concreto en estado

fresco. A mayor disminución de altura es mayor el asentamiento. A continuación, se muestra el ensayo del cono de Asentamiento en la Figura 2.

Figura 2

Ensayo del cono de Asentamiento



Nota. Adaptado de “Prueba de asentamiento”, por Córdova et al., 2012.

Tiempo de Fraguado

Según *American Concrete Institute* (2023), “(1) tiempo para lograr el fraguado inicial o el fraguado final (ver también fraguado inicial y fraguado final); (2) el tiempo requerido para fraguar o endurecer la resina o el adhesivo bajo calor o presión” (p. 60).

Según Indecopi (2016), “Para determinar el tiempo de fraguado, su método de ensayo se rige por la Norma ASTM C403 y la Norma Técnica Peruana NTP 339.082” (p. 1).

De acuerdo a la norma ASTM C403, este método de ensayo proporciona un medio para determinar el cumplimiento de un límite de especificación para el tiempo de fraguado de Vicat.

b) Propiedades mecánicas

Resistencia a la Flexión

Según *American Concrete Institute* (2013), “La resistencia máxima medida de un espécimen de concreto a la carga de flexión y reportada como módulo de ruptura” (p. 29).

Según Indecopi (2012) afirma:

La Norma Técnica Peruana NTP 339.078 tiene como antecedente la Norma ASTM C78 sirve para determinar la resistencia a la flexión del concreto con carga central en vigas simplemente apoyadas con carga a los tercios del tramo establece el método para medir la resistencia a la flexión de las vigas simplemente apoyadas

con cargas a los tercios de la luz. De acuerdo a la ubicación de la falla, el módulo de rotura se calcula dentro del tercio medio o a una distancia de este no mayor del 5 % de la luz libre. (p. 1)

Resistencia a la Compresión

Según Kosmatka et al. (2004), “La resistencia a compresión se puede definir como la medida máxima de la resistencia a carga axial de especímenes de concreto. Normalmente, se expresa en kilogramos por centímetros cuadrados (kg/cm^2)” (p. 8).

De acuerdo a Indecopi (2015), “Esta normativa peruana establece la determinación de la resistencia a la compresión en especímenes cilíndricos de concreto y extracciones diamantinas de concreto. Está limitado al concreto que tiene una masa unitaria mayor de 800 kg/m^3 ” (p. 1).

Según Carbonel y Quinteros (2021), “Este ensayo de laboratorio tiene como objetivo aplicar una carga axial de compresión a los cilindros moldeados hasta que presente una falla y así poder determinar la resistencia a la compresión máxima que soporta” (p. 100).

2.4. Definición de términos básicos

Cemento Portland

“Los cementos portland son cementos hidráulicos compuestos principalmente de silicatos hidráulicos de calcio. Los cementos hidráulicos fraguan y endurecen por la reacción química con el agua” (Kosmatka et al., 2004, p. 25).

Cenizas Volantes

Según *American Concrete Institute* (2023), “El residuo finamente dividido que resulta de la combustión de tierra o carbón en polvo y que es transportado por los gases de combustión desde la zona de combustión hasta el sistema de eliminación de partículas” (p. 33).

Relación Agua-Aglutinante

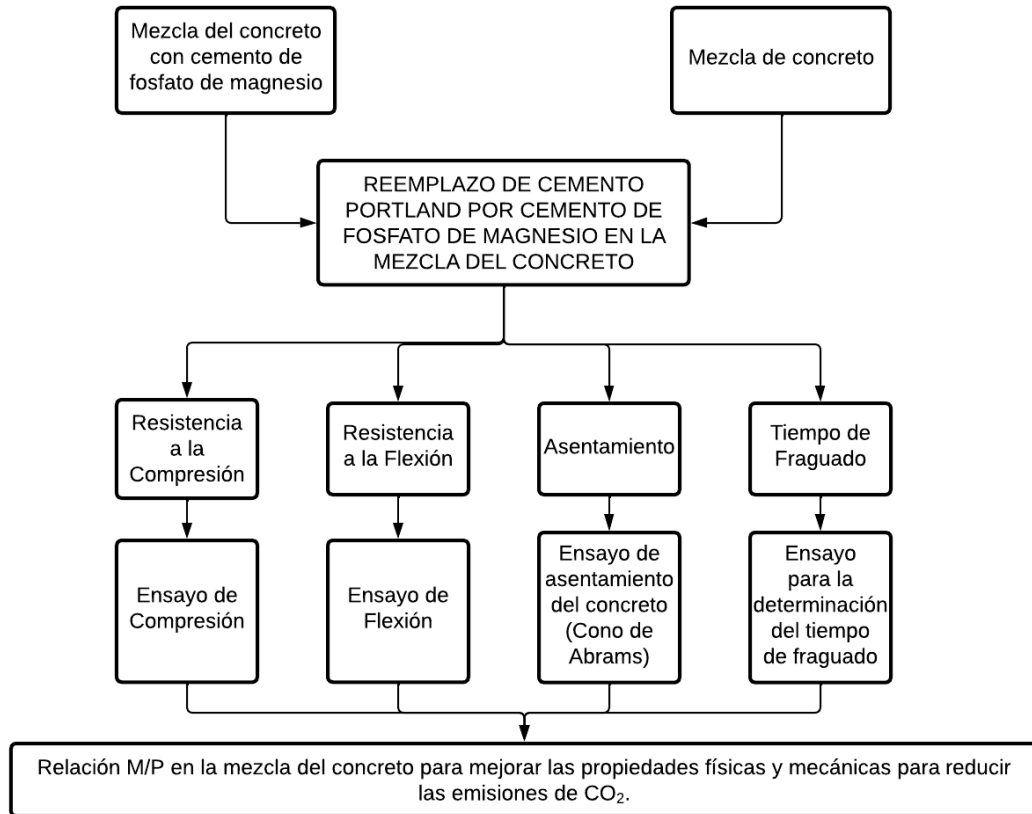
“La proporción de agua respecto a la cantidad total de materiales cementantes y los materiales cementantes se refieren a M, P, cenizas volantes (FA), y bórax” (Zhao et al., 2022, p. 2).

2.5. Fundamentos teóricos que sustentan las hipótesis

A continuación, se muestra el mapa conceptual en la Figura 3.

Figura 3

Mapa conceptual



Nota. Elaboración propia

CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS

3.1. Hipótesis

3.1.1. *Hipótesis general*

Al analizar la mezcla de concreto con cemento de fosfato de magnesio mejoran las propiedades físicas y mecánicas.

3.1.2. *Hipótesis específicas*

- a) Al analizar la relación de magnesio y fosfato mejora el asentamiento.
- b) Al analizar la relación de magnesio y fosfato reduce el tiempo de fraguado.
- c) Al analizar la relación de magnesio y fosfato incrementa la resistencia a la flexión.
- d) Al analizar la relación de magnesio y fosfato incrementa la resistencia a la compresión.

3.2. Sistema de variables

3.2.1. *Definición conceptual*

Variable dependiente

- *Propiedades físicas*

Según Kosmatka et al. (2004) manifiesta:

Las pruebas físicas y las propiedades del concreto se usan para medir la aceptación. Estas especificaciones no siempre tienen límites de aceptación para los ensayos de control de proceso, tales como revenimiento (asentamiento), o límites de las cantidades de los ingredientes del concreto. (p. 325)

- *Propiedades mecánicas*

Según Aceros Arequipa (2020) manifiesta:

Es la propiedad que hace posible que este soporte la carga que va a ir encima de él. Gracias a esta cualidad, este no se deforma permanentemente ni se agrieta. En las propiedades mecánicas podemos encontrar la resistencia a la tracción, compresión, flexión, cortadura y torsión. (p. 4)

Variable independiente

- *Mezcla de concreto con cemento de fosfato de magnesio*

“El cemento de fosfato de magnesio (MPC) es un tipo de cerámica de fosfato químicamente ligada que se compone de fosfatos y óxido de magnesio (M) quemado” (Yu et al., 2021, p. 1).

3.2.2. Definición operacional

Variable dependiente

- *Propiedades físicas*

Las propiedades físicas se determinan mediante mediciones u observación. En la presente investigación, se reunieron datos del cemento de fosfato de magnesio con la incorporación de cenizas volantes y su trabajabilidad, resistencia, asentamiento y tiempo de fraguado.

- *Propiedades mecánicas*

Cada resistencia se puede comprobar mediante sus respectivos ensayos de laboratorio desde diferentes investigaciones previas, precisando sus resistencias a la compresión y flexión.

Variable independiente

- *Mezcla de concreto con cemento de fosfato de magnesio*

Las propiedades mecánicas aportadas por esta mezcla se determinan de acuerdo a la relación entre magnesio y fosfato y el porcentaje de cenizas volantes.

3.2.3. Operacionalización de las variables

A continuación, se muestra el cuadro de operacionalización de variables en la tabla 2.

Tabla 2

Operacionalización de las variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida	Escala	Instrumento	Herramienta	Ítems
V. I. Mezcla de concreto con cemento de fosfato de magnesio	“El cemento de fosfato de magnesio (MPC) es un tipo de cerámica de fosfato químicamente ligada que se compone de fosfatos y óxido de magnesio (M) quemado” (Yu et al., 2021, p. 1).	Las propiedades físicas y mecánicas aportadas por esta mezcla se determinan de acuerdo a la relación entre magnesio y fosfato.	Acción de inorgánicos	Relación de magnesio y fosfato	M/P	Cuantitativa continua		ASTM C 311 NTP 334.055, NTP 334.066, NTP 334.117	
V. D. Propiedades físicas	“Las pruebas físicas y las propiedades del concreto se usan para medir la aceptación. Estas especificaciones no siempre tienen límites de aceptación para los ensayos de control de proceso, tales como revenimiento (asentamiento), o límites de las cantidades de los ingredientes del concreto.” (Kosmatka et al., 2004, p. 325)	Las propiedades físicas se determinan mediante mediciones u observación. En la investigación, se recopiló datos sobre cómo actúa el cemento de fosfato de magnesio, con la incorporación de cenizas, en su trabajabilidad, contracción, asentamiento y tiempo de fraguado.	Estado fresco Estado plástico	Asentamiento Tiempo de fraguado	mm min	Cuantitativa continua	Normas nacionales e internacionales, tesis de grado, libros, investigaciones, entre otros.	ASTM C143/NTP 339.035 NTP 339.082/ASTM C403 ASTM C39 NTP 339,034	Indicado en los formatos

<p>V. D. Propiedades mecánicas</p>	<p>"La resistencia mecánica de un material se define como su capacidad para soportar las fuerzas externas que serán aplicadas sobre él, sin experimentar agrietamientos, sin deformarse de manera permanente, quebrarse o perder su consistencia. En las propiedades mecánicas podemos encontrar la resistencia a la tracción, compresión, flexión, cortadura y torsión" (Aceros Arequipa, s.f.).</p>	<p>Cada resistencia se puede comprobar mediante sus respectivos ensayos de laboratorio desde diferentes investigaciones previas, precisando sus resistencias a la compresión y flexión.</p>	<p>Estado endurecido</p>	<p>Compresión</p>	<p>MPa</p>	<p>Cuantitativa continua</p>
				<hr/>		

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA

La presente tesis fue documental debido a que reunió, seleccionó, analizó y comparó investigaciones experimentales de diseño de concreto con MPC para mejorar las propiedades mecánicas y físicas del concreto. Se buscó la mezcla de concreto óptima y viable posible, un diseño de concreto con gran resistencia y un buen comportamiento en su estado físico, que fuera mejor a comparación del concreto tradicional.

Se utilizó fuentes de información que involucraron las variables en estudio como tesis, artículos, libros, revistas, etc.. Además, se desarrolló tablas y figuras para sintetizar los resultados recopilados y sustentar nuestras hipótesis.

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

La tesis fue deductiva, porque el objetivo principal era verificar que se optimizó las propiedades mecánicas y físicas del concreto a través de la variable independiente. Era de orientación aplicada porque pretendió responder la problemática del estudio, propuso un diseño de mezcla usando una óptima composición del MPC y fue retroactivo porque se recolectó datos de artículos pasados.

4.2. Tipo de la investigación

Fue descriptivo, correlacional y explicativo, porque se originó desde la descripción de la problemática, validó las hipótesis con los artículos encontrados; además, señaló la correlación que existe entre las variables de estudio, debido a que las propiedades del concreto dependen del MPC y la incorporación de las cenizas volantes.

4.3. Nivel de investigación

Puesto que se estudiaron las variables dependiente e independiente, mediante los resultados de los ensayos de laboratorio a partir de artículos recopilados para la actual tesis, fue descriptivo. Asimismo, dió acceso a medir la variable dependiente a través del análisis del diseño de mezcla con MPC y su impacto en el diseño de mezcla que logra mejorar las propiedades físicas y mecánicas del concreto.

4.4. Diseño de la investigación

Según el propósito de estudio fue no experimental, porque no se manipularon deliberadamente las variables independientes. Acorde al número de mediciones, era longitudinal ya que se recabaron datos en distintos puntos del tiempo para inferir el crecimiento del problema de investigación. De acuerdo a la cronología de las observaciones, era retrospectivo porque contó con datos de investigaciones previas. Por

último, el estudio de diseño fue de cohorte debido a que estudió, analizó e implementó el diseño de concreto con MPC, con el fin de dar solución a la problemática de esta investigación.

4.5. Población y muestra

4.5.1. Población

Fueron todos los ensayos experimentales realizados por los investigadores de las fuentes científicas recolectadas, con diferentes procedimientos experimentales de acuerdo a especificaciones técnicas y normas según sus países correspondientes.

Zhao et al. (2022) manifestaron:

Se examinó la resistencia a la compresión de 6 muestras de concreto a 1, 7 y 28 días de curado, con una velocidad de carga de 0.1 MPa/s. El asentamiento del hormigón MPC se probó de acuerdo con la norma china GB/T 50080-2006 y la resistencia a la compresión se ensayó según la norma china GB/T 50081-2019. (p. 4)

Ahmad et al. (2018) afirmaron:

La resistencia a la flexión de las muestras de mortero MPC se determinó de acuerdo con el método de carga de punto central ASTM C293. La prueba de resistencia a la flexión en especímenes de prisma de mortero se realizó a una velocidad de deformación de 0.05 mm/min. (pp. 207-216)

Haque et al. (2020) declararon:

La prueba CS se realizó a 1 h, 1 d, 7 d y 28 d manteniendo el estándar establecido por ASTM C109 aplicando el aparato automático MTS servo hidráulico con una tasa de desviación de 0.5 mm/min. Los resultados se documentaron hasta la etapa de fracaso. La resistencia a la flexión (FS) de tres puntos se realizó siguiendo el método recomendado por ASTM C293. Los cubos de mortero monolítico se colocaron en el dispositivo servohidráulico MTS con un nivel de deflexión de 0.05 mm/min. (p. 5)

Liu et al. (Diciembre 2022) afirmaron:

Se realizaron ensayos de resistencia a la compresión y flexión del mortero de reparación MPC. Las 7 probetas se colocaron en una caja de curado a 0 °C y 20 °C, respectivamente. Analizaron para los tiempos de fraguado de 13.9 min a 11.5 min, para la compresión y flexión de 3h, 3d, 28 días. Se analizaron los ensayos de tiempo de fraguado se realizó según JGJ/T 70-2009 para los ensayos de compresión y resistencia a la flexión de acuerdo con GB/T 17671-2021. (pp. 1-3)

Jia et al. (2021) aseveraron:

Se examinaron el asentamiento, tiempo de fraguado y resistencia a la compresión de 6 muestras de concreto a 2h, 1d, 3d, 7d y 28 días de curado. Estos ensayos se realizaron a temperaturas congeladas que se mantuvieron a -10 ± 2 °C y -20 ± 2 °C. Para la trabajabilidad y el tiempo de fraguado se ensayó según la norma GB/T 1346-2019 Chinese national standard y para el ensayo de resistencia a la compresión se realizó de acuerdo con la norma (GB/T 17671–1999, Chinese national standard). (pp. 1-3)

Liu et al. (Julio 2022) aseguraron:

Se analizaron los 12 especímenes realizando los ensayos para determinar las propiedades mecánicas tales como: el ensayo de resistencia a la compresión y el ensayo de resistencia a la flexión. Después de 2 horas, las muestras de MPC se sacaron del molde y se curaron en condiciones experimentales estándar 20 ± 2 °C de temperatura y humedad relativa superior al 95%. Para los ensayos de resistencia se realizó de acuerdo con el método para probar la resistencia de la arena cementosa (ISO Method; GB/T 17671–1999). (pp. 1-3)

4.5.2. Muestra

La tesis presentó a las muestras o especímenes a las cuales se les realizaron ensayos de asentamiento, tiempo de fraguado, resistencia a la flexión y resistencia a la compresión, compuestas con diferentes relaciones de M/P y contenidos de cenizas volantes.

