



UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Residuos industriales como cenizas volantes y escorias de altos hornos para mejorar las propiedades físico-mecánicas del hormigón estructural

TESIS

Para optar el título Profesional de Ingeniero Civil

AUTORES

Tahua Mautino, Angel Hillari

ORCID: 0000-0003-3384-8350

Yauri Romani, Jhosef Alexander

ORCID: 0000-0002-8505-1696

ASESOR

Mg. Chavarría Reyes, Liliana Janet

ORCID: 0000-0002-1759-2132

Lima, Perú

2023

Metadatos Complementarios

Datos del autor(es)

Tahua Mautino, Angel Hillari

DNI: 70180416

Yauri Romani, Jhosef Alexander

DNI: 74386667

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

Torres Chung, Cesar Roberto

DNI: 41182279

ORCID: 0000-0003-3212-2817

JURADO 3

Chavarry Vallejos, Carlos Magno

DNI: 07410234

ORCID: 0000-0003-0512-8954

Datos de la investigación

Campo del conocimiento OCDE: 2.01.01

Código del Programa: 732016

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Nosotros, Tahua Mautino Angel Hillari, con código de estudiante N° 201811403, con DNI N° 70180416, con domicilio en Av. Huandoy con Marañon Mz “B” Lote 40 – Urbanización Santa Elisa, distrito Los Olivos, provincia y departamento de Lima, y Yauri Romani Jhosef Alexander, con código de estudiante N° 201812173, con DNI N° 74386667, con domicilio en Asoc. Industrial Los Artesanos Mz. E Lt. 36, distrito Ate, 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: “Residuos industriales como cenizas volantes y escorias de altos hornos para mejorar las propiedades físico-mecánicas del hormigón estructural” es de nuestra única autoría, bajo el asesoramiento del docente Chavarría Reyes, Liliana Janet, y no existe plagio y/o copia de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación presentado por cualquier persona natural o jurídica ante cualquier institución académica o de investigación, universidad, etc.; la cual ha sido sometida al antiplagio Turnitin y tiene el 25% de similitud final.

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

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

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

Surco, 23 de octubre de 2023



Tahua Mautino Angel Hillari

DNI N° 70180416



Yauri Romani Jhosef Alexander

DNI N° 74386667

INFORME DE ORIGINALIDAD DE TURNITIN

RESIDUOS INDUSTRIALES COMO CENIZAS VOLANTES Y ESCORIAS DE ALTOS HORNOS PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FISICO MECANICAS DEL HORMIGON ESTRUCTURAL

INFORME DE ORIGINALIDAD

25%	24%	8%	10%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	7%
2	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	7%
3	Submitted to Universidad Ricardo Palma Trabajo del estudiante	3%
4	www.ijert.org Fuente de Internet	2%
5	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1%
6	journals.pen2print.org Fuente de Internet	<1%
7	patents.google.com Fuente de Internet	<1%
8	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	<1%



Dra. Vargas Chang Esther Joni

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mis padres, a mis abuelos Carlos, Adrián, Herminia y Pía que están en el cielo, a mi abuelo Pedro, a mi Hermana Yuleissy, a mi sobrino Mathias y a mis tíos y primos quienes siempre me han brindado su apoyo incondicional.

Angel Hillari Tahua Mautino

Dedico esta tesis a mis padres, tíos y abuelos, a quienes les agradezco por ser lo que soy, y por haberme cuidado y a su vez, por inculcarme principios y valores, y por su constante apoyo en todo sentido.

Jhosef Alexander Yauri Romani

AGRADECIMIENTO

Nuestro sincero agradecimiento a nuestra universidad Ricardo Palma y a nuestros maestros, por habernos brindado los conocimientos de esta maravillosa carrera de Ingeniería Civil desde los primeros ciclos.

Tahua, Angel y Yauri, Jhosef

ÍNDICE GENERAL

METADATOS COMPLEMENTARIOS	ii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD	iii
INFORME DE ORIGINALIDAD DE TURNITIN.....	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN	2
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	4
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	4
1.1.1. Problema e importancia	4
1.1.2. Árbol del problema (Causas - Problema - Consecuencias)	4
1.2. Formulación del problema	6
1.2.1. Problema general	6
1.2.2. Problemas específicos	6
1.3. Objetivos de la investigación	6
1.3.1. Objetivo general.....	6
1.3.2. Objetivos específicos.....	6
1.4. Delimitación de la Investigación	6
1.4.1. Geográfica.....	6
1.4.2. Temporal	6
1.4.3. Temática.....	7
1.4.4. Muestral	7
1.5. Justificación del estudio	7
1.5.1. Conveniencia	7
1.5.2. Relevancia social	7
1.5.3. Aplicaciones prácticas	7
1.5.4. Utilidad metodológica.....	7
1.5.5. Valor teórico	7

1.6. Importancia del estudio.....	8
1.6.1. Nuevos conocimientos	8
1.6.2. Aporte	8
1.7. Limitaciones del estudio	8
1.7.1. Falta de estudios previos de investigación.....	8
1.7.2. Metodológicos o prácticos	8
1.7.3. Medidas para la recolección de los datos.....	8
1.7.4. Obstáculos en la investigación.....	8
1.8. Alcance	9
1.9. Viabilidad del estudio	9
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	10
2.1. Marco histórico	10
2.2. Investigaciones relacionadas con el tema	10
2.2.1. Artículos relacionados con el tema	10
2.3. Estructura teórica y científica que sustenta el estudio	13
2.3.1. Cemento Portland	13
2.3.2. Propiedades del Hormigón.....	14
2.3.4. Norma Técnica Peruana.....	18
2.3.5. Norma E.060.....	18
2.3.6. Norma ACI 318S-14	18
2.3.7. Ceniza volante.....	18
2.3.8. Escoria de alto horno	19
2.4. Definición de términos básicos.....	19
2.5. Fundamentos teóricos que sustentan las hipótesis (figuras o mapa conceptuales)	20
CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS	21
3.1. Hipótesis	21
3.1.1. Hipótesis Principal	21
3.1.2. Hipótesis Específicas	21
3.2. Sistema de Variables.....	21
3.2.1. Definición Conceptual y Operacional.....	21
3.2.1.1. Variable Independiente	21
3.2.1.2. Variable Dependiente	22
3.2.2. Operacionalización de la variable.....	23
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	24

4.1. Método de la Investigación.....	24
4.2. Tipo de la Investigación.....	24
4.3. Nivel de la Investigación	24
4.4. Diseño de la Investigación.....	25
4.5. Población y Muestra	25
4.5.1. Población	25
4.5.2. Muestra	25
4.6. Técnicas e Instrumentación de recolección de datos	25
4.6.1. Instrumento de recolección de datos.....	25
4.6.2. Método y técnicas	26
4.7. Descripción de procesamiento de análisis	26
CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	27
5.1. Presentación de Resultados.....	27
5.1.1. Resultados de los óptimos porcentajes de cenizas volantes y escorias de altos hornos para incrementar la resistencia a la compresión del hormigón estructural.	27
5.1.2. Resultados de los óptimos porcentajes de cenizas volantes y escorias de altos hornos para incrementar la resistencia a la flexión del hormigón estructural	39
5.1.3. Resultados de los óptimos porcentajes de cenizas volantes y escorias de altos hornos para incrementar la resistencia a la tracción por compresión diametral del hormigón estructural.....	50
5.1.4. Resultados de los óptimos porcentajes de cenizas volantes y escorias de altos hornos para incrementar el asentamiento del hormigón estructural	63
5.2. Contrastación de Hipótesis	74
5.2.1. Contrastación de la primera hipótesis	74
5.2.2. Contrastación de la segunda hipótesis	77
5.2.3. Contrastación de la tercera hipótesis.....	79
5.2.4. Contrastación de la cuarta hipótesis.....	82
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	86
CONCLUSIONES	88
RECOMENDACIONES.....	90
REFERENCIAS.....	91
ANEXOS	94
Anexo A: Matriz de Consistencia	95

Anexo B: Investigaciones Consultadas.....	96
---	----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Tipos de cemento Portland	13
Tabla 2	Empresas de cemento en el Perú.....	14
Tabla 3	Uso del concreto según su referencia.....	14
Tabla 4	Cantidad de insumos para la obtención de 1 m ³ de cada tipo de concreto.....	15
Tabla 5	Clases de mezclas según su asentamiento	17
Tabla 6	Tolerancia para asentamiento nominal	17
Tabla 7	Asentamiento sugeridos para diversos tipos de construcción.....	18
Tabla 8	Operacionalización de variables	23
Tabla 9	Artículos de incremento de resistencia a la compresión	27
Tabla 10	Cantidad en kg/m ³ de los residuos industriales.....	28
Tabla 11	Resultados de ensayo de la resistencia a la compresión (MPa)	29
Tabla 12	Cantidad en kg de los residuos industriales	32
Tabla 13	Resultados de ensayo de la resistencia a la compresión (N/mm ²)	32
Tabla 14	Cantidad en kg/m ³ de los residuos industriales.....	35
Tabla 15	Resultados de ensayo de la resistencia a la compresión (MPa)	35
Tabla 16	Resultados de ensayo de la resistencia a la compresión (MPa)	37
Tabla 17	Artículos de incremento de resistencia a la flexión	39
Tabla 18	Cantidad en kg/m ³ de los residuos industriales	40
Tabla 19	Resultados de ensayo de la resistencia a la flexión (MPa)	41
Tabla 20	Resultados de ensayo de la resistencia a la flexión (N/mm ²)	44
Tabla 21	Cantidad en kg/m ³ de los residuos industriales.....	47
Tabla 22	Resultados de ensayo de la resistencia a la flexión (N/mm ²)	48
Tabla 23	Artículos de incremento de resistencia a la tracción por compresión diametral	50
Tabla 24	Resultados de ensayo de la resistencia a la tracción (MPa).....	51
Tabla 25	Resultados de ensayo de la resistencia a la tracción (N/mm ²).....	54
Tabla 26	Cantidad en kg/m ³ de los residuos industriales.....	57
Tabla 27	Resultados de ensayo de la resistencia a la tracción (N/mm ²).....	58
Tabla 28	Cantidad en kg/m ³ de los residuos industriales.....	60
Tabla 29	Resultados de ensayo de la resistencia a la tracción (N/mm ²).....	61
Tabla 30	Artículos de incremento de asentamiento	63
Tabla 31	Cantidad en kg de los residuos industriales	65

Tabla 32 Resultados de ensayo de asentamiento (mm)	65
Tabla 33 Cantidad en kg/m ³ de los residuos industriales	68
Tabla 34 Resultados de ensayo de asentamiento (mm)	68
Tabla 35 Cantidad en kg/m ³ de los residuos industriales	71
Tabla 36 Resultados de ensayo de asentamiento (mm)	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Árbol del Problema (Causa – Consecuencia).....	5
Figura 2	Ensayo ASTM C78 (Cargas en los puntos tercios).....	16
Figura 3	Ensayo ASTM C293 (Carga en el punto medio).....	16
Figura 4	Mapa Conceptual.....	20
Figura 5	Resistencia a la compresión a los 7 y 28 días (MPa).....	30
Figura 6	Resistencia a la compresión a los 7 y 28 días (N/mm ²).....	33
Figura 7	Resistencia a la compresión a los 7 y 28 días (MPa).....	36
Figura 8	Resistencia a la compresión a los 7 y 28 días (MPa).....	38
Figura 9	Resistencia a la flexión a los 7 y 28 días (MPa).....	42
Figura 10	Resistencia a la flexión a los 28 días (N/mm ²).....	45
Figura 11	Resistencia a la flexión a los 28 días (N/mm ²).....	49
Figura 12	Resistencia a la tracción a los 7 y 28 días (MPa).....	52
Figura 13	Resistencia a la tracción a los 28 días (N/mm ²).....	55
Figura 14	Resistencia a la tracción a los 28 días (N/mm ²).....	59
Figura 15	Resistencia a la tracción a los 7 y 28 días (N/mm ²).....	62
Figura 16	Asentamiento (mm).....	66
Figura 17	Asentamiento (mm).....	69
Figura 18	Asentamiento (mm).....	73
Figura 19	Resistencia a compresión máxima con reemplazo de cenizas volantes y escorias de altos hornos a los 28 días.....	74
Figura 20	Resistencia a flexión máxima con reemplazo de cenizas volantes y escorias de altos hornos a los 28 días.....	77
Figura 21	Resistencia a tracción máxima con reemplazo de cenizas volantes y escorias de altos hornos a los 28 días.....	80
Figura 22	Asentamiento máximo con reemplazo de cenizas volantes y escorias de altos hornos.....	83

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo principal determinar los residuos industriales como cenizas volantes y escorias de altos hornos para mejorar las propiedades físico-mecánicas del hormigón estructural y como objetivos específicos determinar el óptimo porcentaje de cenizas volantes y escorias de altos hornos para incrementar la resistencia a la compresión, a la flexión, a la tracción por compresión diametral y el asentamiento del hormigón estructural. Esta investigación fue documental, bibliográfica y descriptiva, fue de método deductivo, con enfoque cuantitativo, orientación aplicada, nivel descriptivo, de tipo explicativo y correlacional. Las cenizas volantes (FA) y escorias de altos hornos (GGBS) mejoraron la resistencia a la compresión, a la flexión, a la tracción por compresión diametral y el asentamiento. El óptimo porcentaje para incrementar las propiedades físico-mecánicas del hormigón estructural estuvo en un rango de 5% al 40% de cenizas volantes y escorias de altos hornos, el 10% de FA y 20% de GGBS incrementó en un 35.7% la resistencia a la compresión, el 40% de FA y 10% GGBS incrementó en un 30.45% la resistencia a la flexión, el 30% de FA y 30% de GGBS incrementó en un 58.92% la resistencia a la tracción por compresión diametral, el 10% de FA y 5% de GGBS incrementó en un 42.86% el asentamiento. Por lo tanto, se concluye que la utilización de las cenizas volantes y escorias de altos hornos mejoran las propiedades físico-mecánicas del hormigón estructural, obteniendo beneficios estructurales en las obras civiles.

Palabras clave: Cenizas volantes, escorias de altos hornos, resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, resistencia a la tracción por compresión diametral y asentamiento.

ABSTRACT

The main objective of this research was to determine the industrial wastes such as fly ash and blast furnace slag to improve the physical-mechanical properties of structural concrete, and the specific objectives were to determine the optimum percentage of fly ash and blast furnace slag to increase the compressive strength, flexural strength, diametral compressive tensile strength and slump of structural concrete. This research was documentary, bibliographic and descriptive, with a deductive method, quantitative approach, applied orientation, descriptive level, explanatory and correlational type. Fly ash (FA) and blast furnace slag (GGBS) improved compressive strength, flexural strength, diametral compressive strength and the slump. The optimum percentage for increasing the physical-mechanical properties of structural concrete was in the range of 5% to 40% fly ash and blast furnace slag, 10% FA and 20% GGBS increased by 35.7% the compressive strength, 40% FA and 10% GGBS increased by 30.45% the flexural strength, 30% FA and 30% GGBS increased by 58.92% the diametral compressive tensile strength, 10% FA and 5% GGBS increased by 42.86% the slump. Therefore, it is concluded that the use of fly ash and blast furnace slag improves the physical-mechanical properties of structural concrete, obtaining structural benefits in civil works.

Keywords: Fly ash, blast furnace slag, compressive strength, flexural strength, diametral compressive tensile strength and slump.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, se viene incrementando la construcción de edificaciones debido a la alta demanda de la necesidad humana, en ese sentido se entiende que para un correcto proceso constructivo se requiere una cierta cantidad de materiales que cumpla con los requerimientos necesarios de una edificación, sin embargo a lo largo de los años se han presentado daños estructurales en las obras civiles, tales como fisuras y agrietamientos que debilitan las propiedades físico-mecánicas de la estructura.

La investigación pretende mejorar las propiedades físico-mecánicas del hormigón estructural con reemplazo de cenizas volantes y escorias de altos hornos para lograr obtener una mayor vida útil de las estructuras. Esta investigación permitirá identificar estrategias de diseño innovadoras para el hormigón que incluyan cenizas volantes y escorias de altos hornos, con el fin de mejorar sus propiedades. Este avance tecnológico contribuirá a la creación de estructuras más eficaces y sostenibles para futuros proyectos edificatorios. La investigación nos proporcionará una metodología de recopilación de datos basado en artículos científicos, así como en diversas publicaciones académicas. Por último, la investigación presenta un valor teórico ya que es crucial apoyarse en la Norma Técnica Peruana (NTP) y el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) que son específicamente las que nos guían en cada edificación.

El propósito de esta investigación es que permita al lector dar a conocer que existen diversos materiales poco convencionales como los residuos industriales trabajados en la presente investigación que logren disminuir las fallas estructurales de una edificación. Demostrando que las cenizas volantes y escorias de altos hornos no solo se mantienen como desecho en plantas termoeléctricas o como un subproducto del proceso de producción del hierro fundido, sino que también puede ser utilizado en el campo de las obras civiles como método de solución del objetivo planteado y más sabiendo que nuestro país se encuentra en la categoría de riesgo altamente sísmico por formar parte del “Cinturón de Fuego del Pacífico”.

Se analiza las propiedades físico-mecánicas del hormigón estructural con porcentajes óptimos de sustitución de residuos industriales tales como cenizas volantes y escorias de altos hornos por el cemento como son la resistencia a la compresión, a la flexión, a la tracción por compresión diametral y el asentamiento.

La tesis está compuesta de cinco capítulos. El primer capítulo, se realiza el planteamiento del problema, formulación de objetivos, delimitaciones, justificaciones, importancia y

limitaciones. El segundo capítulo se presenta el marco teórico con las investigaciones internacionales, artículos relacionados al tema, estructura teórica y científica, definición de términos básicos y fundamentos teóricos. El tercer capítulo se enfoca en la hipótesis, variables y su operacionalización. El cuarto capítulo detalla el marco metodológico incluyendo el tipo, nivel, diseño, población, muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos, así como el proceso de análisis. El quinto capítulo exhibe los resultados, análisis y la contrastación de la hipótesis. Finalmente se presenta la discusión, conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática

1.1.1. Problema e importancia

En la ciudad de Lima, el concreto se utiliza con frecuencia para construir puentes, edificios y otras estructuras. Sin embargo, es bien sabido que este material eventualmente se agrieta y fisura debido a diversos factores, entre ellos el clima, la humedad y los movimientos sísmicos de intensidad moderada. Si estas fisuras o grietas no son reparadas oportunamente, pueden ocasionar fallas que deterioren las propiedades físico-mecánicas del hormigón.

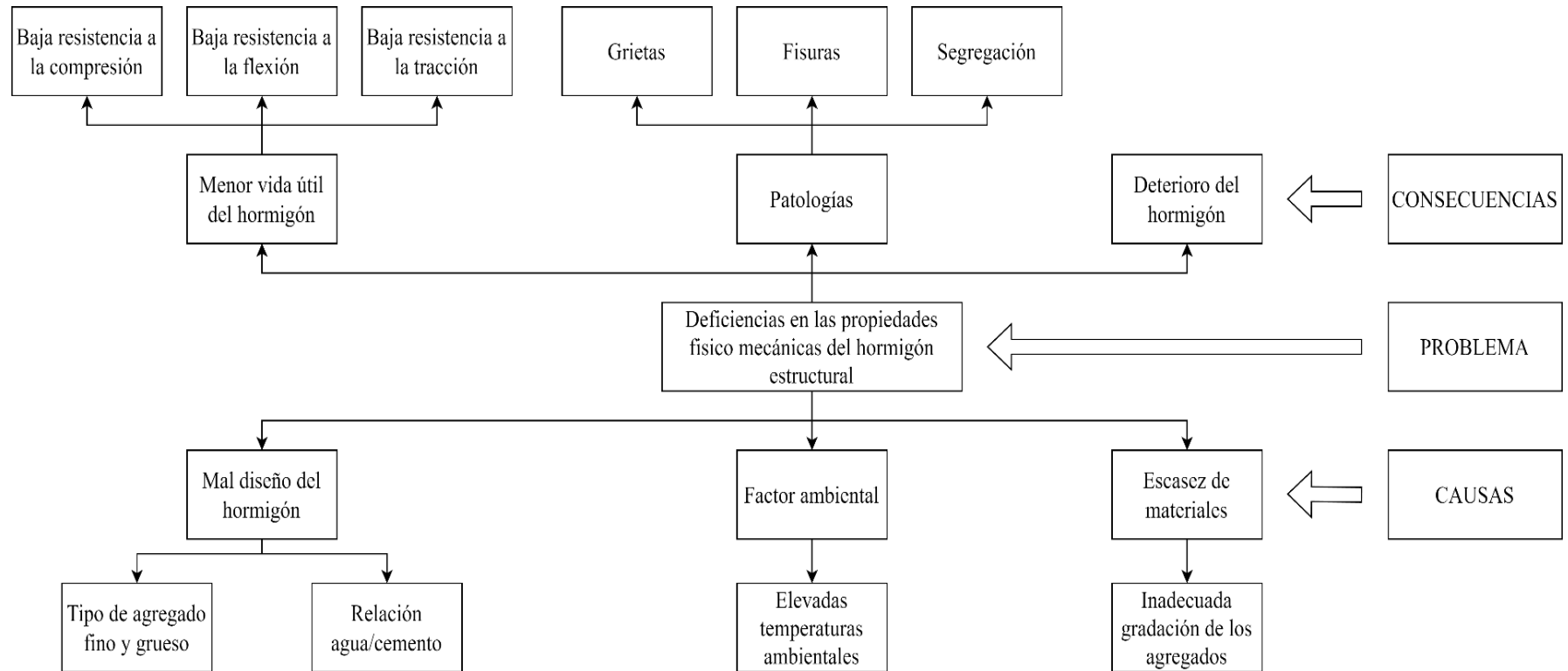
Para resolver este problema, la investigación sugiere añadir a la mezcla residuos industriales como cenizas volantes y escorias de altos hornos para aumentar la trabajabilidad, cohesión, resistencia y durabilidad del hormigón.