Zhao et al. (2022) manifestaron:

Se estudiaron 6 muestras de concreto, de las cuales 2 de ellas se estudiaron con cenizas volantes a 10% y 20% y con una relación de $\frac{1}{4}$. Y 4 muestras se estudiaron con relaciones M/P de $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ y $\frac{1}{5}$. Determinaron su resistencia a la compresión con probetas de 100 mm × 100 mm × 100 mm. (p. 2-4)

Ahmad et al. (2018) declararon:

Investigaron mezclas de mortero MPC vertidas en moldes de 40 x 40 x 160 mm³ para determinar la resistencia a la compresión y a la flexión. El reemplazo de FA con el aglutinante fueron 20 %, 30 %, 40 % y 50 % y la relación de magnesia/fosfato (M/P = 3) se mantuvo igual para todas las mezclas. (p. 6-7)

Haque et al. (2020) sostuvieron:

Colocaron pastas de mortero en los moldes que tenían la medida geométrica 40 mm x 40 mm x 160 mm. El estudio nominó seis composiciones diferentes para preparar las muestras de mortero. La relación M/P se mantuvo en 3 y la FA se

añadió a la mezcla de control con una cantidad similar de P que se reemplazó por M y se marcó como mezcla A1. (p. 5)

Liu et al. (Diciembre 2022) aseguraron:

Utilizaron 7 probetas con dimensiones de 40 mm × 40 mm × 160 mm con características de una relación M/P constante de 2/1 y reemplazo de cenizas volantes con porcentajes de (0% en peso, 5% en peso, 10% en peso, 15% en peso, 20% en peso, 25% en peso y 30% en peso). (p. 3)

Jia et al. (2021) examinaron 6 probetas de dimensiones 40 mm × 40 mm × 40 mm estas tienen diferentes relaciones M/P de 3, 3.5, 4, 4.5 y 5.

Liu et al. (Julio 2022) aseveraron:

Analizaron 12 probetas en total con dimensiones para los ensayos de resistencia a la flexión y los ensayos de resistencia a la compresión (40 mm × 40 mm × 160 mm) y para el ensayo de contracción por secado (25 mm × 25 mm × 280 mm). Estos especímenes fueron compuestos con diferentes porcentajes de cenizas volantes (FA) al 5%, 10%, 15% y 20% y metacaolín con porcentajes (0%, 5%, 10%, 15%) con relación de M/P constante de 4/1. (p. 3)

4.6. Técnicas e instrumentación de recolección de datos

4.6.1. Instrumento de recolección de datos

En esta investigación, los instrumentos empleados fueron las normas técnicas y formatos de ensayos de resistencia a la compresión, flexión, fraguado y asentamiento, propio de diversas investigaciones. Además, fueron usados con el fin de una ordenada y correcta recolección de datos.

4.6.2. Métodos y técnicas

Se basaron en la recopilación de resultados de artículos con indicadores similares. La mayoría de investigaciones encontradas fueron experimentales por lo tanto utilizaron técnicas de investigación cuantitativas que ayudaron a analizar, examinar y equiparar el diseño de concreto con MPC y cenizas volantes.

4.7. Descripción de procesamiento de análisis

Mediante los artículos, se obtuvieron los resultados de los ensayos de estas investigaciones, se comparó y determinó la relación M/P y el porcentaje de cenizas volantes para el mejoramiento físico y mecánico del concreto. Estos artículos contaron con una antigüedad máxima de 5 años para que sea información actualizada.

CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. Resultados de la investigación

El MPC como conglomerante presenta diferentes resultados conforme a su relación M/P, composición química, factores externos, etc.. En consecuencia, se realiza un compendio de artículos internacionales para determinar y evaluar cómo influye la relación M/P en la mezcla.

Analizando los resultados de la relación de magnesio y fosfato para mejorar el asentamiento.

A continuación, se muestra el resumen de autores para el asentamiento en la Tabla 3.

Tabla 3

Resumen de autores para el asentamiento

Ítem	Autor	Artículo	M/P	FA (%)
4	Liu et al. (Diciembre 2022)	Investigación de las propiedades físicas mecánicas del mortero de reparación de cemento de fosfato de magnesio modificado con cenizas volantes modificado con fosfato de magnesio curado a distintas temperaturas a diferentes temperaturas	2/1	0, 5, 10, 15, 20, 25, 30
5	Jia et al. (2021)	Características de reacción y resistencia a la compresión del cemento de fosfato de magnesio a temperaturas negativas	3, 3.5, 4, 4.5, 5	-
7	Liu et al. (Julio 2022)	Investigación experimental sobre cementos de fosfato de magnesio modificados por cenizas volantes y metacaolín	4/1	0, 5, 10, 15, 20

Nota. Elaboración propia

Liu et al. (Diciembre 2022)

- a) Materiales: Los materiales cementicios (B) incluían M, FA y P. El M se sometió a un proceso de calcinación a una temperatura de 1780 °C con una pureza del 91.46%. El P era de grado industrial, su pureza superó el 90%. El bórax y azúcar industrial. La arena de cuarzo estándar con 99.5% de SiO₂ y un tamaño de 0.45 a 0.71 mm. Adición en diferentes porcentajes en peso de cenizas volantes como reemplazo de M y P.

- b) Diseño de mezcla: Todas las mezclas presentaron una relación W/B de 0.2 y una relación M/P de 2/1, una relación arena/materiales cementicios (S/B) de 1, 12 % en peso de bórax, en peso de M (Bx/M), y 3% en peso de azúcar industrial, en relación al peso de materiales cementicios (T/B). Los reemplazos de cenizas volantes (0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% y 30%) en peso, respectivamente, en peso de M y P. Las proporciones de diseño se observan en la Tabla 4.
- c) Método de ensayo: Se probó según la norma nacional china GB/T 2419-2005 para determinar la fluidez.
- d) Resultado de ensayo experimental: Se observa en la Tabla 5 y Figura 4 los resultados del asentamiento con respecto a la relación M/P igual a 2/1.

Tabla 4

Mezcla de morteros MPC

Muestra	M+P (wt%)	Fly Ash (wt%)	M/P	W/B	Bx/M (wt%)	S/B	T/B (wt%)
Patrón	100	0	2/1	0.2	12	1	3
FA5	95	5	2/1	0.2	12	1	3
FA10	90	10	2/1	0.2	12	1	3
FA15	85	15	2/1	0.2	12	1	3
FA20	80	20	2/1	0.2	12	1	3
FA25	75	25	2/1	0.2	12	1	3
FA30	70	30	2/1	0.2	12	1	3

Nota. Según el porcentaje de reemplazo de cenizas volantes, las mezclas se denominan FA5, FA10, FA15, FA20, FA25, FA30, respectivamente. Adaptado de Liu et al. (Diciembre 2022).

Tabla 5

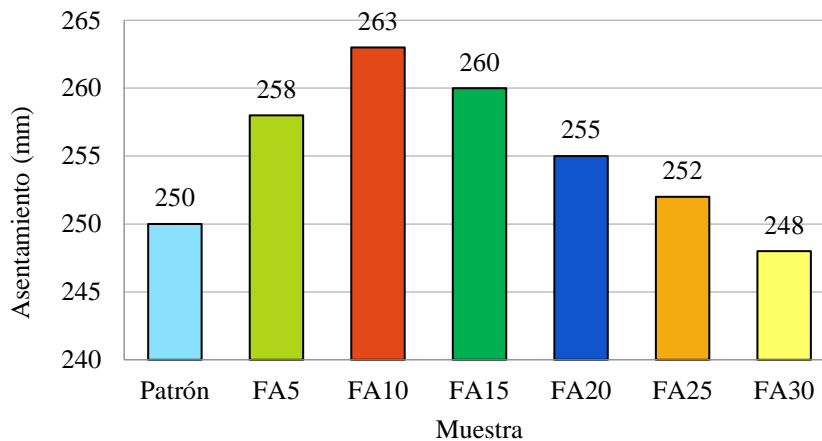
Ensayo de asentamiento de las muestras a 20 °C (mm)

Muestra	M/P	Asentamiento (mm)
		20°C
Patrón	2/1	250
FA5	2/1	258
FA10	2/1	263
FA15	2/1	260
FA20	2/1	255
FA25	2/1	252
FA30	2/1	248

Nota. Adaptado de la Tabla 4.

Figura 4

Asentamientos a temperatura de 20°C para una relación de M/P de 4



Nota. Adaptado de la Tabla 5.

Jia et al. (2021)

- Materiales: Los aglutinantes (B) incluían M, P, Bx. El M se calcinó con una temperatura de calcinación de 1700°C con una pureza del 89.88%. El fosfato monoamónico (P) de calidad industrial, con una pureza del 99%, se molió y se tamizó a través de un tamiz de malla 150. Bórx (Bx) de grado industrial con una pureza del 95%.
- Diseño de mezcla: Todas las mezclas presentaron una relación W/B de 0.14 y una relación Bx/M igual a 0.05. Diferentes relaciones M/P de 3, 3.5, 4, 4.5, 5. Las proporciones de diseño se observan en la Tabla 6.
- Método de ensayo: Se hizo referencia a la norma nacional china GB/T 1346-2019 para realizar la prueba de consistencia.
- Resultado de ensayo experimental: Se observa en la Tabla 7 y Figura 5 los resultados del asentamiento con respecto a sus diferentes relaciones M/P.

Tabla 6

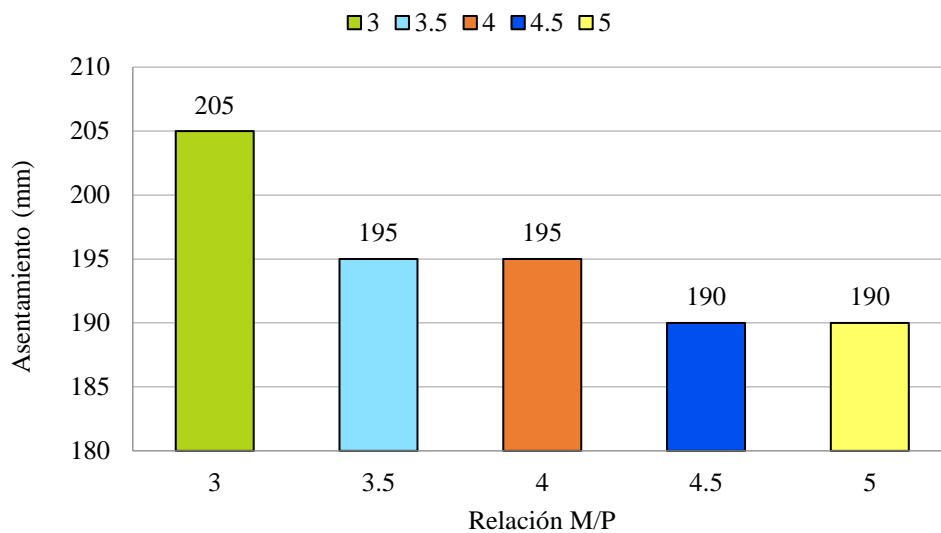
Relación de composición en masa de MPC

M/P	Bx/M	W/B
3	0.05	0.14
3.5	0.05	0.14
4	0.05	0.14
4.5	0.05	0.14
5	0.05	0.14

Nota. Adaptado de Jia et al. (2021)

Tabla 7*Resultados de ensayo del asentamiento con diferentes cantidades de M/P*

M/P	Asentamiento (mm)
3	205
3.5	195
4	195
4.5	190
5	190

Nota. Adaptado de Jia et al. (2021)**Figura 5***Asentamientos para muestras con diferentes cantidades de M/P**Nota.* Adaptado de la Tabla 7.**Liu et al. (Julio 2022)**

- Materiales: Los aglutinantes (B) incluían M, P, retardadores y FA. El M se sometió a un proceso de calcinación a una temperatura de 1600°C con una pureza del 92.15%. Adición en diferentes porcentajes en peso de cenizas volantes como reemplazo de M. Retardadores: bórax (Bx), tripolifosfato de sodio (STP) y acetato de sodio anhidro (SA) en una relación de masa de 6:1:1 ($m_{Bx} : m_{STP} : m_{SA} = 6:1:1$). La pureza de Bx, STP y SA fue superior al 99%.
- Diseño de mezcla: Todas las mezclas presentaron una relación M/P de 4/1 y una relación W/B de 0.17. Los reemplazos de cenizas volantes (0%, 5%, 10%, 15% y 20%) en peso, respectivamente, en peso de M. La relación de masa de retardadores a M ($m_{retardadores} / m_M$) fue de 0.16. Las proporciones de diseño se observan en la Tabla 8.

- c) Método de ensayo: Según la norma GB/T 8077-2012 para realizar la prueba de fluidez.
- d) Resultado de ensayo experimental: Se observa en la Tabla 9 y Figura 6 los resultados del asentamiento con respecto a la relación M/P igual a 4/1.

Tabla 8

Proporciones de mezcla de morteros que contienen cenizas volantes (en peso/%)

Muestra	M	FA	M/P	W/B	m retardadores/m _M
Patrón	100	0	4/1	0.17	0.16
FA5	95	5	4/1	0.17	0.16
FA10	90	10	4/1	0.17	0.16
FA15	85	15	4/1	0.17	0.16
FA20	80	20	4/1	0.17	0.16

Nota. Según el porcentaje de reemplazo de cenizas volantes, las mezclas se denominan FA5, FA10, FA15, FA20, respectivamente. Adaptado de Liu et al. (Julio 2022).