1.1.2 Árbol del problema (Causas - Problema - Consecuencias)

Debido a los numerosos agrietamientos, se produce un déficit en las cualidades físico-mecánicas del hormigón, lo que con el tiempo hace que el hormigón en su conjunto pierda su vida útil, a la vez que se producen fallos en la resistencia, lo que conlleva un aumento de las pérdidas para las empresas que lo construyeron. En la Figura 1 se observan los factores que nos llevaron a realizar esta tesis con el fin de disminuir los daños internos de las estructuras de hormigón mediante la utilización de residuos industriales a investigar.

Figura 1

Árbol del Problema (Causa – Consecuencia)



Nota. Elaboración propia

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿En qué medida las cenizas volantes y escorias de altos hornos influyen en las propiedades físico-mecánicas del hormigón estructural?

1.2.2 Problemas específicos

- a) ¿En qué medida las cenizas volantes y escorias de altos hornos influyen en la resistencia a la compresión del hormigón estructural?
- b) ¿En qué medida las cenizas volantes y escorias de altos hornos influyen en la resistencia a la flexión del hormigón estructural?
- c) ¿En qué medida las cenizas volantes y escorias de altos hornos influyen en la resistencia a la tracción por compresión diametral del hormigón estructural?
- d) ¿En qué medida las cenizas volantes y escorias de altos hornos influyen en el asentamiento del hormigón estructural?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Determinar los residuos industriales como cenizas volantes y escorias de altos hornos para mejorar las propiedades físico-mecánicas del hormigón estructural.

1.3.2 Objetivos específicos

- a) Determinar el óptimo porcentaje de cenizas volantes y escorias de altos hornos para incrementar la resistencia a la compresión del hormigón estructural.
- b) Determinar el óptimo porcentaje de cenizas volantes y escorias de altos hornos para incrementar la resistencia a la flexión del hormigón estructural.
- c) Determinar el óptimo porcentaje de cenizas volantes y escorias de altos hornos para incrementar la resistencia a la tracción por compresión diametral del hormigón estructural.
- d) Determinar el óptimo porcentaje de cenizas volantes y escorias de altos hornos para incrementar el asentamiento del hormigón estructural.

1.4 Delimitación de la Investigación

1.4.1 Geográfica

El presente proyecto se delimitará en laboratorios.

1.4.2 Temporal

El estudio se llevará a cabo entre marzo y noviembre de 2023.

1.4.3 Temática

El examen de las características físico-mecánicas de las cenizas volantes y las escorias de altos hornos, que se utilizarán para mejorar la integridad estructural del hormigón, es el principal objetivo de la propuesta de investigación.

1.4.4 Muestral

En la presente investigación se utilizaron los resultados de los ensayos físicos y mecánicos realizados en probetas de hormigón con adiciones de ceniza volante y escorias de altos hornos, como muestra de estudio. Estos resultados se basaron en los ensayos realizados en trabajos de referencia, los cuales se mencionan en cada punto descrito.

1.5 Justificación del estudio

1.5.1. Conveniencia

El propósito de este estudio es examinar, valorar y emplear adecuadamente las cenizas volantes y escorias de altos hornos en proyectos que involucren el uso del hormigón, especialmente aquellos que tienden a agrietarse con frecuencia debido a diversas razones. El objetivo principal consiste en proponer una sugerencia que mejore las características mecánicas y físicas del hormigón estructural.

1.5.2. Relevancia social

El objetivo del estudio actual es mejorar las propiedades físico-mecánicas del hormigón estructural para aumentar su resistencia durante su vida útil, mediante la sustitución de cenizas volantes y escorias de altos hornos.

1.5.3. Aplicaciones prácticas

Los progresos en la investigación permitirán identificar estrategias de diseño innovadoras para el hormigón que incluyan cenizas volantes y escorias de altos hornos, con el fin de mejorar su resistencia. Este avance tecnológico contribuirá a la creación de estructuras más eficaces y sostenibles para futuros proyectos edificatorios.

1.5.4. Utilidad metodológica

El presente estudio presenta un método de recopilación de datos basado en artículos científicos, así como en diversas publicaciones académicas. Su objetivo es demostrar que la adición de cenizas volantes y escorias de altos hornos al hormigón mejora sus propiedades físico-mecánicas, haciéndolo más adecuado para su uso en aplicaciones de la industria de la construcción.

1.5.5. Valor teórico

Es crucial apoyarse en la Norma Técnica Peruana (NTP) y el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), que son específicamente las que nos guían en cada edificación, siendo la E.060 Hormigón Armado la que nos ayudará en el avance del proyecto.

1.6 Importancia del estudio

1.6.1. Nuevos conocimientos

Este estudio mostrará cómo pueden utilizarse las cenizas volantes y escorias de altos hornos para construir mezclas de hormigón. Además de ser ecológicamente benignos, el uso de estos residuos industriales ayudará a reducir los fallos estructurales del hormigón y los accidentes subsiguientes.

1.6.2 Aporte

Esta investigación beneficiará a la sociedad porque necesitamos conocer un hormigón que pueda mejorar sus características físico-mecánicas para evitar los daños y grietas que suelen producirse en él. También ofrece una solución alternativa a una serie de problemas que podrían surgir durante la construcción y, por supuesto, para el mantenimiento continuo. Además, estos residuos adicionales son favorables desde el punto de vista ecológico, ya que no provocan la contaminación de residuos peligrosos que pueden contaminar el medio ambiente durante mucho tiempo.

1.7 Limitaciones del estudio

1.7.1. Falta de estudios previos de investigación

Al tratarse de un estudio descriptivo, nos vemos limitados por cierto grado de dosificación y las normas de las investigaciones anteriores.

1.7.2. Metodológicos o prácticos

Al tratarse de un estudio documental o bibliográfico, no hay experimentos de laboratorio ni salidas de campo, ya que las fuentes bibliográficas de la investigación obtenidas principalmente de forma virtual incluyen libros, publicaciones científicas, especificaciones técnicas y normas, entre otras.

1.7.3. Medidas para la recolección de los datos

Los métodos utilizados para la compilación de referencias proceden de una serie de estudios sobre el tema que se analizan y a los que se hace referencia en este estudio.

1.7.4. Obstáculos en la investigación

Puesto que el producto es difícil de conseguir en nuestra nación, será un reto para nosotros hacer las pruebas necesarias, impidiendo las pruebas en persona. Por esta razón,

la presente tesis es descriptiva, respaldada por numerosos estudios, fuentes documentales y artículos científicos.

1.8 Alcance

La evaluación de las características físico-mecánicas del hormigón estructural se basa en la adición porcentual de cenizas volantes y escorias de alto horno. La norma E.060, que proporciona criterios para analizar la resistencia física y mecánica del hormigón, servirá de base para el crecimiento de la investigación.

1.9 Viabilidad del estudio

Es factible llevar a cabo la investigación porque existen datos suficientes para establecer los objetivos propuestos, principalmente a nivel nacional, datos a los que tenemos acceso como resultado de los estudios anteriores que se realizaron y que fueron adquiridos a través de internet, datos que nos permitirán completar una tesis bibliográfica de datos útiles para el aporte de nuevos conocimientos que serán de utilidad para quienes deseen realizar investigaciones venideras.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Marco histórico

La demanda futura del material de construcción fundamental, el hormigón, será elevada. Es difícil imaginar un mundo sin hormigón y su principal antecedente, el cemento Portland normal (OPC). El hormigón se ha producido en una variedad de formas para su uso en diversas aplicaciones, pero todas ellas tienen la familiaridad, adaptabilidad, resistencia, durabilidad, amplia disponibilidad, resistencia al fuego, resistencia a la intemperie, y un coste relativamente bajo (Imbabi, 2012).

Los investigadores también han creado ligantes sin cemento utilizando la activación alcalina de materiales y la geopolimerización a fin de solucionar el inconveniente de la difusión de cemento. Sus alentadoras cualidades mecánicas y de durabilidad, así como las ventajas de la reutilización de residuos, han despertado un gran interés entre los fabricantes. Además, se utilizaron cenizas volantes de carbón de combustión en lecho fluidizado y estériles de mina para fabricar agregados de geopolímeros, y se demostró su capacidad para producir hormigón de alta calidad (Rehman, 2020).

Mediante la activación de aglutinantes como cenizas volantes, escoria, caolín, metacaolín, etc., se producen geopolímeros. El proceso de activación utiliza soluciones alcalinas como el silicato sódico, el hidróxido sódico y el hidróxido potásico. La pasta de geopolímero es otro nombre para la sustancia puzolánica que ha sido activada con álcali. Los geopolímeros a base de cenizas volantes comprenden silicato y aluminato, que se activan por acción alcalina. Uno o una combinación de varios materiales puede servir como ingrediente principal en el proceso de geopolimerización (Xu, 2002).

2.2. Investigaciones relacionadas con el tema

2.2.1. Artículos relacionados con el tema

Nagaraj (2017) diseñó un programa experimental para las propiedades mecánicas, es decir, la resistencia a la compresión y a la flexión del hormigón con hormigón normal de grado M60 y M80. Se han realizado pruebas en elementos de hormigón con escorias de altos hornos (GGBS) y cenizas volantes (FA) para obtener las resistencias y propiedades deseadas. Los especímenes se moldearon con hormigón de grado M60 y M80 con diferentes niveles de sustitución de cemento por FA al 10%, 20% y 30% constante y GGBS de un mínimo del 10% a un máximo del 50%. Los resultados indican que la sustitución del cemento por una combinación de FA y GGBS conduce a un

aumento de la resistencia a la compresión y a la flexión hasta una sustitución del 40% al 50% para los grados de hormigón M60 y M80. Por encima del 50% de sustitución de FA y GGBS disminuyen la resistencia a la compresión y a la flexión.

Jagriti (2018) tiene como objetivo de estudio determinar el efecto de los aditivos minerales escorias de altos hornos (GGBS) y cenizas volantes (FA) en el hormigón de grado M-35 cuando se añaden y sustituyen en estado fresco y endurecido, es decir, para la trabajabilidad y la resistencia del hormigón utilizando OPC (grado 43). Como aditivo mineral, se han añadido GGBS y FA al OPC, que varían del 5% al 30% en un intervalo del 5% del peso total del OPC y lo mismo como sustitución parcial del OPC (grado 43), que varía del 5% al 30% en un intervalo del 5% del peso total del OPC. Todas las mezclas de hormigón se examinaron para comprobar su trabajabilidad mediante la prueba de asentamiento del hormigón fresco. El hormigón endurecido se examinó para determinar la resistencia a la compresión durante 7 y 28 días. El asentamiento fue mayor en la sustitución parcial al 30% (GGBS y FA) en comparación con la adición de GGBS y FA.

Azmat (2019) investiga las propiedades de resistencia a la compresión del hormigón con escorias de altos hornos (GGBS) y cenizas volantes (FA) en sustitución parcial del cemento. El nivel óptimo de GGBS y FA se evaluó con un porcentaje variado de 0 a 30% para diferentes días de curado. El hormigón sustituido se probó con el asentamiento, factor de compactación, Vee-bee y resistencia a la compresión. La relación cemento/agua se mantuvo en 0,47 para todas las mezclas. Las pruebas de resistencia a la compresión se realizaron durante 3, 7, 14 y 28 días de curado en un hormigón de grado M25. Los resultados obtenidos del asentamiento, factor de compactación, Vee-bee y resistencia a la compresión del hormigón que contiene GGBS y FA se incrementó a medida que aumenta el tiempo de curado. Los resultados indican que la adición de GGBS y FA mejora la trabajabilidad y la resistencia a la compresión, lo que finalmente mejora las propiedades mecánicas del hormigón.

Kumar (2017) en su estudio de trabajo utilizó escorias de altos hornos (GGBS), cenizas volantes (FA) y superplastificantes SP-430. En la realización de diferentes mezclas llegó a saber que mediante el uso de 10% de FA, 30% de GGBS y 60% de cemento conlleva a 10,3% de aumento en la resistencia a la compresión durante 28 días y 30,8% para 180 días.

Syed (2014) en su artículo presenta una investigación de laboratorio sobre el nivel óptimo de cenizas volantes (FA) y escorias de altos hornos (GGBS) como sustitución parcial del cemento para estudiar las características de resistencia del hormigón. El

cemento Portland se sustituyó parcialmente por un 5%, 10% de GGBS y por un 20%, 40%, 60% de FA respectivamente. Las características de resistencia del hormigón se evaluaron mediante la realización de pruebas de resistencia a la compresión, a la flexión y a la tracción. La prueba de resistencia a la compresión se realizó durante 7 y 28 días de curado, la prueba de resistencia a la flexión y a la tracción se realizaron durante 28 días de curado en un hormigón de grado M25. Los resultados de la prueba demostraron que la resistencia a la compresión, a la flexión y a la tracción de las mezclas de hormigón que contienen GGBS y FA aumenta a medida que aumenta la cantidad de ellas. Después de un punto óptimo, en torno al 10% de GGBS y el 40% de FA del contenido total de aglutinante, más adición de GGBS y FA no mejora la resistencia a la compresión, a la flexión y a la tracción.

Gururaj (2015) en su investigación trata de la utilización eficaz de residuos industriales como las cenizas de fondo o las cenizas volantes (FA) y las escorias de altos hornos (GGBS) en la producción de hormigón. El cemento se sustituyó por FA en un 10%, 20% y 30%. El árido fino se sustituyó por GGBS en un 20%, 40% y 60%. Las FA y las GGBS se utilizan como sustitutos. Aquí, manteniendo constante la sustitución del cemento para una mezcla particular y variando la sustitución de la arena para la mezcla de hormigón de grado M40, se llevaron a cabo varias pruebas. En el hormigón fresco se realizó la prueba de cono de asentamiento para medir la trabajabilidad y en el hormigón endurecido se realizó la resistencia a la compresión, a la flexión y a la tracción. La resistencia a la compresión se realizó durante 7, 28 y 56 días. La resistencia a la flexión y a la tracción se realizaron durante 28 días para determinar las propiedades de resistencia del hormigón endurecido.

Brahma (2020) en su estudio llevó a cabo dos etapas. En la primera etapa de una investigación, para comprender la tasa de niveles de resistencia en el concreto mediante el reemplazo fraccional de cemento con los Materiales Cementicios Suplementarios (SCM), como cenizas volantes (FA) y escorias de altos hornos (GGBS). En la segunda etapa de una investigación, las fibras de vidrio se agregaron como material adicional a la composición primaria del concreto junto con FA y GGBS. Las probetas de hormigón se prepararon con las proporciones de Cemento, FA, GGBS (60%+20%+20%, 50%+25%+25%, 40%+20%+20%) respectivamente. Además de este hormigón, se añadió Fibra de Vidrio Resistente a los Álcalis (ARGF) 0,5% de cemento. Se evaluó el desempeño del concreto a través de la resistencia a la compresión y a la tracción para edades de 7, 28, 56 días. Después de la investigación de los resultados de las pruebas, los

materiales complementarios (FA y GGBS) en los diseños de concreto reducen el costo de construcción sin afectar los diversos parámetros de resistencia del concreto.

2.3. Estructura teórica y científica que sustenta el estudio

2.3.1. Cemento Portland

Torre (2004) señala que uno de los cementos más utilizados en nuestro país el cual es el modelo Portland es un cemento hidráulico compuesto en su mayor parte por Clinker triturado y partículas de yeso. Esta masa tiene un tono verdoso y es algo maleable, pero cuando fragua y se endurece, se vuelve extremadamente resistente y duradera.

A continuación, se describirán en la Tabla 1 las variedades de cemento Portland conforme a la norma ASTM-C-150-99:

Tabla 1

Tipos de cemento Portland

	Tipo	Descripción
	Tipo I	Cemento Portland (uso general)
	Tipo II	Cemento Portland (moderada resistencia a los sulfatos)
	Tipo III	Cemento Portland (alta resistencia inicial)
	Tipo IV	Cemento Portland (de bajo calor de hidratación)
	Tipo V	Cemento Portland (alta resistencia a los sulfatos)
Cementos Portland	Tipo IS	Cemento Portland (escoria de alto horno)
	Tipo IP	Cemento Portland (puzolánico)
	Tipo I (PM)	Cemento Portland (puzolánico modificado)
	Tipo IL	Cemento Portland - caliza
	Tipo IT	Cemento Portland (adicionado ternario)
	Tipo Ico	Cemento Portland (compuesto)

Nota. Norma ASTM-C-150-99

En la actualidad, el cemento es producido por un amplio abanico de empresas, que ofrecen este material a la inmensa mayoría de las obras civiles de nuestro país, como se observa en la Tabla 2.

Tabla 2*Empresas de cemento en el Perú*

Empresa	Ubicación
Cemento Andino S.A.	Condorcocha - Tarma (Junín)
Cementos Pacasmayo S.A.A.	Pacasmayo - La Libertad
Cementos Yura S.A.	Yura – Arequipa
Cementos Lima S.A.	Atocongo – Lima
Cemento Sur S.A.	Caracoto - Juliaca (Puno)
Cemento Rioja	Pucallpa - Ucayali

Nota. Torre (2004)

2.3.2. Propiedades del Hormigón

El hormigón presenta diferentes características mecánicas y físicas.

a) Resistencia a compresión

Para Hernández (2018), la resistencia a compresión del hormigón, como su nombre indica, es la capacidad del hormigón para resistir un fenómeno de aplastamiento común, empezando por las estructuras reticulares.

A su vez Behar (2006), afirma que: Según la norma N.T.P. 339.033:2015, se indica que el procesamiento y curado de las probetas de hormigón para ensayos de compresión deben seguir los pasos descritos en las probetas curadas estándar. Para diferentes aplicaciones del hormigón, la Tabla 3 presenta los tipos y las resistencias a compresión (f_c) requeridas. La preparación y curado de las probetas de hormigón en el sitio se encuentra detallada en esta norma.

Tabla 3*Uso del concreto según su referencia*

Tipo	Resistencia	Utilización
A	140 kg/cm ²	El hormigón se utiliza para cimentación.
B	175 kg/cm ²	El hormigón se utiliza para cimentaciones y muros de contención. El hormigón con proporción 1:2:4 se utiliza para pavimentos, losas y muros de contención.
C	175 kg/cm ²	El hormigón se utiliza para suelos, losas y vigas de grandes luces, pavimentos especiales, rampas, muros impermeables, tanques de almacenamiento, fosas sépticas y hormigón de alta resistencia en general.
D	210 kg/cm ²	Para concreto en secciones delgadas, difíciles y para elementos precolados.
E	175 kg/cm ²	

Nota. Behar (2006)

También Behar (2006) nos indica que: Las numerosas variedades de hormigón y las cantidades de áridos, cemento y agua necesarias para cada tipo se muestran en la Tabla 4, que también enumera los diversos factores que afectan al ritmo al que el hormigón adquiere resistencia. La composición química del cemento Portland, la eficacia del curado, la temperatura ambiente y del material, el tamaño de los áridos y los finos y, lo que es más importante, la proporción de agua y cemento, son los factores que más deben tenerse en cuenta.