Tabla 9

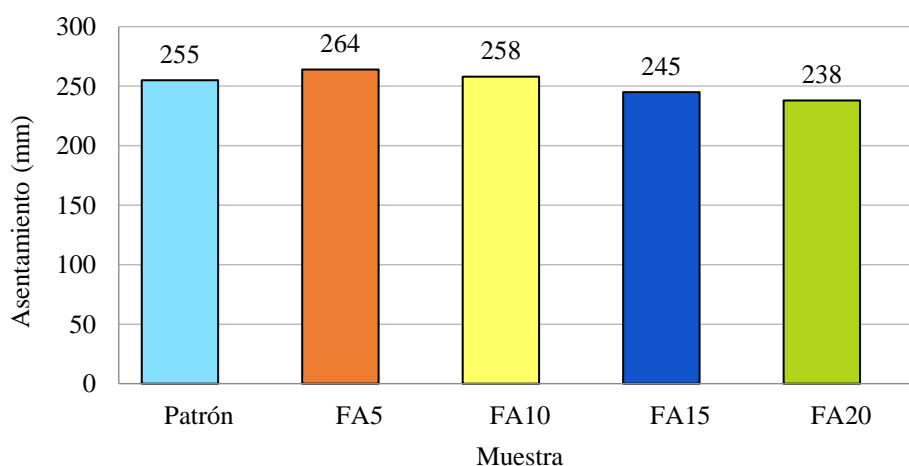
Ensayo del asentamiento

Muestra	M/P	Asentamiento (mm)
Patrón	4/1	255
FA5	4/1	264
FA10	4/1	258
FA15	4/1	245
FA20	4/1	238

Nota. Adaptado de la Tabla 8.

Figura 6

Asentamientos para una relación de M/P de 4



Nota. Adaptado de la Tabla 9.

Analizando los resultados de la relación de magnesio y fosfato para reducir el tiempo de fraguado.

A continuación, se muestra en la Tabla 10 el resumen de autores para el tiempo de fraguado.

Tabla 10

Resumen de autores para el tiempo de fraguado

Ítem	Autor	Artículo	M/P	FA (%)
4	Liu et al. (Diciembre 2022)	Investigación de las propiedades físicas mecánicas del mortero de reparación de cemento de fosfato de magnesio modificado con cenizas volantes modificado con fosfato de magnesio curado a distintas temperaturas a diferentes temperaturas	2/1	0,5,10,15, 20,25,30
5	Jia et al. (2021)	Características de reacción y resistencia a la compresión del cemento de fosfato de magnesio a temperaturas negativas	3,3.5,4, 4.5,5	-
7	Liu et al. (Julio 2022)	Investigación experimental sobre cementos de fosfato de magnesio modificados por cenizas volantes y metacaolín	4/1	0,5,10,15, 20

Nota. Elaboración propia

Liu et al. (Diciembre 2022)

- Materiales: Los materiales cementicios (B) incluían M, FA y P. El M se sometió a un proceso de calcinación a una temperatura de 1780 °C con una pureza del 91.46%. El P era de grado industrial, su pureza superó el 90%. El bórax y azúcar industrial. La arena de cuarzo estándar con 99.5% de SiO₂ y un tamaño de 0.45 a 0.71 mm. Adición en diferentes porcentajes en peso de cenizas volantes como reemplazo de M y P.
- Diseño de mezcla: Todas las mezclas presentaron una relación W/B de 0.2 y una relación M/P de 2/1, una relación arena/materiales cementicios (S/B) de 1, 12 % en peso de bórax, en peso de M (Bx/M), y 3% en peso de azúcar industrial, en relación al peso de materiales cementicios (T/B). Los reemplazos de cenizas volantes (0%,

5%, 10%, 15%, 20%, 25% y 30%) en peso, respectivamente, en peso de M y P. Las proporciones de diseño se observan en la Tabla 4.

- c) Método de ensayo: Los ensayos sobre el tiempo de fraguado se realizaron de acuerdo con JGJ/T 70-2009.
- d) Resultado de ensayo experimental: Se observa en la Tabla 11 y Figura 7 los resultados del tiempo de fraguado con relación M/P igual a 2/1.

Tabla 11

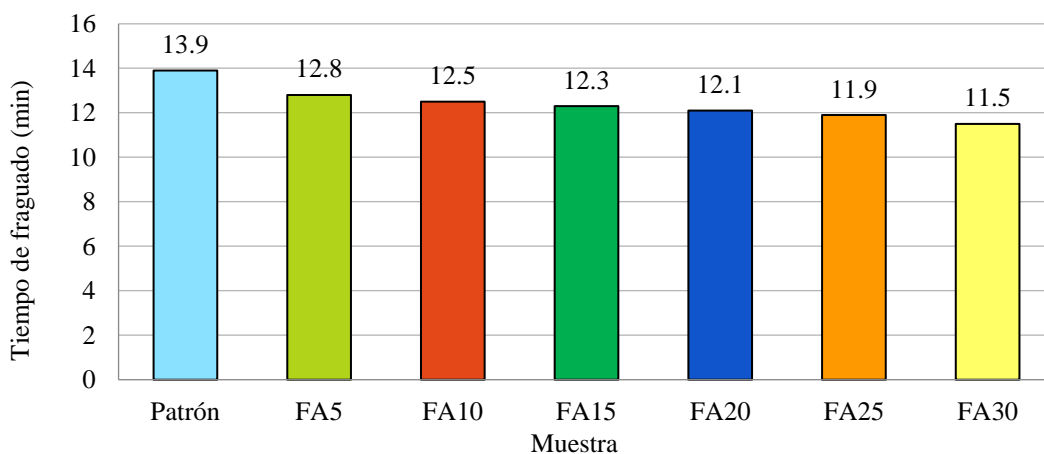
Tiempo de fraguado para relación M/P (min)

Muestra	M/P	Tiempo de fraguado (min)	
		20°C	
Patrón	2/1	13.9	
FA5	2/1	12.8	
FA10	2/1	12.5	
FA15	2/1	12.3	
FA20	2/1	12.1	
FA25	2/1	11.9	
FA30	2/1	11.5	

Nota. Según el porcentaje de reemplazo de cenizas volantes, las mezclas se denominan FA5, FA10, FA15, FA20, FA25, FA30, respectivamente. Adaptado de Liu et al. (Diciembre 2022).

Figura 7

Tiempo de fraguado a temperaturas de 20°C para relación M/P (min)



Nota. Adaptado de la Tabla 11.

Jia et al. (2021)

- a) **Materiales:** Los aglutinantes (B) incluían M, P, Bx. El M se calcinó con una temperatura de calcinación de 1700°C con una pureza del 89.88%. El fosfato monoamónico (P) de calidad industrial, con una pureza del 99%, se molió y se tamizó a través de un tamiz de malla 150. Bórax (Bx) de grado industrial con una pureza del 95%.
- b) **Diseño de mezcla:** Todas las mezclas presentaron una relación W/B de 0.14 y una relación Bx/M igual a 0.05. Diferentes relaciones M/P de 3, 3.5, 4, 4.5, 5. Las proporciones de diseño se observan en la Tabla 6.
- c) **Método de ensayo:** Según la norma nacional china GB/T 1346-2019 para prueba del tiempo de fraguado.
- d) **Resultado de ensayo experimental:** Se observa en la Tabla 12 y Figura 8 los resultados del tiempo de fraguado con diferentes relaciones M/P.

Tabla 12

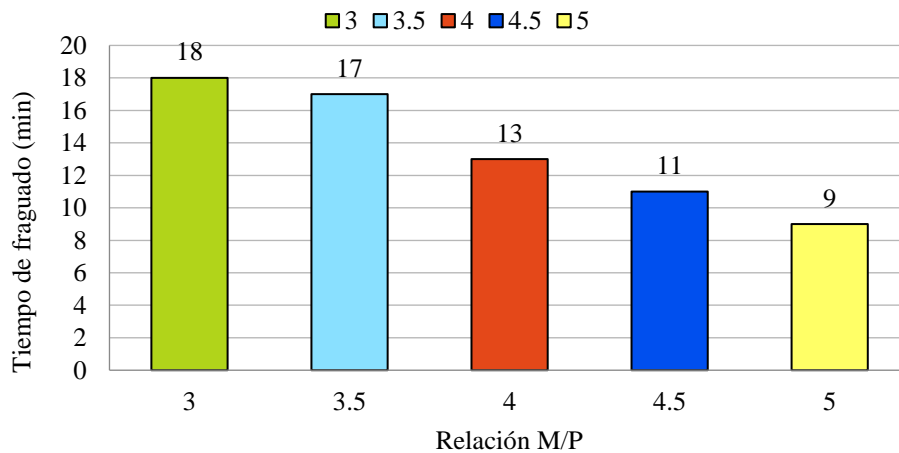
Resultados de ensayo del tiempo de fraguado (min)

M/P	Tiempo de fraguado (min)
3	18
3.5	17
4	13
4.5	11
5	9

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

Figura 8

Tiempos de fraguado con diferentes relaciones M/P (min)



Nota. Adaptado de la Tabla 12.

Liu et al. (Julio 2022)

- a) **Materiales:** Los aglutinantes (B) incluían M, P, retardadores y FA. El M se sometió a un proceso de calcinación a una temperatura de 1600°C con una pureza del 92.15%. Adición en diferentes porcentajes en peso de cenizas volantes como reemplazo de M. Retardadores: bórax (Bx), tripolifosfato de sodio (STP) y acetato de sodio anhidro (SA) en una relación de masa de 6:1:1 ($m_{Bx} : m_{STP} : m_{SA} = 6:1:1$). La pureza de Bx, STP y SA fue superior al 99%.
- b) **Diseño de mezcla:** Todas las mezclas presentaron una relación M/P de 4/1 y una relación W/B de 0.17. Los reemplazos de cenizas volantes (0%, 5%, 10%, 15% y 20%) en peso, respectivamente, en peso de M. La relación de masa de retardadores a M ($m_{retardadores} / m_M$) fue de 0,16. Las proporciones de diseño se observan en la Tabla 8.
- c) **Método de ensayo:** Se utilizó un aparato VICAT para medir el tiempo de fraguado de MPC, que se basó en la norma nacional china GB/T1346-2011.
- d) **Resultado de ensayo experimental:** Se observa en la Tabla 13 y Figura 9 los resultados del tiempo de fraguado para la relación M/P igual a 4/1.

Tabla 13

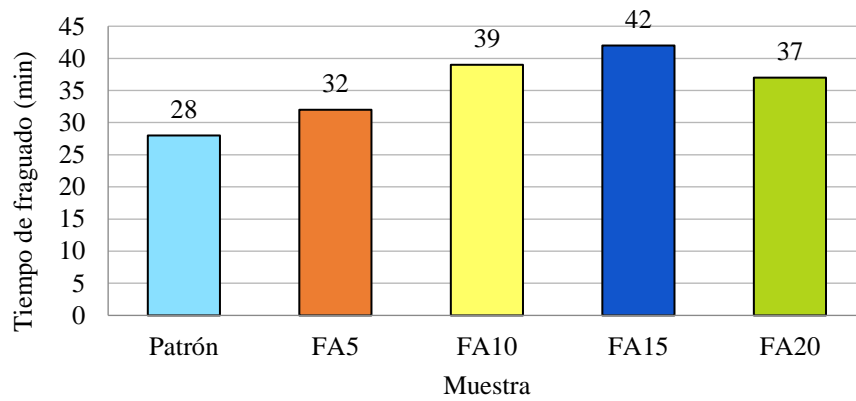
Tiempo de fraguado con diferentes porcentajes de cenizas volantes (min)

Muestra	M/P	Tiempo de fraguado (min)
Patrón	4/1	28
FA5	4/1	32
FA10	4/1	39
FA15	4/1	42
FA20	4/1	37

Nota. Según el porcentaje de reemplazo de cenizas volantes, las mezclas se denominan FA5, FA10, FA15, FA20, respectivamente. Adaptado de Liu et al. (Julio 2022).

Figura 9

Tiempo de fraguado para diferentes porcentajes de cenizas volantes (min)



Nota. Adaptado de la Tabla 13.

Analizando los resultados de la relación de magnesio y fosfato para incrementar la resistencia a la flexión del concreto.

A continuación, en la tabla 14 se muestra el resumen de autores para la resistencia a la flexión.

Tabla 14

Resumen de autores para la resistencia a la flexión

Ítem	Autor	Artículo	M/P	FA
4	Liu et al. (Diciembre 2022)	Investigación de las propiedades físicas mecánicas del mortero de reparación de cemento de fosfato de magnesio modificado con cenizas volantes modificado con fosfato de magnesio curado a distintas temperaturas a diferentes temperaturas	2/1	0, 5, 10, 15, 20, 25, 30 (%)
26	Haque et al. (2020)	El papel de la bauxita y las cenizas volantes en la estabilidad del agua y la densificación microestructural de compuestos de cemento de fosfato de magnesio.	3/1	0,320(g.) / 20%
7	Liu et al. (Julio 2022)	Investigación experimental sobre cementos de fosfato de magnesio modificados por cenizas volantes y metacaolín	4/1	0, 5, 10, 15, 20 (%)
25	Ahmad et al. (2018)	Un estudio exhaustivo del cemento de fosfato de magnesio reforzado con fibra de basalto que incorpora cenizas volantes ultrafinas	3/1	0, 20, 30, 40, 50 (%)

Nota. Elaboración propia

Liu et al. (Diciembre 2022)

- a) Materiales: Los materiales cementicios (B) incluían M, FA y P. El M se sometió a un proceso de calcinación a una temperatura de 1780 °C con una pureza del 91.46%. El P era de grado industrial, su pureza superó el 90%. El bórax y azúcar industrial. La arena de cuarzo estándar con 99.5% de SiO₂ y un tamaño de 0.45 a 0.71 mm. Adición en diferentes porcentajes en peso de cenizas volantes como reemplazo de M y P.
- b) Diseño de mezcla: Todas las mezclas presentaron una relación W/B de 0.2 y una relación M/P de 2/1, una relación arena/materiales cementicios (S/B) de 1, 12 % en peso de bórax, en peso de M (Bx/M), y 3% en peso de azúcar industrial, en relación

al peso de materiales cementicios (T/B). Los reemplazos de cenizas volantes (0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% y 30%) en peso, respectivamente, en peso de M y P. Las proporciones de diseño se observan en la Tabla 4.

- c) Método de ensayo: La resistencia a la compresión, la resistencia a la flexión y la resistencia de la unión interfacial se probaron de acuerdo con GB/T 17671-2021.
- d) Resultado de ensayo experimental: Se observa en la Tabla 15 y Figura 10 los resultados de la resistencia a la flexión con relación M/P igual a 2/1.