Tabla 4

Cantidad de insumos para la obtención de 1 m³ de cada tipo de concreto

Tipo de concreto	Cemento	Grava	Arena	Agua
A	50 kg	210 litros	140 litros	28 litros
B	50 kg	175 litros	114 litros	25 litros
C	50 kg	140 litros	88 litros	22.5 litros
D	50 kg	105 litros	70 litros	20.5 litros
E	50 kg	70 litros	44 litros	18 litros

Nota. Behar (2006)

b) Resistencia a flexión

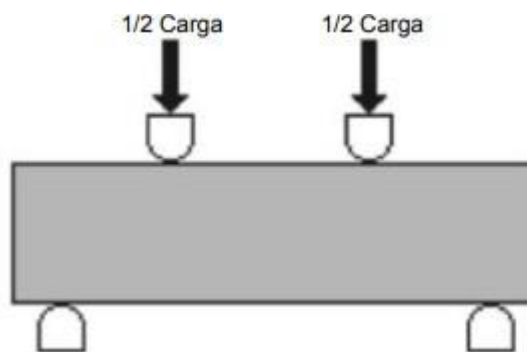
La resistencia a flexión del hormigón se utiliza para medir su resistencia a tracción, informa la revista NRMCA. Se mide la resistencia a rotura por momento de una viga o losa de hormigón no armado. Se calcula mediante la aplicación de cargas en vigas de hormigón con una sección transversal de 150 x 150 mm (6 x 6 pulgadas) y una longitud que sea al menos el triple del grosor. El valor del MR, el cual se evalúa utilizando los procedimientos de prueba ASTM 78 (con carga en el tercer punto) el cual se observa en la Figura 2 o ASTM C293 (con la mitad de la carga) el cual se observa en la Figura 3, su unidad es libra por pulgada cuadrada.

Debido a que la teoría de diseño de pavimentos se basa en la resistencia a la flexión, resulta importante que las mezclas para pavimentos sean sometidas a ensayos de resistencia a la flexión durante su desarrollo en el laboratorio. Es posible determinar el contenido adecuado de material cementante en función de la experiencia previa con el objetivo de cumplir con el módulo de rotura esperado en el diseño del pavimento. Los ensayos de campo y de aceptación de pavimentos también se realizan utilizando el módulo de rotura. Los ensayos de flexión rara vez se utilizan para el hormigón

estructural. Para las organizaciones y empresas que no emplean la resistencia a la flexión para los ensayos de campo, la resistencia a la compresión ha demostrado generalmente ser un método útil y fiable para evaluar el calibre del hormigón dado.

Figura 2

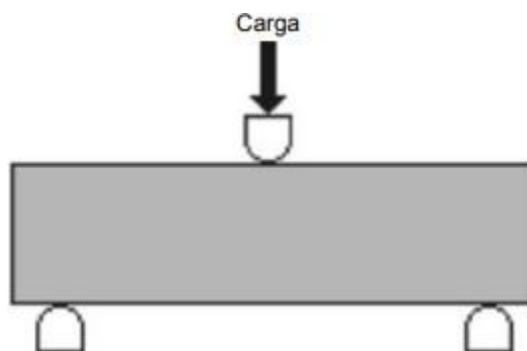
Ensayo ASTM C78 (Cargas en los puntos tercios)



Nota. NRMCA

Figura 3

Ensayo ASTM C293 (Carga en el punto medio)



Nota. NRMCA

c) Resistencia a la tracción

Para Cusihuallpa (2017), la resistencia a tracción paralela, la cual es la fuerza creada en la madera contra las tensiones de tracción a lo largo de sus fibras, es casi dos veces más fuerte que la resistencia a la compresión paralela en muestras diminutas y sin defectos. Su naturaleza de fallo es explosiva y violenta (frágil). La inclinación de las fibras también influye considerablemente en la resistencia a la tracción paralela (Pg. 20.).

Robayo (2021), afirma que la resistencia a tracción del hormigón es una característica mecánica clave que conecta los sucesos de desarrollo y propagación de fisuras, fraccionamiento y anclaje del hormigón armado (Pg. 7.).

d) Asentamiento

Es un experimento realizado a temperatura ambiente para determinar la firmeza de la mezcla que se ajusta a las especificaciones de la obra. El proceso para determinar el grado de asentamiento de la muestra se realiza mediante el método Abrams-Cono o análisis de asentamiento.

Rivva (1992) nos indica que: La clasificación precisa de los norteamericanos se basa en su asentamiento en mezclas frescas. El método de determinación utilizado se conoce como Método de Asentamiento, Método Abrams o Método Slump, y determina la consistencia de la mezcla por asentamiento, clasificada en la Tabla 5, medida en pulgadas o en milímetros, de una masa de hormigón que previamente ha sido colocada y compactada en un molde metálico de dimensiones especificadas y sección cilíndrica.

Tabla 5

Clases de mezclas según su asentamiento

Consistencia	Slump	Trabajabilidad	Método de compactación
Seca	0" a 2"	Poco trabajable	Vibración normal
Plástica	3" a 4"	Trabajable	Vibración ligera, varillado
Fluida	> 5"	Muy trabajable	Varillado

Nota. Abanto (2009)

La tolerancia para asentamiento nominal se ve representada en la Tabla 6.

Tabla 6

Tolerancia para asentamiento nominal

Asentamiento especificado (cm)	Tolerancia (cm)
0 – 5	(+-) 1,3
5 - 10	(+-) 2,5
> 10	(+-) 3,8

Nota. NTP-339 (2012)

El asentamiento sugerido para diversos tipos de construcción se observa en la tabla 7.

Tabla 7

Asentamiento sugeridos para diversos tipos de construcción

Tipos de construcción	Asentamiento (cm)	
	Máximo	Mínimo
Zapatas y muros de cimentación reforzados	8	2
Zapatas simples, cajones y muros de subestructura	8	2
Vigas y muros reforzados	10	2
Columnas	10	2
Pavimentos y losas	8	2
Concreto ciclópeo y masivo	5	2

Nota. ACI-211

2.3.4. Norma Técnica Peruana

El NTP es un manual de prácticas útil. Si no forman parte de la legislación pertinente, sus indicadores no son necesarios. Resulta práctico tener en cuenta la fecha de publicación a la hora de evaluar la aplicabilidad de sus recomendaciones.

2.3.5. Norma E.060

La norma E.060 establece los requisitos previos para el análisis, el diseño, la selección de materiales, la construcción, la garantía de calidad y la supervisión de las obras de ingeniería civil (Ministerio de Vivienda, 2020).

La norma E.060 (2019) detalla las especificaciones y normas mínimas para la investigación, cálculo, asignación de recursos, fabricación, control de calidad y examina las construcciones de hormigón armado, pretensado y sin complicaciones.

2.3.6. Norma ACI 318S-14

El ACI 318-14 (2015) afirma que la norma ACI 318S-14 se utiliza en el diseño de ingeniería civil de estructuras de hormigón liso o armado, así como en la aprobación de diseños de hormigón por parte de las autoridades competentes.

2.3.7. Ceniza volante

Valencia (2018) nos menciona que, al buscar nuevas alternativas de materias primas entre los nuevos tipos de cemento, mediante la activación alcalina de precursores de aluminio silicatos se produce la ceniza volante, la cual utiliza un activador químico como podría ser los silicatos, sulfatos o carbonatos de sodio o potasio. También se sabe que las

investigaciones que se han realizado en el campo de los cementos activados con álcalis han demostrado que estos materiales pueden generar mayor durabilidad y mayores propiedades mecánicas que incluso el cemento Portland.

También es importante mencionar la composición química que tiene:

Dado que la sílice (SiO_2), el aluminio (Al_2O_3) y el óxido de hierro (Fe_2O_3) constituyen la mayor parte de la composición química, este material satisface los criterios de una puzolana según la norma ASTM C618-05 (Agudelo, 2017).

2.3.8. Escoria de alto horno

Según Corcuera (2018) el 95% de la composición química está formada por óxidos, aquí podremos hallar lo que vendría siendo el calcio, óxido de silicio, calcio, aluminio y magnesio. La producción de cemento utiliza este tipo de escoria.

En un artículo titulado (Mandal) publicado en 2019, Mandal investigó el uso de GGBS en el hormigón sustituyéndola por cemento en cantidades del 20%, 30% y 40%. Para ello, se evaluaron la trabajabilidad y la resistencia a compresión en 7, 28 y 56 días. Se eligió una resistencia de diseño de 40 MPa para la mezcla tras seguir las instrucciones de IS 10262:2009. Las pruebas fueron llevadas a cabo de acuerdo con IS 516:1959 en especímenes cúbicos de 150 mm para obtener la resistencia a compresión. Los resultados de asentamiento demostraron que añadir más escoria de alto horno a la mezcla aumenta la trabajabilidad. La mezcla con 30% de GGBS obtuvo un valor de resistencia bajo en los días de secado 7 y 28, pero en el día de secado 56 obtuvo una resistencia superior a la muestra normal, y la mezcla con un 40% de micromateriales disponibles obtuvo una resistencia mejor que la muestra de referencia en todos los años de tratamiento examinados. En cuanto a la resistencia a compresión, se descubrió que la combinación de 20 micromateriales obtuvo un valor ligeramente inferior al control en todos los días de tratamiento estudiados.

2.4. Definición de términos básicos

a) Ceniza volante

La ceniza volante es un subproducto de polvo fino creado durante el proceso de combustión en las centrales térmicas que tiene cualidades cementantes, como las cenizas volcánicas, según la (NTP339.047, 2016).

b) Escoria de alto horno

Siddique (2008) afirma que se conoce a las escorias de altos hornos como la producción de el fundimiento del hierro a temperaturas altas dentro de un horno y se compone principalmente de silicatos de calcio, aluminosilicatos y otras fases.

c) Resistencia

La resistencia se define como la mayor capacidad del concreto para soportar cargas externas, determinada por la rotura de una probeta en un ensayo de laboratorio, según la (NTP339.047, 2016).

d) Asentamiento

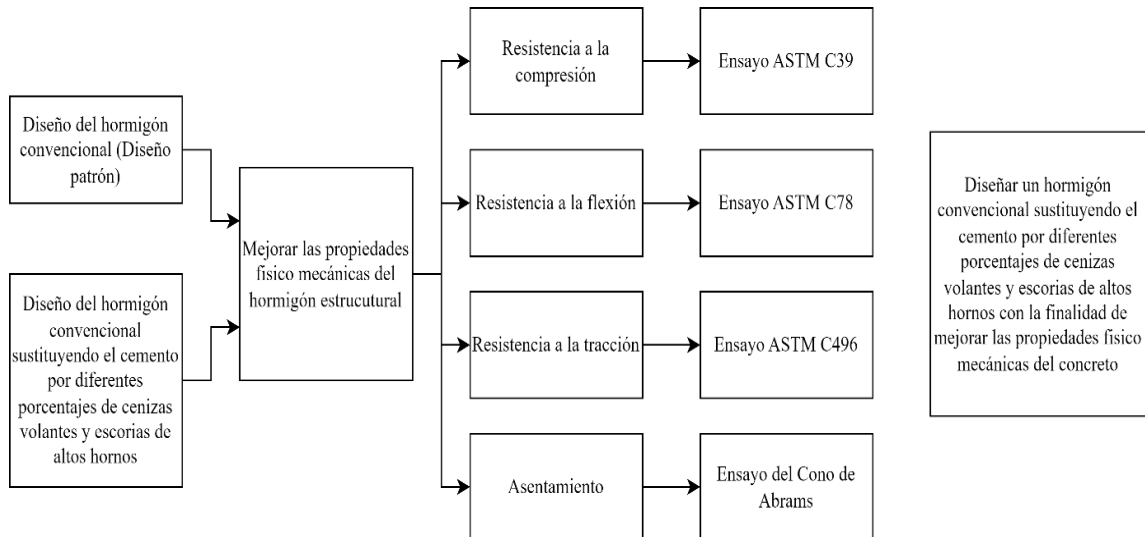
El asentamiento es una medida de la consistencia de concreto, que se refiere al grado de fluidez de la mezcla e indica qué tan seco o fluido está el concreto.

2.5. Fundamentos teóricos que sustentan las hipótesis (figuras o mapa conceptuales)

A continuación, en la Figura 4 se muestra el mapa conceptual respecto a los fundamentos teóricos que sustentan la hipótesis.

Figura 4

Mapa Conceptual



Nota. Elaboración propia

CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS

3.1. Hipótesis

3.1.1 *Hipótesis Principal*

Al determinar el óptimo porcentaje de cenizas volantes y escorias de altos hornos mejoran las propiedades físico-mecánicas del hormigón estructural.

3.1.2. *Hipótesis Específicas*

- a) Al determinar el óptimo porcentaje de cenizas volantes y escorias de altos hornos incrementa la resistencia a la compresión del hormigón estructural.
- b) Al determinar el óptimo porcentaje de cenizas volantes y escorias de altos hornos incrementa la resistencia a la flexión del hormigón estructural.
- c) Al determinar el óptimo porcentaje de cenizas volantes y escorias de altos hornos incrementa la resistencia a la tracción por compresión diametral del hormigón estructural.
- d) Al determinar el óptimo porcentaje de cenizas volantes y escorias de altos hornos incrementa el asentamiento del hormigón estructural.

3.2. Sistema de Variables

3.2.1. *Definición Conceptual y Operacional*

3.2.1.1 **Variable Independiente**

Cenizas volantes y escorias de alto horno

a) Definición Conceptual:

En las centrales térmicas, donde el uso de carbón pulverizado es cada vez mayor, se utilizan cenizas volantes en las calderas de vapor. Este residuo se añade al cemento en la fabricación de hormigón con el fin de aumentar la resistencia y reducir al mismo tiempo el impacto ambiental (Mariluz Pajuelo, 2018).

Se produce durante el proceso de producción de hierro en altos hornos y que no contiene elementos metálicos se granula por enfriamiento del material fundido en agua o vapor y aire. Se compone principalmente de silicatos de calcio y aluminosilicatos, que se forman en el alto horno al mismo tiempo que el acero. (ASTM C 595)

b) Definición Operacional:

Siguiendo la reglamentación establecida por la norma ASTM C618 y el indicador de puzolanidad, las cenizas volantes se constituyen principalmente de óxidos tales como la

sílice y el aluminio, que guardan semejanza con los óxidos presentes en el cemento Portland. (Yáñez Valdés, 2019).

El óxido de silicio, aluminio, calcio y magnesio constituyen la mayor parte de los óxidos de las escorias de alto horno, constituyendo el 95% del total.

c) Indicadores:

Porcentaje de cenizas volantes y escorias de altos hornos

3.2.1.2 Variable Dependiente

Propiedades físico-mecánicas del hormigón estructural

a) Definición Conceptual:

Las propiedades físicas son rasgos fundamentales del hormigón que pueden determinarse por simple observación y/o mediciones. Dependiendo del cuidado que se ponga en la mezcla, pueden estar presentes en menor o mayor medida.

Las características mecánicas son las que tienen que ver con cómo se comporta el hormigón endurecido cuando se somete a cargas o presiones del exterior y sufre diversos cambios.

b) Definición Operacional:

La resistencia a la compresión, a la flexión, a la tracción por compresión diametral y el asentamiento, que son las características tanto físicas como mecánicas del concreto, son las dimensiones que operacionalizan la variable que depende, empleando equipos de laboratorio para ensayar testigos de hormigón que sujetan a esfuerzos de compresión, flexión y tracción.

c) Indicadores:

Resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, resistencia a la tracción por compresión diametral, asentamiento.

3.2.2. Operacionalización de la variable

A continuación, en la Tabla 8 se muestra la operacionalización de variables.

Tabla 8

Operacionalización de variables

Variable independiente	Definición conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Indicador	Índice	Unidad de medida	Instrumento	Herramienta
Cenizas volantes y escorias de altos hornos	<p>En las centrales térmicas, donde el uso de carbón pulverizado es cada vez mayor, se utilizan cenizas volantes en las calderas de vapor. Este residuo se añade al cemento en la fabricación de hormigón para diversas obras civiles con el fin de aumentar la resistencia y reducir al mismo tiempo el impacto ambiental (Mariluz y Ulloa, 2018).</p> <p>La escoria de alto horno es una sustancia no metálica que se granula por enfriamiento del material fundido en agua o vapor y aire. Se compone principalmente de silicatos de calcio y aluminosilicatos, que se forman en el alto horno al mismo tiempo que el acero. (Norma americana ASTM C 595).</p>	<p>Según la norma ASTM C618 y el índice de puzolanidad, las cenizas volantes están compuestas mayoritariamente por óxidos como la sílice (SiO₂) y el aluminio (Al₂O₃), que son similares a los del cemento Portland (Yáñez, 2019).</p> <p>El óxido de silicio, aluminio, calcio y magnesio constituyen la mayor parte de los óxidos de las escorias de alto horno, constituyendo el 95% del total.</p>	Técnicas	Porcentaje de cenizas volantes y escorias de altos hornos	Porcentaje	%	Formato de Laboratorio para hormigón	NTP, ASTM y especificaciones técnicas
Variable dependiente	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicador	Índice	Unidad de medida	Instrumento	Herramienta
Propiedades físico-mecánicas del hormigón estructural	<p>Las propiedades físicas son rasgos fundamentales del hormigón que pueden determinarse por simple observación y/o mediciones. Dependiendo del cuidado que se ponga en la mezcla, pueden estar presentes en menor o mayor medida.</p> <p>Las características mecánicas son las que tienen que ver con cómo se comporta el hormigón endurecido cuando se somete a cargas o presiones del exterior y sufre diversos cambios.</p>	<p>La resistencia a la compresión, la resistencia a la flexión, la resistencia a la tracción por compresión diametral y el asentamiento, que son las cualidades físicas y mecánicas del hormigón estructural, son las dimensiones que operacionalizan la variable dependiente (las propiedades físicas y mecánicas del hormigón). empleando equipos de laboratorio para ensayar testigos de hormigón sometidos a esfuerzos de compresión, flexión y tracción.</p>	Endurecido	Resistencia del hormigón estructural	<p>Resistencia a la compresión</p> <p>Resistencia a la flexión</p> <p>Resistencia a la tracción por compresión diametral</p> <p>Asentamiento o</p>	<p>N/mm²</p> <p>N/mm²</p> <p>N/mm²</p> <p>mm</p>	Formato de Laboratorio para hormigón	NTP, ASTM y especificaciones técnicas

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación es documental/bibliográfica porque procura recopilar, obtener, seleccionar, compatibilizar información acerca de los residuos industriales basados en cenizas volantes y escorias de altos hornos, para mejorar las propiedades físico-mecánicas del hormigón estructural. Según lo estudiado podremos obtener el óptimo porcentaje a utilizar de los residuos, bajo ciertos requerimientos. Finalmente, a partir de fuentes documentales como artículos científicos, revistas especializadas, entre otros; se organizará y se colocará la información más relevante mediante citas, tablas y figuras; las cuales sean importantes para el objeto de estudio.

Las investigaciones revisadas siguen la metodología empleada por Chavarry, et al (2020) que lleva como título “Hormigón reforzado con vidrio molido para controlar grietas y fisuras por contracción plástica”, el cual se describe de la siguiente manera: método de investigación deductiva, con una orientación aplicada, enfoque cuantitativo, recolección de datos retrolectiva, de tipo descriptivo, explicativo y correlacional, con un diseño experimental, longitudinal, y retrospectivo; siguiendo un estudio de cohorte.

4.1. Método de la Investigación

La metodología empleada en este estudio fue deductiva porque se recopiló las conclusiones de los autores citados. También tuvo un enfoque aplicado, una metodología cuantitativa y utilizó una técnica de recogida de datos retrolectiva. Los investigadores llevaron a cabo pruebas en los laboratorios de tecnología del hormigón de cada institución para poder contrastar los datos.

4.2. Tipo de la Investigación

Este estudio tuvo una función explicativa al comprender cómo el comportamiento del concreto se ve afectado por la adición de cenizas volantes y escorias de altos hornos, a la vez que fue descriptivo al demostrar cómo las características físico-mecánicas del concreto se ven afectadas directamente. Además, se consideró como un estudio correlacional, ya que se recomendó utilizar residuos industriales como cenizas volantes y escorias de altos hornos juntos para mejorar la calidad del hormigón estructural.