Tabla 15

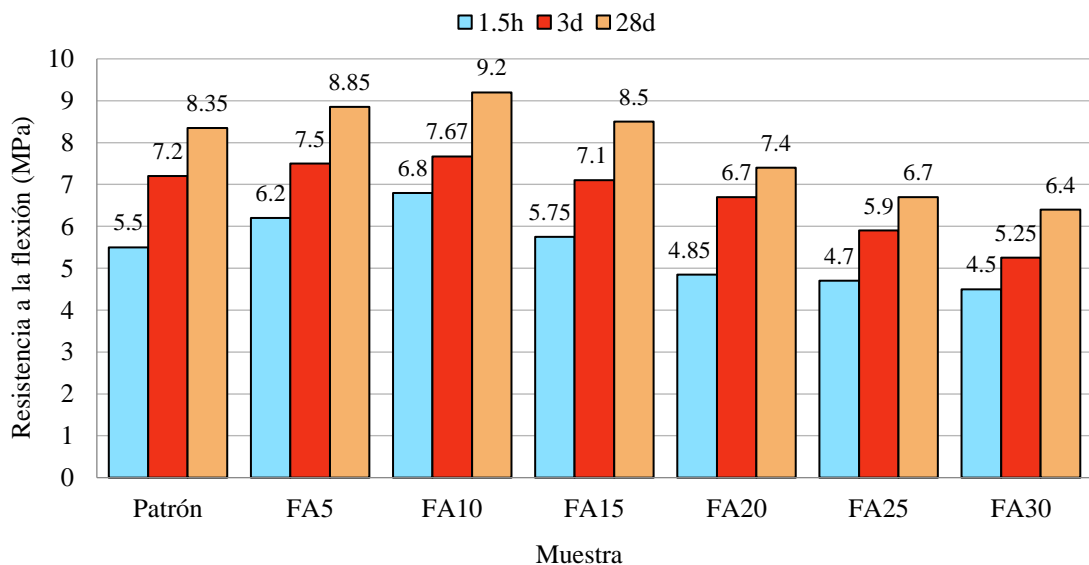
Resistencia a flexión (MPa) a 20°C con diferentes porcentajes de cenizas volantes

Muestra	M/P	f'c (MPa) a 20°C		
		1.5h	3d	28d
Patrón	2/1	5.5	7.2	8.35
FA5	2/1	6.2	7.5	8.85
FA10	2/1	6.8	7.67	9.2
FA15	2/1	5.75	7.1	8.5
FA20	2/1	4.85	6.7	7.4
FA25	2/1	4.7	5.9	6.7
FA30	2/1	4.5	5.25	6.4

Nota. Según el porcentaje de reemplazo de cenizas volantes, las mezclas se denominan FA5, FA10, FA15, FA20, FA25, FA30, respectivamente. Adaptado de Liu et al. (Diciembre 2022).

Figura 10

Resistencia a la flexión para diferentes porcentajes de cenizas volantes



Nota. Adaptado de la Tabla 15.

Haque et al. (2020)

- a) **Materiales:** Se integraron dos materiales aglutinantes principales, como M calcinada a 1600 °C y P, dos aditivos como FA y bauxita para fabricar las muestras de morteros MPC y dos retardadores ampliamente utilizados, a saber, STP y bórax. Además, se nombraron dos tamaños diferentes de agregado fino, como arena fina (70%) y arena gruesa (30%), para una clasificación adecuada. Ambos agregados finos cumplieron con los requisitos de la norma ISO 679:1989.
- b) **Diseño de mezcla:** La proporción de M/P se mantuvo en 3 para los especímenes de MPC. El FA se añadió a la mezcla de patrón con una cantidad similar de P que se reemplazó por M y se marcó como mezcla A1. Se mezclaron bórax y STP con 3% y 4% de M, respectivamente. La proporción de agua a sólido fue de 0.07 y se mantuvo constante para todas las muestras. Las cantidades totales de todos los materiales se calcularon en función de su peso. El diseño de mezcla se observa en la Tabla 16.
- c) **Método de ensayo:** La resistencia a la flexión de tres puntos se realizó siguiendo el método recomendado por ASTM C293. Los cubos de mortero monolítico se colocaron en el dispositivo servo hidráulico MTS con un nivel de deflexión de 0.05 mm/min.
- d) **Resultado de ensayo experimental:** Se observa en la Tabla 17 y Figura 11 los resultados de la resistencia a la flexión con relación M/P igual a 3/1.

Tabla 16

Diseño de mezclas de especímenes MPC que comprenden cenizas volantes

Muestra	M (g.)	P (g.)	FA (g.)	Bórax (g.)	STP (g.)	Arena F. (g.)	Arena G. (g.)	Agua (ml.)
Patrón	1200	400	0	36	48	1400	600	252
A1	960	320	320	28.8	38.4	1400	600	252

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

Tabla 17

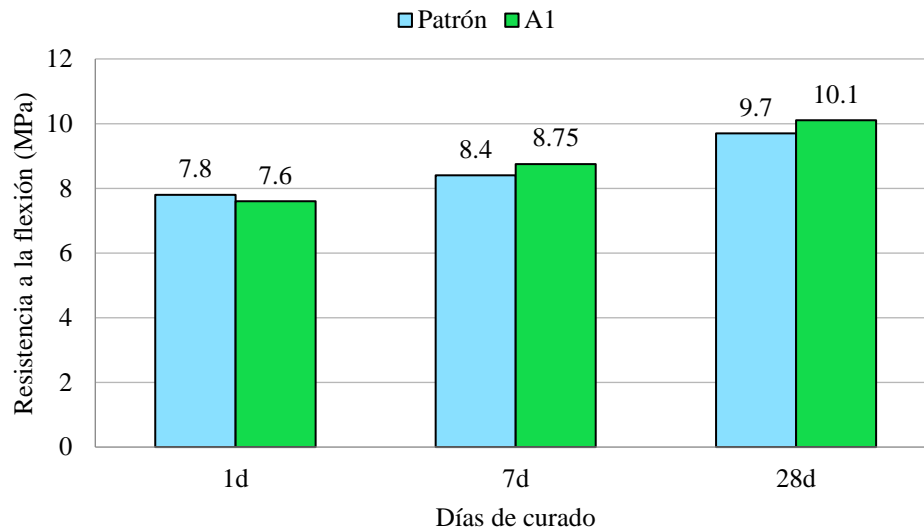
Resistencia a flexión (MPa) con respecto a la relación M/P

Muestra	Resistencia a la flexión (MPa)		
	1d	7d	28d
Patrón	7.8	8.4	9.7
A1	7.6	8.75	10.1

Nota. Adaptado de la Tabla 16.

Figura 11

Resistencia a la flexión para diferentes días de curado (MPa)



Nota. Adaptado de la Tabla 17.

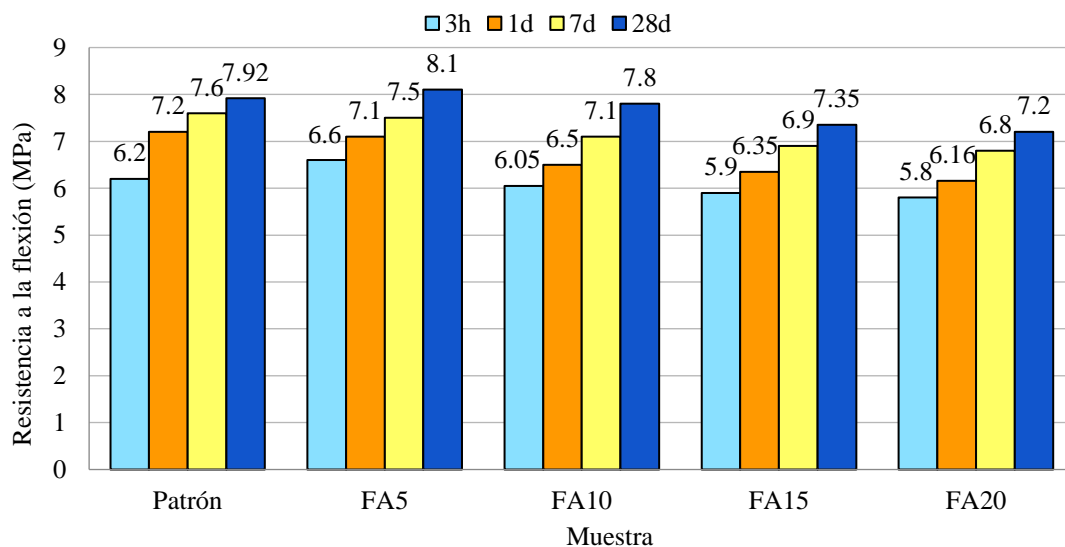
Liu et al. (Julio 2022)

- Materiales:** Los aglutinantes (B) incluían M, P, retardadores y FA. El M se sometió a un proceso de calcinación a una temperatura de 1600°C con una pureza del 92.15%. Adición en diferentes porcentajes en peso de cenizas volantes como reemplazo de M. Retardadores: bórax (Bx), tripolifosfato de sodio (STP) y acetato de sodio anhidro (SA) en una relación de masa de 6:1:1 ($m_{Bx} : m_{STP} : m_{SA} = 6:1:1$). La pureza de Bx, STP y SA fue superior al 99%.
- Diseño de mezcla:** Todas las mezclas presentaron una relación M/P de 4/1 y una relación W/B de 0.17. Los reemplazos de cenizas volantes (0%, 5%, 10%, 15% y 20%) en peso, respectivamente, en peso de M. La relación de masa de retardadores a M ($m_{retardadores} / m_M$) fue de 0.16. Las proporciones de diseño se observan en la Tabla 8.
- Método de ensayo:** Se hizo referencia a la norma china GB/T 17671-1999 para realizar las pruebas de resistencia a la flexión y compresión. A lo largo del experimento, la carga se determinó a una velocidad de 2 ± 0.4 kN/s.
- Resultado de ensayo experimental:** Se observa en la Tabla 18 y Figura 12 los resultados de la resistencia a la flexión con relación M/P igual a 4/1.

Tabla 18*Resistencia a flexión (MPa) con diferentes porcentajes de cenizas volantes*

Muestra	M/P	f'c (MPa)			
		3h	1d	7d	28d
Patrón	4/1	6.2	7.2	7.6	7.92
FA5	4/1	6.6	7.1	7.5	8.1
FA10	4/1	6.05	6.5	7.1	7.8
FA15	4/1	5.9	6.35	6.9	7.35
FA20	4/1	5.8	6.16	6.8	7.2

Nota. Según el porcentaje de reemplazo de cenizas volantes, las mezclas se denominan FA5, FA10, FA15, FA20, respectivamente. Adaptado de Liu et al. (Julio 2022).

Figura 12*Resistencia a la flexión para diferentes porcentajes de cenizas volantes*

Nota. Adaptado de la Tabla 18

Ahmad et al. (2018)

- Materiales: M calcinado a muerte con una pureza de aproximadamente 92%, P con purezas más del 98% y 97%. Cenizas volantes ultrafinas de alta calidad con un diámetro medio de partículas de 3 μm , bórax y STP como retardadores, fibra de basalto (BF), agua de grifo.
- Diseño de mezcla: La mezcla de M y P se considera como aglutinante de MPC (B) en este estudio y los niveles de reemplazo de FA con el aglutinante fueron 20 %, 30 %, 40 % y 50 %. La relación de M/P = 3 se mantuvo igual para todas las mezclas. Todas las mezclas contienen 0.5 % de BF por peso total de la mezcla, excepto la

mezcla “Patrón”. La relación FA/B para las mezclas de mortero MPC: Patrón, MPC-20FA, MPC-30FA, MPC-40FA y MPC-50FA fueron 0%, 20%, 30%, 40% y 50%, respectivamente.

La relación de pasta de cemento (C;B+FA+BF+Bx+STP) a arena se mantuvo constante en 0,86 para todas las mezclas de MPC. El porcentaje de contenido de agua para la mezcla “Patrón” fue del 8% del peso total de los ingredientes de la mezcla (C + arena). Mientras que el contenido de agua se incrementó ligeramente al 9 % para las mezclas MPC-20FA, MPC-30FA, MPC-40FA y MPC-50FA debido a la inclusión de BF para lograr la trabajabilidad deseada. Las proporciones de diseño se observan en la Tabla 19.

- c) Método de ensayo: La resistencia a la flexión de las muestras de mortero MPC se determinó de acuerdo con el método de carga de punto central ASTM C293. La prueba de resistencia a la flexión en especímenes de prisma de mortero se realizó a una velocidad de deformación de 0.05 mm/min.
- d) Resultado de ensayo experimental: Se observa en la Tabla 20 y Figura 13 los resultados de la resistencia a la flexión con relación M/P igual a 3/1.

Tabla 19

Proporciones de mezcla de compuestos con MPC para diferentes porcentajes de cenizas volantes

Muestra	Binder (B)	Ceniza volante (FA)	Fibra de basalto (BF)	Retardantes		Arena	Agua (W)
	M/P	FA/B (%)	(% wt)	Bx/M (%)	STP/M (%)	C/Sand	W/(C+Sand)
Patrón	3/1	0	0	6	6	0.858	0.08
MPC-20FA	3/1	20	0.5	6	6	0.858	0.09
MPC-30FA	3/1	30	0.5	6	6	0.858	0.09
MPC-40FA	3/1	40	0.5	6	6	0.858	0.09
MPC-50FA	3/1	50	0.5	6	6	0.858	0.09

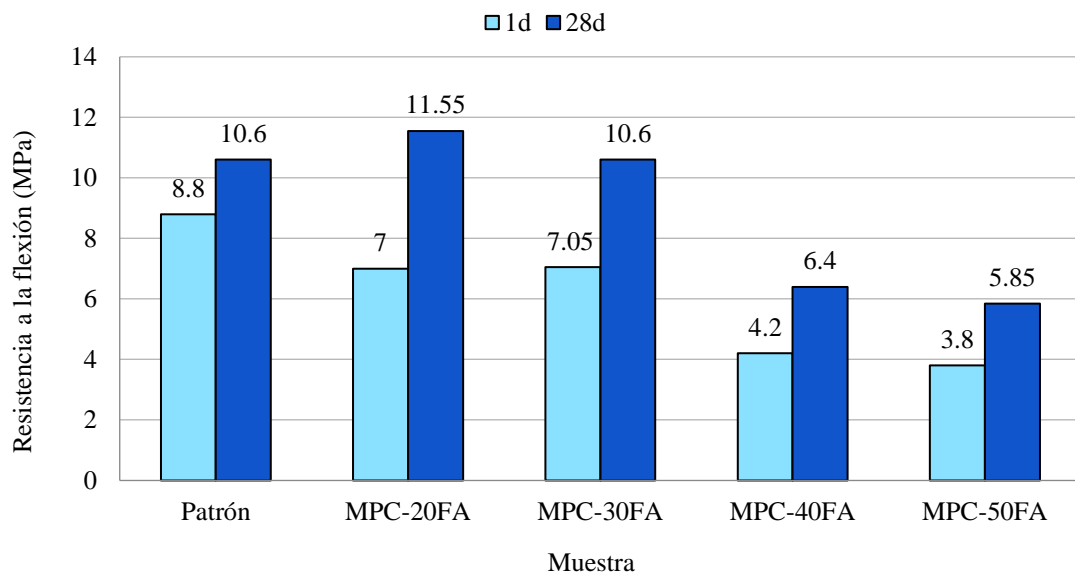
Nota. Adaptado de Ahmad et al. (2018).

Tabla 20*Resistencia a flexión (MPa) con diferentes porcentajes de cenizas volantes ultrafinas*

Muestra	M/P	f'c (MPa)	
		1d	28d
Patrón	3/1	8.8	10.6
MPC-20FA	3/1	7	11.55
MPC-30FA	3/1	7.05	10.6
MPC-40FA	3/1	4.2	6.4
MPC-50FA	3/1	3.8	5.85

Nota. Adaptado de la Tabla 19.**Figura 13**

Resistencia a la flexión para diferentes porcentajes de cenizas volantes ultrafinas (MPa)

*Nota.* Adaptado de la Tabla 20.

Analizando los resultados de la relación de magnesio y fosfato para incrementar la resistencia a la compresión del concreto.

A continuación, en la tabla 21 se muestra el resumen de autores para la resistencia a la compresión.