4.3. Nivel de la Investigación

La investigación fue de carácter descriptivo porque analizo la información recogida en diversas fuentes, como tesis de licenciatura, ensayos, artículos y libros, con el fin de

determinar la proporción ideal de cenizas volantes y escorias de altos hornos que se debe añadir al hormigón estructural para mejorar sus propiedades físico-mecánicas.

4.4. Diseño de la Investigación

El estudio que se presenta no se trata de un experimento de acuerdo a los objetivos del estudio, debido a que se obtuvieron datos de diversas fuentes mediante pruebas experimentales que emplearon una gran cantidad de FA y GGBS para así examinar y analizar sus efectos y relaciones con más de una variable dependiente. La investigación fue longitudinal pues se realizaron más de dos mediciones con base en la literatura revisada con el fin de determinar la dosificación óptima de los residuos industriales que brindara un óptimo resultado respecto la variable que depende. Finalmente, pero no menos importante, la investigación fue retrospectiva ya que los datos se recolectaron a partir de fuentes que ya habían sido publicadas, como artículos y publicaciones.

4.5. Población y Muestra

4.5.1. Población

Las muestras tomadas de la población se crearon de acuerdo con las normas vigentes, y la población de este estudio consistió en la cantidad de resultados de pruebas de laboratorio encontrados en publicaciones de investigación.

4.5.2. Muestra

En este estudio, una colección de núcleos con varios diseños de hormigón y la inclusión de residuos industriales a investigar a varios días de curado y rotura lo cual sirvió como muestra.

4.6. Técnicas e Instrumentación de recolección de datos

La información necesaria para el estudio fue el inventario, observando las normas y procedimientos de aplicación de la tecnología. La investigación actual se fundamenta en la compilación de información proveniente de distintos artículos científicos que se encontraron en laboratorios reales.

4.6.1. Instrumento de recolección de datos

Los datos fueron recopilados a partir de pruebas realizadas en los laboratorios de la investigación citada, ya que en este estudio se utilizaron estudios previos, artículos científicos, normas y libros. Estas fuentes incluían Scopus, Science Direct, Proquest y otras plataformas de bases de datos académicas.

4.6.2. Método y técnicas

- Norma ASTM C39 Método de ensayo normalizado para resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.
- Norma ASTM C78 Método de ensayo estándar para resistencia a la flexión del concreto (usando viga simple con carga a los tercios del claro).
- Norma ASTM C496 Método de ensayo normalizado para determinar la tracción por hendimiento de las probetas cilíndricas de hormigón.

4.7. Descripción de procesamiento de análisis

Se obtuvieron los datos para el estudio actual de las pruebas de resistencia a la compresión, a la flexión, a la tracción por compresión diametral y asentamiento. A partir de experimentos de laboratorio previos realizados por los investigadores, que fueron utilizados como muestra. La fundamentación del estudio de los resultados de la investigación se apoyó en el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) y la Norma Técnica Peruana E.060 (NTP). Se empleó el software de Microsoft Excel como medio para el manejo y análisis de la información obtenida. Con este software se crearon tablas comparativas y gráficos de barras para registrar todos los datos recogidos, así como también el impacto de las cenizas volantes y escorias de altos hornos en las propiedades físico-mecánicas del hormigón estructural.

CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. Presentación de Resultados

5.1.1. Resultados de los óptimos porcentajes de cenizas volantes y escorias de altos hornos para incrementar la resistencia a la compresión del hormigón estructural.

A continuación, en la Tabla 9 se muestra los artículos empleados respecto al incremento de la resistencia a la compresión.

Tabla 9

Artículos de incremento de resistencia a la compresión

Autor	Título	Cenizas volantes (%)	Escorias de altos hornos (%)
Experimental			
K Nagaraj, P Himabindu	investigations of high strength concrete using GGBS & Fly ash	10	10, 20, 30, 40 y 50
Jagriti Gupta, Nandeshwar Lata, Sagar Mittal	Effect of addition and replacement of GGBS and Fly ash with cement in concrete	5, 10, 15, 20, 25 y 30	5, 10, 15, 20, 25 y 30
Azmat Ali Phul, Muhammad Jaffar Memon, Syed Naveed Raza Shah, Abdul Razzaque Sandhu	GGBS and Fly ash effects on compressive strength by partial replacement of cement concrete	2, 2.5, 3, 5, 7.5, 10, 15 y 20	2, 2.5, 3, 5, 7.5, 10, 15 y 20
Experimental			
M Prathap Kumar, Vaddi Srinivas, M Zoheb Nawaz	investigation on high strength concrete using GGBS, Fly ash & SP- 430 Super plasticizer	20	10, 20, 30, 40 y 50

Nota. Elaboración propia

Nagaraj, et al (2017)

- Proporciones empleadas de residuos industriales:
Para 10% de FA (GGBS10%, GGBS20%, GGBS30%, GGBS40%, GGBS50%).
- Se vació el hormigón de Grado 60 y 80, encontrándose un mayor valor en las muestras de M60.
- El programa consiste en la fundición y prueba de un total de 420 cubos, 320 especímenes de prismas.
- Se fundieron muestras de cubo estándar (150 mm x 150 mm x 150 mm) y prisma estándar de (150 mm x 150 mm x 700 mm) con y sin FA y GGBS.
- En el efecto de la mezcla sobre el tiempo de fraguado del cemento se agotó de las pruebas de laboratorio. Retrasó el tiempo de fraguado. El tiempo de fraguado del cemento es de 42 minutos para el cemento Portland ordinario y se cambió el tiempo de fraguado con la combinación de GGBS y FA.
- La muestra F0-G0-C100 representa la muestra patrón con 0% de FA y GGBS. F10-G10-C80 representa la muestra con 10% de FA, 10% de GGBS y 80% de cemento. F10-G20-C70 representa la muestra con 10% de FA, 20% de GGBS y 70% de cemento. F10-G30-C60 representa la muestra con 10% de FA, 30% de GGBS y 60% de cemento. F10-G40-C50 representa la muestra con 10% de FA, 40% de GGBS y 50% de cemento. F10-G50-C40 representa la muestra con 10% de FA, 50% de GGBS y 40% de cemento.

A continuación, en la Tabla 10 se observa la cantidad de los residuos industriales empleados en kg/m^3 .

Tabla 10

Cantidad en kg/m^3 de los residuos industriales

Muestra	FA (kg/m^3)	GGBS (kg/m^3)	Cemento (kg)
F0-G0-C100	---	---	438
F10-G10-C80	48.2	48.2	385.6
F10-G20-C70	48.2	96.4	337.4
F10-G30-C60	48.2	144.6	209.2
F10-G40-C50	48.2	192.8	241
F10-G50-C40	48.2	241	192.8

Nota. FA: Cenizas volantes; GGBS: Escorias de altos hornos

A continuación, en la Tabla 11 se observa la dosificación utilizada respecto a los residuos industriales para cada tipo de muestra.

Tabla 11

Resultados de ensayo de la resistencia a la compresión (MPa)

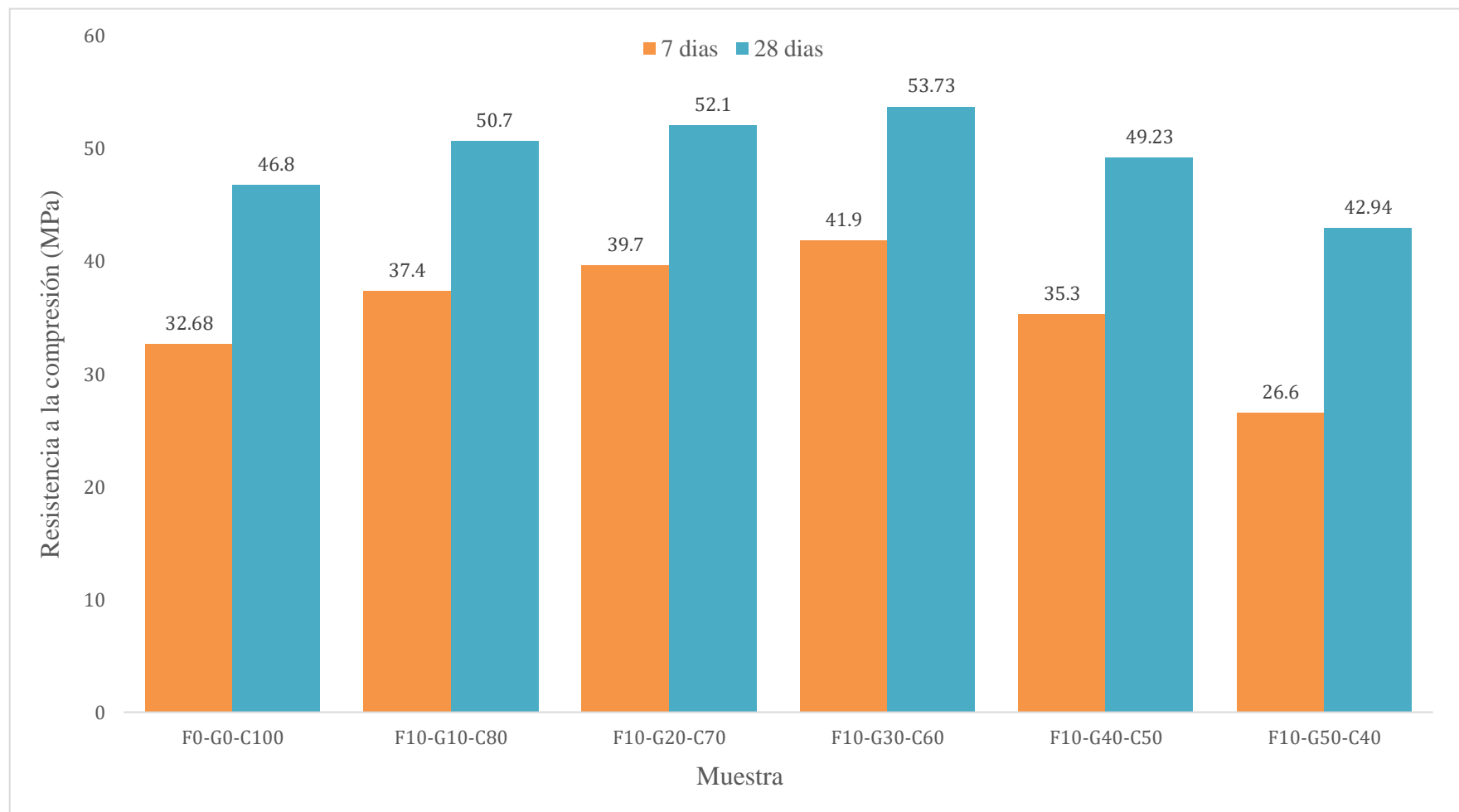
Muestra	Dosificación (%)			Resistencia a la Compresión (MPa)	
	Cemento	FA	GGBS	7 días	28 días
F0-G0-C100	100	0	0	32.68	46.8
F10-G10-C80	80	10	10	37.4	50.7
F10-G20-C70	70	10	20	39.7	52.1
F10-G30-C60	60	10	30	41.9	53.73
F10-G40-C50	50	10	40	35.3	49.23
F10-G50-C40	40	10	50	26.6	42.94

Nota. Adaptado de Nagaraj, et al (2017)

A continuación, en la Figura 5 se observa los resultados respecto al ensayo de resistencia a la compresión a los 7 y 28 días empleado en MPa.