Tabla 21

Resumen de autores para la resistencia a la compresión

Ítem	Autor	Artículo	M/P	FA (%)
2	Zhao et al. (2022)	Propiedades Físicas y Mecánicas de un nuevo hormigón ecológico poroso a base de cemento de Fosfato de Magnesio	2, 3, 4, 5	0, 20
4	Liu et al. (Diciembre 2022)	Investigación de las propiedades físicas mecánicas del mortero de reparación de cemento de fosfato de magnesio modificado con cenizas volantes modificado con fosfato de magnesio curado a distintas temperaturas.	2	0, 10
5	Jia et al. (2021)	Características de reacción y resistencia a la compresión del cemento de fosfato de magnesio a temperaturas negativas	3, 3.5, 4, 4.5, 5	-
26	Haque et al. (2020)	El papel de la bauxita y las cenizas volantes en la estabilidad del agua y la densificación microestructural de compuestos de cemento de fosfato de magnesio.	3	0, 20

Nota. Elaboración propia

Zhao et al. (2022)

- a) Materiales: El polvo de M con una densidad de 3.46 g/cm^3 . También se utilizaron P en forma de polvo cristalino blanco con una pureza del 98%, FA y bórax en forma de polvo cristalino blanco con una pureza del 99.5% que se utilizó como retardador. Como árido grueso se utilizó piedra triturada de graduación simple con un tamaño de partícula de 19-26.5 mm.
- b) Diseño de mezcla: El contenido de bórax es el porcentaje en masa de bórax a M. La relación de agua a la cantidad total de materiales cementicios se representa como W/B, los materiales cementicios se refieren a M, P, FA y bórax. El contenido de FA

se expresa como el porcentaje en masa de FA a la suma de materiales cementantes. Las proporciones de diseño se muestran en la Tabla 22.

- c) Método de ensayo: La resistencia a la compresión de MPC se probó de acuerdo con GB/T 17671-2021-Método de prueba de resistencia de mortero de cemento (ISO). La resistencia a la compresión del hormigón ecológico poroso se probó de acuerdo con el método de prueba estándar GB/T 50081-2002 para las propiedades mecánicas del hormigón ordinario. El tamaño de la muestra de prueba de hormigón fue de 100 mm × 100 mm × 100 mm y la tasa de carga fue de 0.1 MPa/s.
- d) Resultado de ensayo experimental: Se observa en la Tabla 23 y Figura 14 los resultados de la resistencia a la compresión con diferentes tipos de relación M/P.

Tabla 22

Proporciones de la mezcla de MPC

Muestra	P/M	W/B	Bórax/M (%)	FA (%)
B-PM1/2	1/2	0.14	5	-
B-PM1/3	1/3	0.14	5	-
B-PM1/4	1/4	0.14	5	-
B-PM1/5	1/5	0.14	5	-
B-PM1/4-FA10	1/4	0.14	5	10
B-PM1/4-FA20	1/4	0.14	5	20

Nota. La muestra B-PM1/x representa 0% de cenizas volantes y un P/M igual a 1/x. Y la muestra B-PM1/4-FAx representan el reemplazo de x% de cenizas volantes en masa. Adaptado de Zhao et al. (2022).

Tabla 23

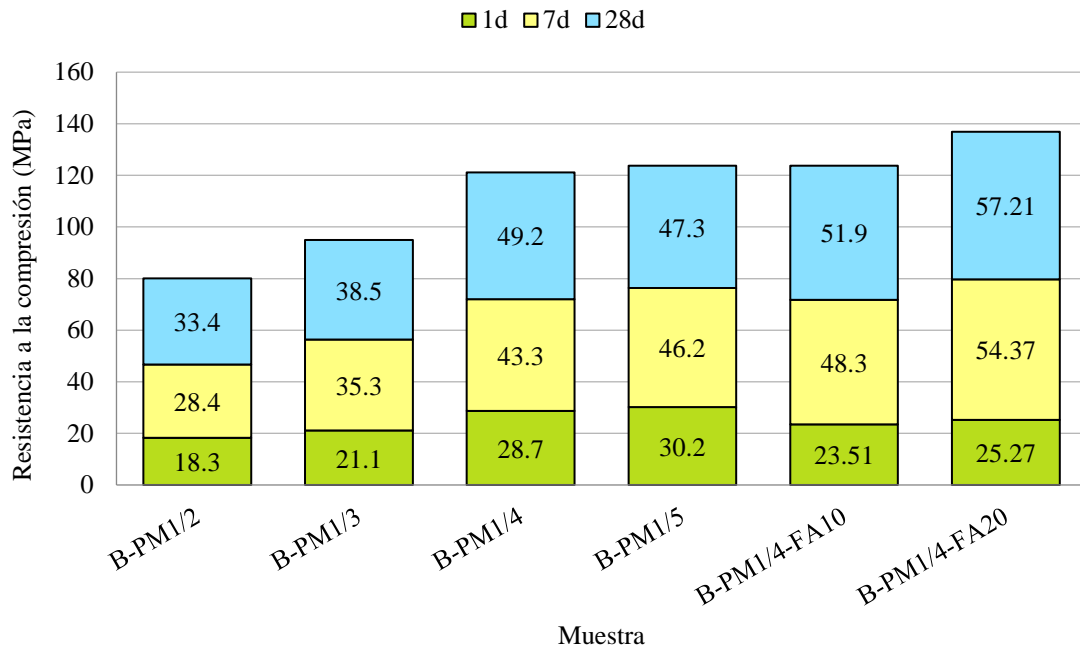
Valor de resistencia a la compresión del MPC con las edades de curado

Muestra	f'c (MPa)		
	1d	7d	28d
B-PM1/2	18.3	28.4	33.4
B-PM1/3	21.1	35.3	38.5
B-PM1/4	28.7	43.3	49.2
B-PM1/5	30.2	46.2	47.3
B-PM1/4-FA10	23.51	48.3	51.9
B-PM1/4-FA20	25.27	54.37	57.21

Nota. Adaptado de la Tabla 22.

Figura 14

Resistencia a la compresión para diferentes relaciones M/P



Nota. Adaptado de la Tabla 23.

Liu et al. (Diciembre 2022)

- Materiales:** Los materiales cementicios (B) incluían M, FA y P. El M se sometió a un proceso de calcinación a una temperatura de 1780 °C con una pureza del 91.46%. El P era de grado industrial, su pureza superó el 90%. El bórax y azúcar industrial. La arena de cuarzo estándar con 99.5% de SiO₂ y un tamaño de 0.45 a 0.71 mm. Adición en diferentes porcentajes en peso de cenizas volantes como reemplazo de M y P.
- Diseño de mezcla:** Todas las mezclas presentaron una relación W/B de 0.2 y una relación M/P de 2/1, una relación arena/materiales cementicios (S/B) de 1, 12 % en peso de bórax, en peso de M (Bx/M), y 3% en peso de azúcar industrial, en relación al peso de materiales cementicios (T/B). Los reemplazos de cenizas volantes (0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% y 30%) en peso, respectivamente, en peso de M y P. Las proporciones de diseño se observan en la Tabla 4.
- Método de ensayo:** La resistencia a la compresión, la resistencia a la flexión y la resistencia de la unión interfacial se probaron de acuerdo con GB/T 17671-2021.
- Resultado de ensayo experimental:** Se observa en la Tabla 24 y Figura 15 los resultados de la resistencia a la compresión con relación M/P igual a 2/1.

Tabla 24

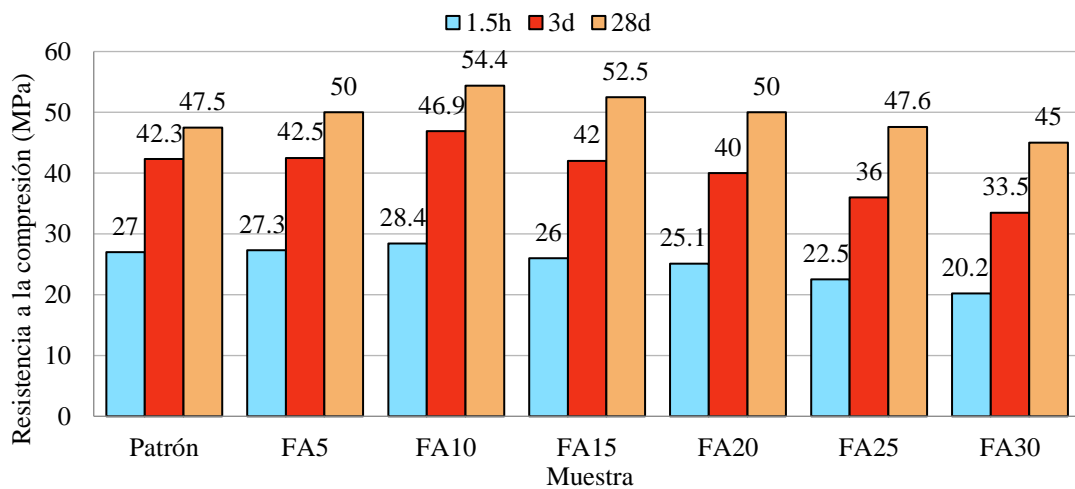
Resistencia a la compresión (MPa) a 20°C con diferentes porcentajes de cenizas volantes

Muestra	M/P	f'c (MPa) a 20°C		
		1.5h	3d	28d
Patrón	2/1	27	42.3	47.5
FA5	2/1	27.3	42.5	50
FA10	2/1	28.4	46.9	54.4
FA15	2/1	26	42	52.5
FA20	2/1	25.1	40	50
FA25	2/1	22.5	36	47.6
FA30	2/1	20.2	33.5	45

Nota. La muestra patrón representa 0% de cenizas volantes. FA5 representa el reemplazo de 5% de cenizas volantes. Adaptado de Liu et al. (Diciembre 2022).

Figura 15

Resistencia a la compresión para diferentes porcentajes de cenizas volantes



Nota. Adaptado de la Tabla 24.

Jia et al. (2021)

- a) Materiales: Los aglutinantes (B) incluían M, P, Bx. El M se calcinó con una temperatura de calcinación de 1700°C con una pureza del 89.88%. El fosfato monoamónico (P) de calidad industrial, con una pureza del 99%, se molió y se tamizó a través de un tamiz de malla 150. Bórax (Bx) de grado industrial con una pureza del 95%.

- b) Diseño de mezcla: Todas las mezclas presentaron una relación W/B de 0.14 y una relación Bx/M igual a 0.05. Diferentes relaciones M/P de 3, 3.5, 4, 4.5, 5. Las proporciones de diseño se observan en la Tabla 6.
- c) Método de ensayo: La prueba de resistencia a la compresión se realizó de acuerdo con el "Método de prueba de cementos: determinación de la resistencia" (GB/T 17671-1999, estándar nacional chino). El tamaño de la muestra para la prueba de resistencia a la compresión fue de 40 mm × 40 mm × 40 mm. Para aumentar la precisión de los resultados de la prueba, se formaron seis especímenes en cada grupo para probar la resistencia a la compresión.
- d) Resultado de ensayo experimental: Se observa en la Tabla 25 y Figura 16 los resultados de la resistencia a la compresión con diferentes relaciones M/P.

Tabla 25

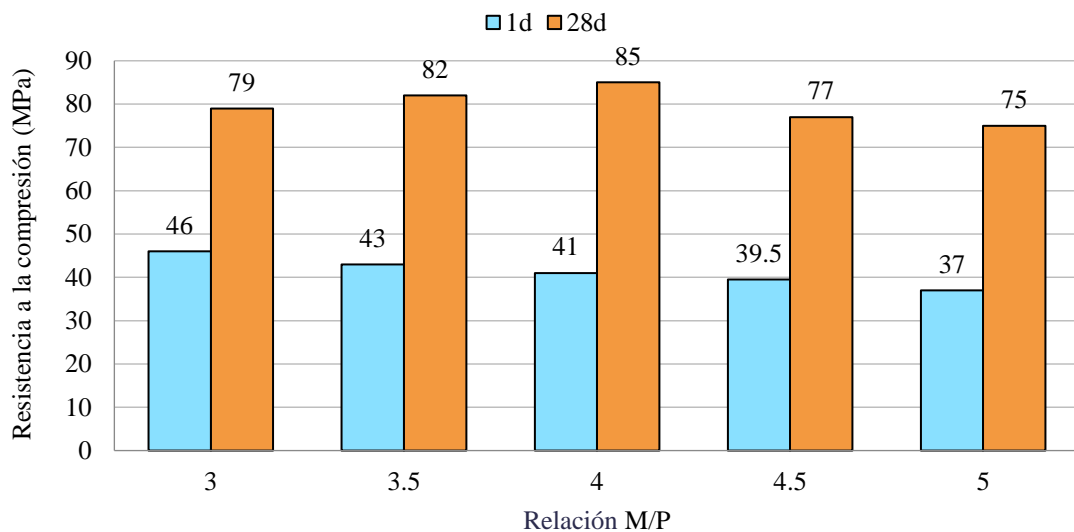
Influencia de la relación M/P en la resistencia a la compresión del MPC curado a 20 ± 2 °C a 1 y 28 días

M/P	f'c (MPa) a 20°C	
	1d	28d
3	46	79
3.5	43	82
4	41	85
4.5	39.5	77
5	37	75

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

Figura 16

Influencia de la relación M/P en la resistencia a la compresión del MPC curado a 20 ± 2 °C a 1 y 28 días



Nota. Adaptado de la Tabla 25.

Haque et al. (2020)

- Materiales:** Se integraron dos materiales aglutinantes principales, como M calcinada a 1600 °C y P, dos aditivos como FA y bauxita para fabricar las muestras de morteros MPC y dos retardadores ampliamente utilizados, a saber, STP y bórax. Además, se nombraron dos tamaños diferentes de agregado fino, como arena fina (70%) y arena gruesa (30%), para una clasificación adecuada y ambos agregados finos cumplieron con los requisitos de la norma ISO 679:1989.
- Diseño de mezcla:** La proporción de M/P se mantuvo en 3 para los especímenes de MPC. El FA se añadió a la mezcla de patrón con una cantidad similar de P que se reemplazó por M y se marcó como mezcla A1. Se mezclaron bórax y STP con 3% y 4% de M, respectivamente. La proporción de agua a sólido fue de 0.07 y se mantuvo constante para todas las muestras. El diseño de mezcla se observa en la Tabla 16.
- Método de ensayo:** La prueba se realizó a 1 h, 1 d, 7 d y 28 d manteniendo el estándar establecido por ASTM C109 aplicando el aparato automático MTS servo hidráulico con una tasa de desviación de 0.5 mm/min.
- Resultado de ensayo experimental:** Se observa en la Tabla 26 y Figura 17 los resultados de la resistencia a la compresión con relación M/P igual a 3/1.

Tabla 26

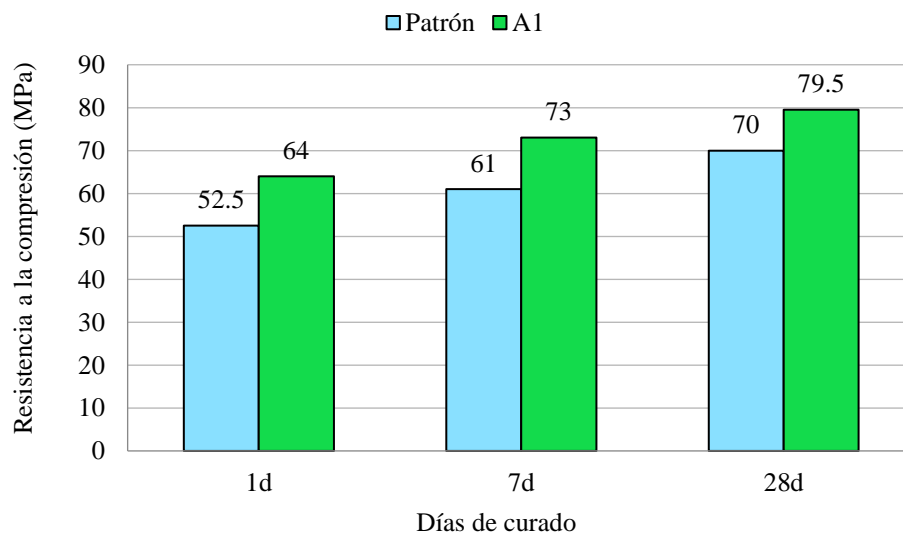
Resistencia a la compresión (MPa) con respecto a la relación M/P

Muestra	Resistencia a la flexión (MPa)		
	1d	7d	28d
Patrón	52.5	61	70
A1	64	73	79.5

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

Figura 17

Resistencia a la compresión para diferentes días de curado



Nota. Adaptado de la Tabla 26.

5.2. Contrastación de hipótesis

5.2.1. Contrastación de la primera hipótesis

Hipótesis 1: Al analizar la relación de magnesio y fosfato mejora el asentamiento.

Hipótesis auxiliar:

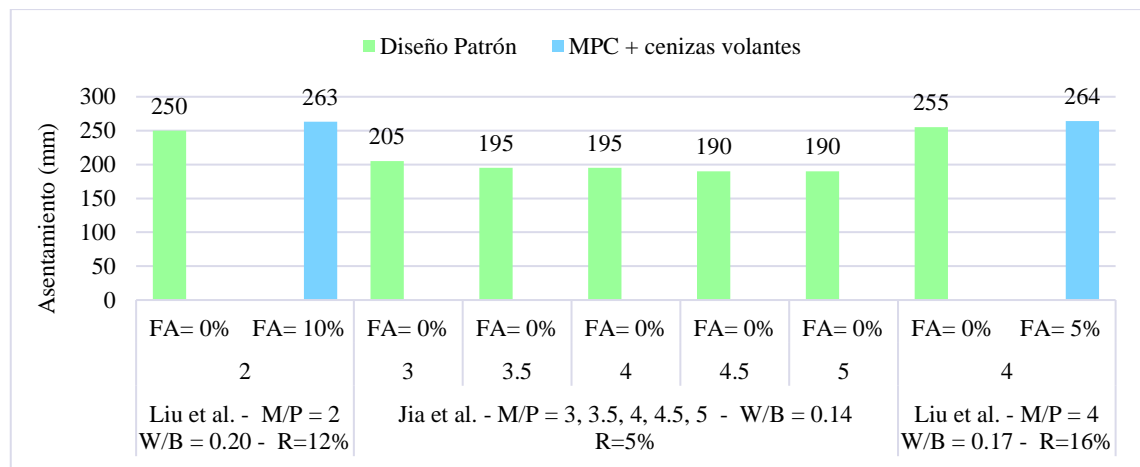
H₀: Al analizar la relación de magnesio y fosfato no mejora el asentamiento del concreto.

H₁: Al analizar la relación de magnesio y fosfato sí mejora el asentamiento del concreto.

A continuación, se muestra los resultados del asentamiento en la Figura 18.

Figura 18

Asentamiento-Muestras Relaciones de M/P (mm)



Nota. Elaboración propia

En la Figura 18, Liu et al. (Diciembre 2022) utilizaron MPC compuesto de M y P con una relación M/P de 2/1, donde se evaluó la adición de cenizas volantes como reemplazo parcial del peso de M y P. La muestra óptima es la que tiene 10% de FA con un asentamiento igual a 263 mm (10.35”), el cual es muy trabajable con una consistencia fluida. Además, añadiendo a la mezcla 10% de FA el asentamiento mejora un 5.20% con respecto a la muestra patrón.

Jia et al. (2021) utilizaron MPC compuesto de M y P con diferentes relaciones M/P de 3, 3.5, 4, 4.5 y 5. La muestra patrón óptima es la que tiene una relación M/P de 3/1 con un asentamiento de 205 mm (8.07”), el cual es muy trabajable con una consistencia fluida. Las muestras patrones con asentamiento mínimo fue la mezcla con una relación M/P de 4.5 y 5 con resultado de 190 mm (7.48”), el cual es muy trabajable con una consistencia fluida. Para la muestra patrón con una relación M/P de 3/1 el asentamiento mejora un 7.89% con respecto a la muestra patrón con una relación M/P de 5/1. Asimismo, podemos observar que el asentamiento disminuye con una relación M/P mayor a 3/1.

Liu et al. (Julio 2022) utilizaron MPC compuesto de M y P con una relación M/P de 4/1, donde se estudió la adición de las cenizas volantes como reemplazo parcial de M y P. La muestra óptima es la que tiene 5% de FA con un asentamiento de 264 mm (10.39”), el cual es muy trabajable con una consistencia fluida. Además, añadiendo a la mezcla 5% de FA el asentamiento mejora un 3.53% con respecto a la muestra patrón.

De los resultados de la Figura 18 se muestra que la relación M/P óptima es de 4/1 obteniendo el óptimo asentamiento entre todas las muestras. Este resultado lo obtuvieron Liu et al. (Julio 2022) con un asentamiento de 264 mm (10.39”), siendo muy trabajable con una consistencia fluida. Podemos observar que el uso de cenizas volantes mejora el asentamiento con respecto a las muestras patrón. Cabe destacar que el MPC presenta altos asentamientos, incluso alcanzando en su resultado mínimo para la muestra patrón con una relación M/P de 3/1 con un asentamiento de 190 mm (7.48”) obteniendo una muestra muy trabajable con una consistencia fluida.

Se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_1), debido a que al analizar la Figura 18, se observa que el asentamiento mejora para una relación M/P de 4/1 en comparación a la muestra patrón.

5.2.2. Contrastación de la segunda hipótesis

Hipótesis 2: Al analizar la relación de magnesio y fosfato reduce el tiempo de fraguado.

Hipótesis auxiliar:

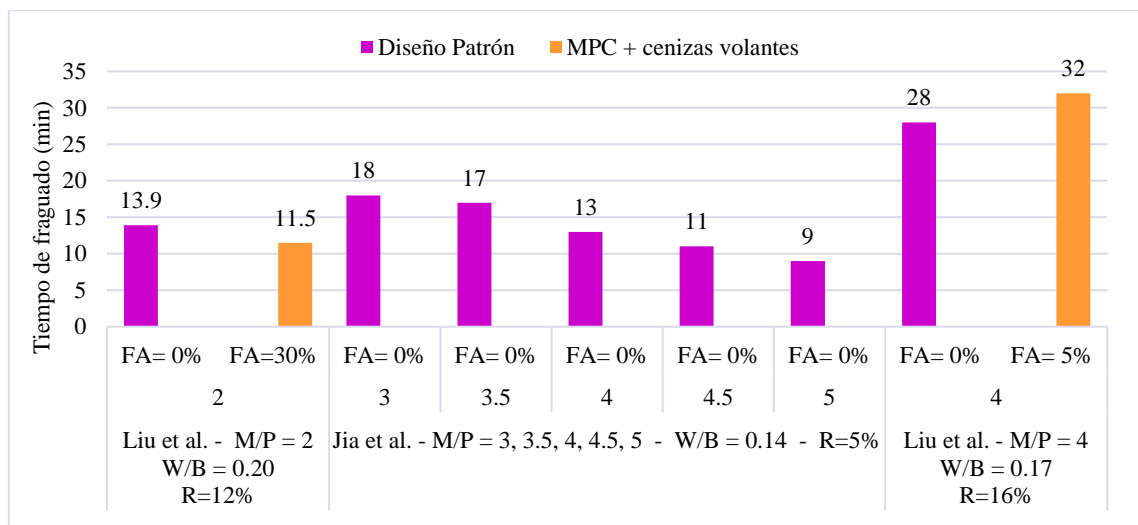
H₀: Al analizar la relación de magnesio y fosfato no reduce el tiempo de fraguado del concreto.

H₁: Al analizar la relación de magnesio y fosfato sí reduce el tiempo de fraguado del concreto.

A continuación, se muestra los resultados del tiempo de fraguado en la Figura 19.

Figura 19

Tiempo de fraguado-Muestras Patrón y Relaciones de M/P (min)



Nota. Elaboración propia

En la Figura 19, Liu et al. (Diciembre 2022) utilizaron MPC compuesto de M y P con una relación M/P de 2/1, donde se evaluó la adición de cenizas volantes como reemplazo parcial del peso de M y P. La muestra óptima es la que tiene 30% de FA, con un tiempo de fraguado de 11.5 minutos. Además, añadiendo a la mezcla 30% de FA el tiempo de fraguado reduce un 17.27% con respecto a la muestra patrón.

Liu et al. (Julio 2022) utilizaron MPC compuesto de M y P con una relación M/P de 4/1, donde se evaluó la adición de cenizas volantes como reemplazo parcial del peso de M. La muestra óptima es la muestra patrón con un tiempo de fraguado de 28 minutos. La muestra que tiene 5% de FA aumenta el tiempo de fraguado en un 14.29% con respecto a la muestra patrón con un tiempo de fraguado de 32 minutos.

Jia et al. (2021) utilizaron MPC compuesto de M y P con diferentes relaciones M/P de 3, 3.5, 4, 4.5 y 5. La muestra óptima es la que tiene una relación M/P de 5/1 con un tiempo

de fraguado de 9 minutos. La muestra con tiempo de fraguado máximo fue la mezcla con una relación M/P de 3/1 con resultado de 18 min. Para la muestra patrón con una relación M/P de 5/1 el tiempo de fraguado se reduce en un 50% con respecto a la muestra patrón con una relación M/P de 3/1. Asimismo, podemos observar que el tiempo de fraguado se reduce con una relación M/P superior a 3/1.

Se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_1), debido a que al analizar la Figura 19, se observa que el tiempo de fraguado se reduce para una relación M/P de 5/1 en comparación a los diseños de mezclas patrón.

5.2.3. Contrastación de la tercera hipótesis

Hipótesis 3: Al analizar la relación de magnesio y fosfato incrementa la resistencia a la flexión.

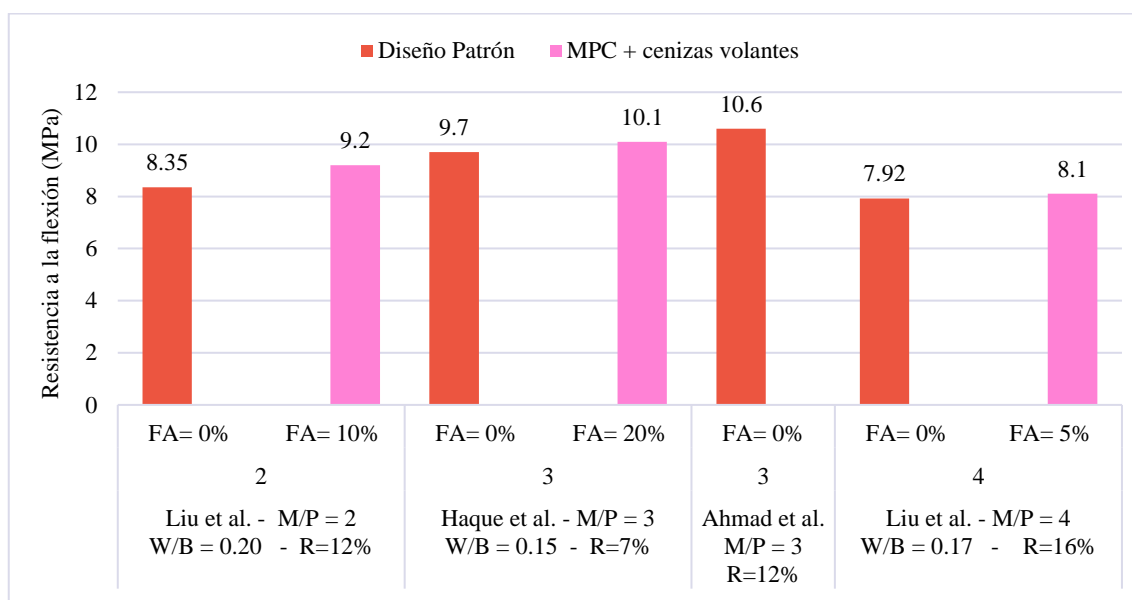
H₀: Al analizar la relación de magnesio y fosfato no incrementa la resistencia a la flexión del concreto.

H₁: Al analizar la relación de magnesio y fosfato si incrementa la resistencia a la flexión del concreto.

A continuación, en la Figura 20 se muestra los resultados de la resistencia a la flexión a los 28 días.

Figura 20

Resistencia a la flexión a los 28 días para diferentes relaciones M/P



Nota. Elaboración propia

En la Figura 20, Liu et al. (Diciembre 2022), utilizaron MPC compuesto de M y P con una relación M/P de 2/1, donde se evaluó como adición a las cenizas volantes como reemplazo parcial del peso de M y P. La muestra patrón obtuvo una resistencia de 8.35 MPa, siendo la mezcla óptima la muestra con 10% de FA, donde se obtuvo una resistencia a la flexión de 9.2 MPa a los 28 días, mejorando un 10.18% con respecto a la muestra patrón. Según la Tabla 16, se obtuvieron resistencias iniciales a 1 día de 6.66 MPa para la muestra patrón y 7.63 MPa para la muestra con FA igual a 10%, los cuales representan el 79.8% y 82.9% de la resistencia final respectivamente.

Según Haque et al. (2020), utilizaron MPC compuesto de M y P con una relación M/P de 3/1, donde se evaluó como adición a las cenizas volantes como reemplazo parcial del peso

de M y P. La muestra patrón, obtuvo una resistencia de 9.7 MPa, y la muestra con FA al 20%, obtuvo una resistencia a la flexión óptima de 10.1 MPa a los 28 días, mejorando un 4.1% con respecto a la muestra patrón. Según la Tabla 18, se obtuvieron resistencias iniciales a 1 día de 7.8 MPa para la muestra patrón y 7.6 MPa para la muestra con FA igual a 20%, los cuales representan el 80.4% y 75.25% de la resistencia final respectivamente.

Liu et al. (Julio 2022), utilizaron MPC compuesto de M y P con una relación M/P de 4/1, donde se evaluó como adición a las cenizas volantes como reemplazo parcial del peso de M. La muestra patrón obtuvo una resistencia de 7.92 MPa y la mezcla óptima con 5% de cenizas volantes, obtuvo una resistencia a la flexión de 8.1 MPa a los 28 días, mejorando un 2.27% con respecto a la muestra patrón. Según la Tabla 20, se obtuvieron resistencias iniciales a 1 día de 7.2 MPa para la muestra patrón y 7.1 MPa para la muestra con FA igual a 5%, los cuales representan el 90.9% y 87.65% de la resistencia final respectivamente.

Según Ahmad et al. (2018), utilizaron MPC compuesto de M y P con una relación M/P de 3/1, donde se evaluó como adición a las cenizas volantes como reemplazo parcial del peso de M calcinado a muerte y P. La muestra patrón sin fibras de basalto ni cenizas volantes ultrafinas obtuvo una resistencia de 10.6 MPa a los 28 días. Según la Figura 10, se obtuvo una resistencia inicial a 1 día de 8.8 MPa para la muestra patrón, el cual representa el 83.02% de la resistencia final.

De los resultados de la Figura 20 se observa que la relación M/P óptima es de 3/1 obteniendo las mayores resistencias entre todas las muestras. La resistencia máxima la obtuvieron los autores Ahmad et al. (2018) con una resistencia a la flexión de 10.6 MPa. Podemos observar en la Figura 15 que el uso de cenizas volantes mejora hasta un 10.18% con respecto a la muestra patrón. Liu et al. (Diciembre 2022) en su muestra con 10%FA tiene un incremento mayor en su resistencia a comparación de Liu et al. (Julio 2022) en su muestra con 5%FA.

Además, todas las muestras muestran una resistencia mayor a la convencional, superando la relación del 8-12% respecto a la resistencia a la compresión, demostrando que el concreto con MPC obtienen resistencias a la flexión altas. Cabe resaltar que el MPC presenta altas resistencias iniciales, llegando a alcanzar al primer día un 90.9% de la resistencia a la flexión a los 28 días.

Se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_1), ya que, en la Figura 15 se observa que la resistencia a la flexión incrementa para una relación M/P.

5.2.4. Contrastación de la cuarta hipótesis

Hipótesis 4: Al analizar la relación de magnesio y fosfato incrementa la resistencia a la compresión.

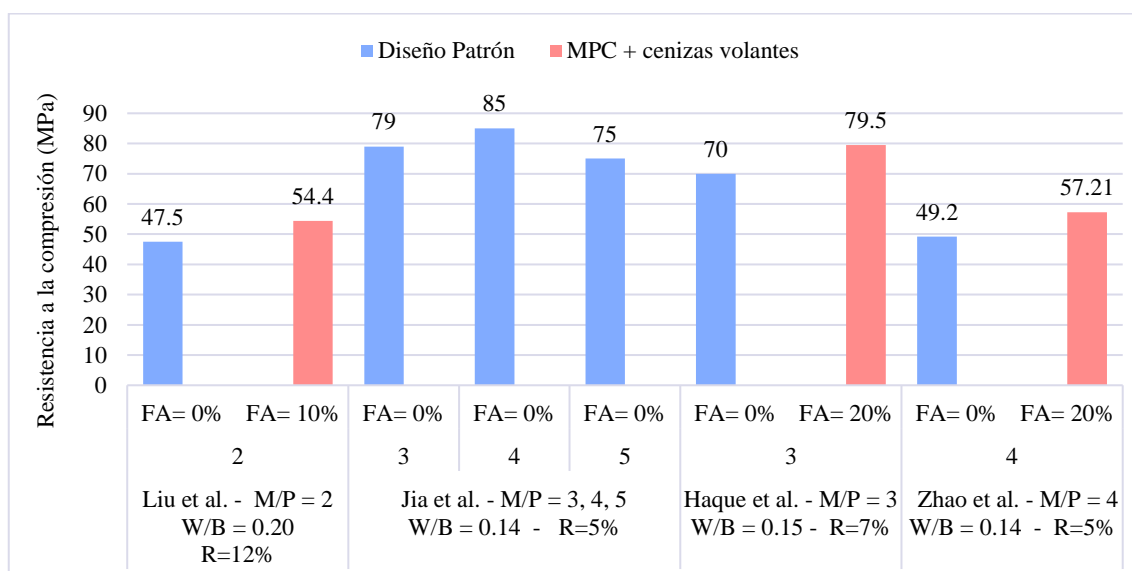
H₀: Al analizar la relación de magnesio y fosfato no incrementa la resistencia a la compresión del concreto.

H₁: Al analizar la relación de magnesio y fosfato si incrementa la resistencia a la compresión del concreto.

A continuación, en la Figura 21 se muestra los resultados de la resistencia a la compresión a los 28 días.

Figura 21

Resistencia a la compresión a los 28 días para diferentes relaciones M/P



Nota. Elaboración propia

En la Figura 21, Zhao et al. (2022), utilizaron MPC compuesto de M y P con una relación M/P de 2, 3, 4 y 5, donde se evaluó como adición a las cenizas volantes como reemplazo parcial del peso de materiales cementantes (M, P y bórax). La muestra con mayor resistencia a la compresión es la que tiene una relación M/P igual a 4, donde se obtuvo una resistencia de 49.2 MPa a los 28 días. Además, añadiendo a la mezcla un 20% de FA la resistencia aumenta un 16.28% obteniendo una resistencia de 57.21 MPa. Según la Tabla 25, se obtuvieron resistencias iniciales a 1 día de 28.7 MPa para la muestra patrón y 25.27 MPa para la muestra con 20% de FA, los cuales representan el 58.3% y 44.2% de la resistencia final respectivamente.

Según Liu et al. (Diciembre 2022), utilizaron MPC compuesto de M y P con una relación M/P de 2, donde se evaluó como adición a las cenizas volantes como reemplazo parcial del peso de M y P. La muestra con mayor resistencia a la compresión es la que tiene 10% de FA, donde se obtuvo una resistencia de 54.4 MPa a los 28 días. Además, añadiendo a la mezcla 10% de FA la resistencia aumenta un 14.52% con respecto a la muestra patrón. Según la Tabla 26, se obtuvieron resistencias iniciales a 1 día de 37 MPa en la muestra patrón y 40.8 MPa para la muestra con FA igual a 10%, los cuales representan respectivamente el 77.9% y 75% de la resistencia final.

Jia et al. (2021), utilizaron MPC compuesto de M y P con una relación M/P de 3, 4 y 5. La muestra con mayor resistencia a la compresión es la que tiene una relación M/P igual a 4, donde se obtuvo una resistencia de 85 MPa a los 28 días. La muestra con menor resistencia fue la mezcla con una relación M/P igual a 5 con 75 MPa. También podemos observar que, con una relación M/P mayor a 4 la resistencia a la compresión disminuye. Según la Tabla 27, para la muestra con relación M/P igual a 4 se obtuvo una resistencia inicial a 1 día de 41 MPa como muestra patrón, el cual representa el 48.2% de la resistencia final.

Según Haque et al. (2020), utilizaron MPC compuesto de M y P con una relación M/P de 3, donde se evaluó como adición a las cenizas volantes como reemplazo parcial del peso de M y P. La muestra patrón, obtuvo una resistencia de 70 MPa a los 28 días. Respecto a la muestra con FA, se obtuvo una resistencia a la compresión de 79.5 MPa a los 28 días, mejorando un 13.6% con respecto a la muestra patrón. Según la Figura 14, se obtuvieron resistencias iniciales a 1 día de 52.5 MPa para la muestra patrón y 64 MPa para la muestra con FA, los cuales representan respectivamente el 75% y 80.50% de la resistencia final. De los resultados de la Figura 21 se observa que la relación M/P óptima se encuentra en el rango de 3/1 a 4/1 obteniendo las mayores resistencias entre todas las muestras. La resistencia máxima la obtuvieron los autores Jia et al. (2021) con una resistencia a la compresión de 85 MPa. Podemos observar que el uso de cenizas volantes mejora la resistencia a la compresión con respecto a las muestras patrón aplicadas. Cabe resaltar que el MPC presenta altas resistencias iniciales, llegando a alcanzar al primer día un 80.5% de la resistencia a la compresión a los 28 días.

Se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_1), ya que, en la Figura 16 se observa que la resistencia a la compresión incrementa para una relación M/P.

DISCUSIÓN

Según los resultados obtenidos de los ensayos de asentamiento en la Figura 18, para las muestras patrones, de acuerdo con los autores de Jia et al. (2021) con una relación M/P de 3/1 y $W/B = 0.14$ se obtuvo asentamiento de 205 mm, Liu et al. (Diciembre 2022) con una relación M/P de 2/1 y $W/B = 0.20$ se obtuvo asentamiento de 250 mm, y Liu et al. (Julio 2022) con una relación M/P de 4/1 se obtuvo el asentamiento más alto de 255 mm. Para las muestras con adición de cenizas volantes a partir de los resultados de los autores Liu et al. (Diciembre 2022) con una relación M/P de 2/1 y 10% de FA reemplazo de M y P se obtuvo asentamiento de 263 mm, y Liu et al. (Julio 2022) con una relación M/P de 4/1 y 5% de FA de reemplazo de M se obtuvo el asentamiento más alto de 264 mm.

Tomando como base los resultados analizados en la Figura 19, para las muestras patrones de acuerdo con los autores de Liu et al. (Julio 2022) con una relación M/P de 5/1 y 16% de retardantes con respecto al M obteniendo un tiempo de fraguado de 28 minutos, Liu et al. (Diciembre 2022) con una relación M/P de 2/1 y 12% de bórax con respecto al M obteniendo un tiempo de fraguado de 13.9 minutos, y Jia et al. (2021) con una relación M/P de 5/1 y 5% de bórax con respecto al M obteniendo el tiempo de fraguado más bajo de 9 minutos.

Para las muestras con adición de cenizas volantes con base en los resultados de los autores Liu et al. (Julio 2022) con una relación M/P de 4/1 y 16% de bórax con respecto al M obteniendo un tiempo de fraguado de 32 minutos, y Liu et al. (Diciembre 2022) con una relación M/P de 2/1 y 12% de bórax con respecto al M obteniendo un tiempo de fraguado de 11.5 minutos, respectivamente.

De acuerdo a la Figura 20, para las muestras patrones tenemos a Ahmad et al. (2018) donde obtuvieron una alta resistencia a la flexión de 10,6 MPa con un porcentaje de agua igual a 8% (con respecto a los demás materiales), M/P de 3/1 y un porcentaje de retardantes igual a 12%. Haque et al (2020) obtuvieron una resistencia a la flexión de 9,7 MPa con W/B igual a 0.15, M/P de 3/1 y un 7% de retardantes. Por otro lado, tenemos a Liu et al. (Julio 2022) el cual obtuvo una resistencia menor de 7.92 MPa con una relación W/B igual a 0.17, M/P de 4/1 y porcentaje de retardantes igual a 16%.

Para las muestras con adiciones de cenizas volantes, Haque et al. (2020) obtuvieron una resistencia de 10,1 MPa con 20% de FA y una relación M/P de 3/1. Liu et al. (Diciembre 2022) y Liu et al. (Julio 2022) con una relación M/P igual a 2 y 4 obtuvieron resistencias de 9.2 y 8.1 MPa con 10% de FA y 5% de FA respectivamente.

Las resistencias a la flexión obtenidas de Liu et al. (Julio 2022) son menores con respecto a las demás muestras con la adición de FA, esto puede ser debido al reemplazo de las FA con respecto al peso de M. Además, Liu et al. (Diciembre 2022) obtuvieron la muestra con cenizas volantes con el mayor incremento con respecto a la muestra patrón, mejorando 10.18%.

Analizando los resultados encontrados en la Figura 21, tenemos a Liu et al. (Diciembre 2022) con una relación M/P de 2/1, W/B de 0.2 y bórax en un 12% con respecto al M, el cual provoca una reducción de este material obteniendo la resistencia a la compresión más baja con 47.5 MPa. Para Zhao et al. (2022), se diseñó un concreto poroso con M/P de 4/1, W/B= 0.14 y bórax en un 5% con respecto al M, obteniendo 49.2 MPa, sin embargo, por no contar con agregados finos la distribución de los tamaños de los granos es mala. Luego tenemos a Haque et al. (2020) con M/P de 3/1, W/B de 0.15 y retardantes como bórax y STP con 7% del total del M, resultando 70 MPa. Por último, tenemos a Jia et al. (2021) con M/P de 4/1, W/B de 0.14 y bórax en un 5% obteniendo la resistencia más alta con 85 MPa.

Para las muestras con adiciones de FA tenemos a Haque et al. (2020) usando una relación M/P de 3/1, W/B igual a 0.15 y un 20% de FA donde obtuvieron 79.5 MPa. A diferencia de Liu, et al. (Diciembre 2022), utilizaron un M/P de 2, W/B igual a 0.2 y un 10% de FA obteniendo una resistencia de 54.4 MPa.

Los autores trabajaron con una relación W/B entre 0.14 y 0.20 con resultados a la compresión altos, los cuales pudieron haber mejorado con un aditivo plastificante en su diseño de mezcla.

CONCLUSIONES

1. Según los resultados se obtuvo que para el cemento de fosfato de magnesio con una relación M/P igual a 4/1 mejoró el asentamiento en un 3.53% con 5% de ceniza volante; con una relación M/P igual a 2/1 redujo el tiempo de fraguado en un 17.27% con 30% de ceniza volante; con una relación M/P igual a 3/1 incrementa la resistencia a la flexión en un 4.1% con 20% de cenizas volantes y con una relación M/P igual a 3/1 se obtiene una resistencia a la compresión en un 13.57% con 20% de cenizas volantes. Finalmente, el cemento de fosfato de magnesio logró muestras muy trabajables y de consistencias fluidas, con tiempo de fraguados cortos y altas resistencias. Se demostró que el incremento de la resistencia a la compresión y flexión es directamente proporcional al aumento de la relación M/P hasta cierto valor.
2. La relación M/P mejora el asentamiento, resultando la relación óptima M/P es de 4/1. Según Liu et al. (Julio 2022), con una relación M/P de 4/1 y 5% de FA, obteniendo un asentamiento de 264 mm, mejorando un 3.53% de asentamiento respecto a la muestra patrón (Figura 18).
3. La relación M/P reduce el tiempo de fraguado mientras no esté siendo reemplazado parcialmente el M por retardantes, obteniendo la relación óptima M/P es de 5/1. Entre los diseños óptimos tenemos a Jia et al. (2021), se determinó para una muestra patrón que con una relación M/P de 5/1 y 5% de bórax con respecto al M obteniendo un tiempo de fraguado de 9 minutos, entonces el tiempo de fraguado se reduce en un 50% con respecto a la muestra patrón con una relación M/P de 3/1. Según Liu et al. (Diciembre 2022), con una relación M/P de 2/1 con 30% de FA y 12% de bórax con respecto al M resultando un tiempo de fraguado de 11.5 minutos, reduciendo un 17.27% de tiempo de fraguado respecto a la muestra de patrón (Figura 19).
4. La relación M/P incrementa la resistencia a la flexión, resultando una relación óptima igual a 3/1. Entre los diseños óptimos con M/P de 3 tenemos a Ahmad et al. (2018) donde se obtuvo una resistencia a la flexión de 10.6 MPa, siendo esta una muestra patrón. Según Haque et al. (2020) se obtuvo una resistencia a la flexión de 10.1 MPa, utilizando cenizas volantes al 20% con respecto al peso total del material cementante, incrementando un 4.12% con respecto a su muestra patrón (Figura 20).

5. La relación M/P incrementa la resistencia a la compresión, con una relación óptima igual a 4/1. Usando una relación M/P igual a 4/1 y un W/B igual a 0.14, tenemos a Jia et al. (2021) donde se obtuvo la resistencia a la compresión más alta igual a 85 MPa, siendo esta una muestra patrón. Según Haque et al. (2020) obtuvo una resistencia a la compresión de 79.5 MPa, utilizando cenizas volantes al 20% con respecto al peso total del material cementante, incrementando un 13.57% con respecto a su muestra patrón (Figura 21). Concluyendo que utilizando cemento de fosfato de magnesio se puede obtener concretos de altas resistencias.

RECOMENDACIONES

1. Incorporar aditivos plastificantes o superplastificantes debido a que mejora su trabajabilidad y fluidez del concreto en estado fresco. Además, reduce el agua e incrementa su resistencia inicial y su resistencia final.
2. Evaluar una relación de M/P en un rango de 4 a 5 para obtener un menor valor de tiempo de fraguado; además, se debe estudiar la adición de cenizas volantes en un intervalo de 10% a 20% como reemplazo parcial del peso de M y P, ya que reduce el calor exotérmico generado durante la hidratación temprana.
3. Realizar el ensayo de Microscopía electrónica de barrido (SEM), ya que es importante conocer su morfología y composición química de las muestras, puesto que el comportamiento de la unión entre las partículas de cenizas volantes y las estruvitas intervienen en la resistencia a la flexión.
4. Analizar la resistencia a la compresión en muestras con diferentes relaciones M/P entre un rango de 3 a 4 y evaluar el comportamiento de la adición elegida con las mismas relaciones M/P, para cuantificar su porcentaje de mejora con respecto a sus muestras patrones, con el fin de obtener resultados que respalden lo estudiado.
5. Investigar el uso de la adición de microfibras de acero, ya que incrementa la resistencia a la compresión, flexión y su ductilidad, reforzando así las propiedades del MPC. Una pequeña inclusión de microfibras en combinaciones de MPC puede mejorar eficazmente la tenacidad a la fractura y el ancho de las grietas. También podemos mencionar a las fibras de alcohol polivinílico o fibra de basalto, las cuales ayudarán a ampliar las aplicaciones de este concreto en el rubro de la ingeniería civil.

REFERENCIAS

- Aceros Arequipa (2020). *La resistencia mecánica del concreto*.
<https://www.construyendoseguro.com/la-resistencia-mecanica-del-concreto/#:~:text=La%20resistencia%20mec%C3%A1nica%20del%20concreto%20es%20la%20propiedad%20que%20hace,con%20materiales%20de%20calidad!>
- ACI Innovation Task Group 10 (2018). *Report on Alternative Cements*.
www.concrete.org
- Ahmad, M., Chen, B., Yu, J. (2019). A comprehensive study of basalt fiber reinforced magnesium phosphate cement incorporating ultrafine fly ash. *Composites Part B: Engineering*, 168, 204-217. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.12.065>
- Almashaqbeh, H. K. (2019). *Decoding and Optimizing Magnesium Phosphate Binders for Additive Construction Applications*. [Tesis de Doctorado, The University of Mississippi]. <https://egrove.olemiss.edu/etd/1537>
- American Concrete Institute (2013). *ACI Concrete Terminology*. www.concrete.org
- American Concrete Institute (2023). *ACI Concrete Terminology*. www.concrete.org
- ASTM C143 (2015). *Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete*.
- ASTM C39 (2021). *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*.
- ASTM C403 (2017). *Standard Test Method for Time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance*.
- ASTM C78 / C78M-21 (2010). *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)*.
- Bilginer, B. (2018). *Development of magnesium potassium phosphate cement pastes and mortars incorporating fly ash* [Tesis de maestría, Middle East Technical University]. <https://open.metu.edu.tr/handle/11511/27536>
- Carbonel, R. y Quinteros, B. (2021). *Uso de agregados reciclados proveniente del concreto de edificaciones en Lima Metropolitana para su aplicación en veredas con $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$* . [Tesis de título, Universidad de ciencias aplicadas]. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/652571>
- Cobos, P. (2021). *Evaluación del uso en ingeniería civil y edificación de hormigones bioreceptivos* [Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Catalunya]. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/354577>

- Feng, H., Nie, S., Guo, A., Shen, S., Gao, D. y Chen, G. (2021). Flexural behavior of high ductility MPC-based composites under low-temperature curing. *Construction and Building Materials*, 300. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124231>
- Gao, Y., Qin, J., Li, Z., Jia X., y Qian, J. (2023). Creep Deformation and Its Effect on Mechanical Properties and Microstructure of Magnesium Phosphate Cement Concrete. *Materials*, 16(5). <https://doi.org/10.3390/ma16051760>
- Global cement and concrete association (2021). *Futuro del hormigón. Plan de trabajo hacia una industria del cemento y hormigón neutra en carbono para 2050 de la Asociación Mundial de Productores de Cemento y Hormigón*. <https://gccassociation.org/concretefuture/wpcontent/uploads/2021/10/GCCA-Concrete-Future-Roadmap-Overview-Spanish.pdf>
- Haque, M. A. y Chen, B. (2019). Research progresses on magnesium phosphate cement: A review. *Construction and Building Materials*, 211, 885–898. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.304>
- Haque, M. A., Chen, B., y Liu Y. (2020). The role of bauxite and fly-ash on the water stability and microstructural densification of magnesium phosphate cement composites. *Construction and Building Materials*, 260, 119953. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119953>
- Hipedinger, E. (2007). *Liga química magnesia-fosfato. Desarrollo y aplicación en cementos y hormigones refractarios* [Tesis de Doctorado, Universidad Nacional de La Plata]. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/1370>
- Indecopi (2009). *Norma Técnica Peruana 339.035. HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento Portland*.
- Indecopi (2012). *Norma Técnica Peruana 339.078. CONCRETO. Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo*.
- Indecopi (2015). *Norma Técnica Peruana 339.034. HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas*.
- Indecopi (2016). *Norma Técnica Peruana 339.082:2011 (revisada el 2016). CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación del tiempo de fraguado de mezclas por medio de la resistencia a la penetración. 3a Edición*.
- Jia, X. wen, Luo, J. yin, Zhang, W. xin, Tang, M. hua, Qian, J. shi, Wang, P., & Li, J. meng. (2021). Reaction characteristics and compressive strength of magnesia-

- phosphate cement at negative temperatures. *Construction and Building Materials*, 305. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124819>
- Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C. y Tanesi, J. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*. Portland Cement Association. www.pavement.com
- Liu, H., Feng, Q., Yang, Y., Zhang, J., Zhang, J. y Duan, G. (Julio 2022). Experimental Research on Magnesium Phosphate Cements Modified by Fly Ash and Metakaolin. *Coatings*, 12(7), 1030. <https://doi.org/10.3390/coatings12071030>
- Liu, J., Yuan, M., Hai, R., Yang, F., Zhang, J. y Li, A. (Diciembre 2022). Investigation of the Mechanical Physical Properties of Fly Ash Modified Magnesium Phosphate Cement Repair Mortar Cured at Varying Temperatures. *Buildings*, 13(1), 88. <https://doi.org/10.3390/buildings13010088>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2019). *NORMA TÉCNICA DE EDIFICACIÓN E.060 CONCRETO ARMADO*. <https://www.cip.org.pe/publicaciones/2021/enero/portal/e.060-concreto-armado-sencico.pdf>
- Organización Meteorológica Mundial (2021). *Boletín de la OMM sobre los gases de efecto invernadero*. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10893
- Sun, D., Wu, K., Kang, W., Shi, H., y Li, S. (2018). Characterization of Water Stability of Magnesium Phosphate Cement Blended with Steel Slag and Fly Ash. *Advances in Cement Research*, 1–34. doi:10.1680/jadcr.18.00067
- Yu, B., Zhou, J., Cheng, B. y Yang, W. (2021). Compressive strength development and microstructure of magnesium phosphate cement concrete. *Construction and Building Materials*, 283. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122585>
- Zhao, S., Zhang, D., Li, Y., Gao, H. y Meng, X. (2022). Physical and Mechanical Properties of Novel Porous Ecological Concrete Based on Magnesium Phosphate Cement. *Materials*, 15(21). <https://doi.org/10.3390/ma15217521>

ANEXOS

Anexo A: Matriz de Consistencia	65
Anexo B: Matriz de Autores	66

Anexo A: Matriz de Consistencia

TÍTULO: MEZCLA DE CONCRETO CON CEMENTO DE FOSFATO DE MAGNESIO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE	INDICADORES	HERRAMIENTAS	INSTRUMENTOS	METODOLOGÍA
¿De qué manera la mezcla de concreto con cemento de fosfato de magnesio contribuye en las propiedades físicas y mecánicas ?	Determinar la mezcla de concreto con cemento de fosfato de magnesio para mejorar las propiedades físicas y mecánicas .	Al analizar la mezcla de concreto con cemento de fosfato de magnesio mejoran las propiedades físicas y mecánicas .	Mezcla de concreto con cemento de fosfato de magnesio	Relación de magnesio y fosfato	ACI ITG-10.1R-18 SP-317-04		<p>Método de investigación: Deductivo, aplicada, retrolectivo</p> <p>Tipo de investigación: Documental, explicativa y comparativa</p>
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLE DEPENDIENTE				
a) ¿De qué manera la relación de magnesio y fosfato contribuye en el asentamiento ?	a) Determinar la relación de magnesio y fosfato para mejorar el asentamiento .	a) Al analizar la relación de magnesio y fosfato mejora el asentamiento .		Asentamiento	ASTM C143 NTP 339.035	Normas nacionales, internacionales, artículos científicos, tesis, conferencias, libros, entre otros.	<p>Nivel de investigación: Descriptiva, explicativa y correlacional.</p>
b) ¿De qué manera la relación de magnesio y fosfato contribuye en el tiempo de fraguado ?	b) Determinar la relación de magnesio y fosfato para reducir el tiempo de fraguado .	b) Al analizar la relación de magnesio y fosfato reduce el tiempo de fraguado .		Tiempo de fraguado	NTP 339.082 ASTM C403		<p>Diseño de investigación: No experimental, longitudinal, retrospectivo</p>
c) ¿De qué manera la relación de magnesio y fosfato contribuye en la resistencia a la flexión ?	c) Determinar la relación de magnesio y fosfato para incrementar la resistencia a la flexión .	c) Al analizar la relación de magnesio y fosfato incrementa la resistencia a la flexión .	Propiedades físicas y mecánicas	Resistencia a la flexión	NTP 339.078 ASTM C 78		<p>Población: Cemento de fosfato de magnesio</p>
d) ¿De qué manera la relación de magnesio y fosfato contribuye en la resistencia a la compresión ?	d) Determinar la relación de magnesio y fosfato para incrementar la resistencia a la compresión .	d) Al analizar la relación de magnesio y fosfato incrementa la resistencia a la compresión .		Resistencia a la compresión	ASTM C39 NTP 339.034		<p>Muestra: Probetas en laboratorio</p> <p>Técnica: Observación directa y registro de información</p>

Anexo B: Matriz de Autores

Nº	AUTOR	TITULO	ESPAÑOL	AÑO	INDICADORES ESTUDIADOS	RESUMEN
4	Junxia Liu, Mengtian Yuan, Ran Hai, Fei Yang, Jingyu Zhang y Anbang Li	Investigation of the Mechanical Physical Properties of Fly Ash Modified Magnesium Phosphate Cement Repair Mortar Cured at Varying Temperatures	Investigación de las propiedades físicas mecánicas del mortero de reparación de cemento de fosfato de magnesio modificado con cenizas volantes modificado con fosfato de magnesio curado a distintas temperaturas	2022	Asentamiento, tiempo de fraguado, resistencia a la flexión y resistencia a la compresión	Investigaron acerca de las propiedades físicas y mecánicas del mortero de reparación de cemento de fosfato de magnesio (MPC) modificado con cenizas volantes curado a 0 °C y 20 °C, fueron estudiados comparativamente en este trabajo. Los resultados muestran que, al aumentar las cenizas volantes (FA) mejoran la resistencia a la compresión, el tiempo de fraguado, la fluidez, la resistencia a la flexión.
7	He Liu, Qidong Feng, Yanhai Yang, Jingyi Zhang, Jian Zhang y Guangchao Duan	Experimental Research on Magnesium Phosphate Cements Modified by Fly Ash and Metakaolin	Investigación experimental sobre cementos de fosfato de magnesio modificados por cenizas volantes y metacaolín	2022	Asentamiento, tiempo de fraguado, resistencia a la flexión, compresión	Investigaron la influencia de FA y MK en la trabajabilidad, características reológicas, resistencia a la flexión, resistencia a la compresión y contracción por secado del MPC. Se prepararon muestras de MPC con diferentes porcentajes de FA y MK por reposición de peso. Los resultados indican que una dosis adecuada de MK y FA podría disminuir la fluidez del MPC y retrasar el tiempo de fraguado.
25	Muhammad Riaz Ahmad, Bing Chen, Jiang Yu	A comprehensive study of basalt fiber reinforced magnesium phosphate cement incorporating ultrafine fly ash	Un estudio exhaustivo del cemento de fosfato de magnesio reforzado con fibra de basalto que incorpora cenizas volantes ultrafinas	2018	Tiempo de fraguado, resistencia a la flexión, compresión	Se estudió la influencia de las cenizas volantes ultrafinas (FA) en las propiedades mecánicas, la resistencia a temperaturas elevadas y la estabilidad del agua del cemento de fosfato de magnesio reforzado con fibra de basalto. Los resultados experimentales mostraron que la incorporación de FA mejoró las propiedades mecánicas, la resistencia a la temperatura y la estabilidad al agua de los compuestos MPC.

26	M. Aminul Haque, Bing Chen, Yuanta Liu	The role of bauxite and fly-ash on the water stability and microstructural densification of magnesium phosphate cement composites	El papel de la bauxita y las cenizas volantes en la estabilidad del agua y la densificación microestructural de compuestos de cemento de fosfato de magnesio.	2020	Resistencia a la flexión, compresión	Agregaron cenizas volantes (FA) y bauxita como aditivos en mezclas de MPC para mejorar la densidad estructural y la permanencia del agua. Se diseñaron seis combinaciones diferentes basadas en MPC puro, MPC con FA y MPC mezclado con FA y bauxita. Los resultados mostraron que los morteros MPC preparados con FA (un tercio de óxido de magnesio, MgO) y bauxita (12% de MgO) presentaron resistencia superior a la compresión (CS) y resistencia a la flexión (FS) en ambientes de aire y agua, respectivamente, que tenían una resistencia cercana a un 25% mayor que la muestra de control.
5	Xing-wen Jia, Jia-yin Luo, Wen-xin Zhang, Mao-hua Tang, Jue-shi Qian, Ping Wang, Jun-meng Li	Reaction characteristics and compressive strength of magnesia-phosphate cement at negative temperatures	Características de reacción y resistencia a la compresión del cemento de fosfato de magnesio a temperaturas negativas	2021	Asentamiento, tiempo de fraguado, resistencia a la compresión	Se estudio y analizo cuantitativamente las influencias de magnesia/fosfato calcinado a muerte (M/P), bórax/magnesia calcinada a muerte (B/M) y agua/MPC. (A/C) sobre la velocidad de reacción, la resistencia inicial y la resistencia a largo plazo del MPC preparado y curado a temperaturas negativas.
2	Shuaiyu Zhao, Dongpo Zhang, Yaqiang Li, Hang Gao y Xinmiao Meng	Physical and Mechanical Properties of Novel Porous Ecological Concrete Based on Magnesium Phosphate Cement	Propiedades Físicas y Mecánicas de un nuevo hormigón ecológico poroso a base de cemento de Fosfato de Magnesio	2022	Resistencia a la compresión	Se estudió valor de ph con el incremento de la relación molar fósforo/magnesio (P/M), resistencia a la compresión con incremento de relación (P/M), y se evaluó la estructura de los poros y resistencia a la compresión con cenizas volantes (FA) y la escoria molida de alto horno (GBFS).