Figura 5

Resistencia a la compresión a los 7 y 28 días (MPa)



Nota. Adaptado de la Tabla 11

Jagriti, et al (2018)

- Proporciones empleadas de residuos industriales:
 - Se utilizo 5% de FA, 5% de GGBS.
 - Se utilizo 10% de FA, 10% de GGBS.
 - Se utilizo 15% de FA, 15% de GGBS.
 - Se utilizo 20% de FA, 20% de GGBS.
 - Se utilizo 25% de FA, 25% de GGBS.
 - Se utilizo 30% de FA, 30% de GGBS.
- Se utilizo cemento Portland ordinario, grado 43 especificado según la norma 8112-2003 para vaciar los diferentes grados de hormigón.
- La relación de a/c se fija en 0.40.
- El rango de tamaño de agregado fino de 1.50mm a 4.75mm.
- Los agregados gruesos utilizados son partículas mayores de 4.75mm, en este caso se consideró un rango de agregado de 20mm y se utilizó un tamaño de partículas de 10mm con una gravedad especifica de 2.73.
- La muestra OPC+GGBS+FA (100+0+0) la muestra patrón con 0% de cenizas volantes y escorias de altos hornos. OPC+GGBS+FA (90+5+5) representa la muestra con 90% de cemento, 5% de escorias de altos hornos y 5% de cenizas volantes. OPC+GGBS+FA (80+10+10) representa la muestra con 80% de cemento, 10% de escorias de altos hornos y 10% de cenizas volantes. OPC+GGBS+FA (70+15+15) representa la muestra con 70% de cemento, 15% de escorias de altos hornos y 15% de cenizas volantes. OPC+GGBS+FA (60+20+20) representa la muestra con 60% de cemento, 20% de escorias de altos hornos y 20% de cenizas volantes. OPC+GGBS+FA (50+25+25) representa la muestra con 50% de cemento, 25% de escorias de altos hornos y 25% de cenizas volantes. OPC+GGBS+FA (40+30+30) representa la muestra con 40% de cemento, 30% de escorias de altos hornos y 30% de cenizas volantes.

A continuación, en la Tabla 12 se observa la cantidad de los residuos industriales empleados en kg.

Tabla 12*Cantidad en kg de los residuos industriales*

Muestra	Cemento (kg)	FA (kg)	GGBS (kg)
OPC+GGBS+FA (100+0+0)	402.5	0	0
OPC+GGBS+FA (90+5+5)	362.5	20.125	20.125
OPC+GGBS+FA (80+10+10)	322	40.25	40.25
OPC+GGBS+FA (70+15+15)	281.75	60.375	60.375
OPC+GGBS+FA (60+20+20)	241.5	80.5	60.5
OPC+GGBS+FA (50+25+25)	201.25	100.625	100.625
OPC+GGBS+FA (40+30+30)	161	120.75	120.75

Nota. FA: Cenizas volantes; GGBS: Escorias de altos hornos

A continuación, en la Tabla 13 se observa la dosificación utilizada respecto a los residuos industriales para cada tipo de muestra.

Tabla 13*Resultados de ensayo de la resistencia a la compresión (N/mm²)*

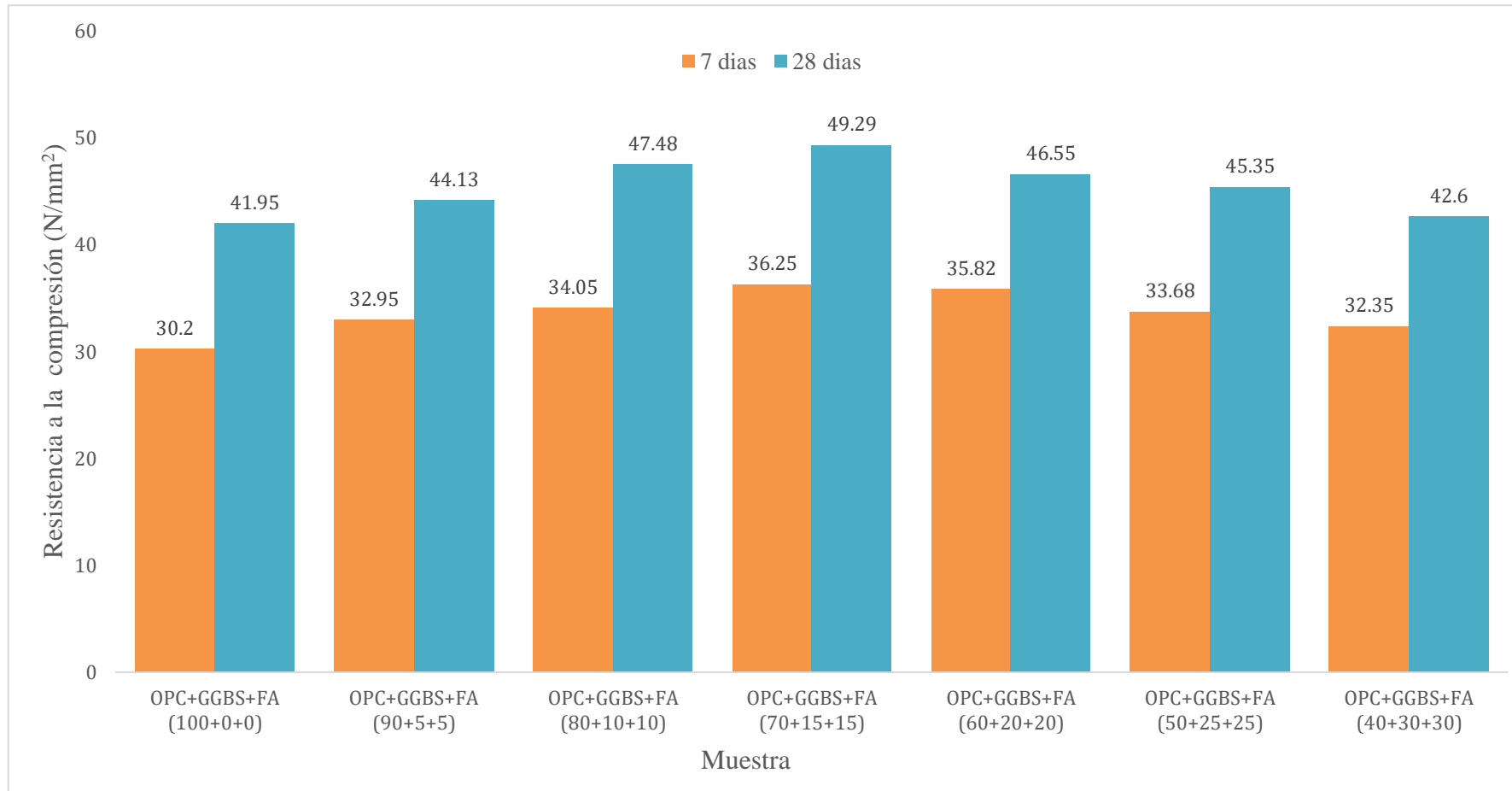
Muestra	Dosificación (%)			Resistencia a la Compresión (N/mm ²)	
	Cemento	FA	GGBS	7 días	28 días
OPC+GGBS+FA (100+0+0)	100	0	0	30.2	41.35
OPC+GGBS+FA (90+5+5)	90	5	5	32.95	44.13
OPC+GGBS+FA (80+10+10)	80	10	10	34.05	47.48
OPC+GGBS+FA (70+15+15)	70	15	15	36.25	49.29
OPC+GGBS+FA (60+20+20)	60	20	20	35.82	46.55
OPC+GGBS+FA (50+25+25)	50	25	25	33.68	45.35
OPC+GGBS+FA (40+30+30)	40	30	30	32.25	42.6

Nota. Adaptado de Jagriti, et al (2018)

A continuación, en la Figura 6 se observa los resultados respecto al ensayo de resistencia a la compresión a los 7 y 28 días empleado en N/mm².

Figura 6

Resistencia a la compresión a los 7 y 28 días (N/mm²)



Nota. Adaptado de la Tabla 13

Azmat, et al (2019)

- Proporciones empleadas de residuos industriales:
 - Se utilizo 3% de FA, 2% de GGBS.
 - Se utilizo 2.5% de FA, 2.5% de GGBS.
 - Se utilizo 2% de FA, 3% de GGBS.
 - Se utilizo 10% de FA, 5% de GGBS.
 - Se utilizo 7.5% de FA, 7.5% de GGBS.
 - Se utilizo 5% de FA, 10% de GGBS.
 - Se utilizo 20% de FA, 10% de GGBS.
 - Se utilizo 15% de FA, 15% de GGBS.
 - Se utilizo 10% de FA, 20% de GGBS.
- Se mantiene una cantidad de agregado fino con un peso específico de 2.65.
- Se mantiene una cantidad de agregado grueso con un peso específico de 2.8.
- Se mantiene una absorción de agua del 2% para agregado fino.
- Se mantiene una absorción de agua del 1% para agregado grueso.
- Se mantiene una humedad superficial libre del 2% para agregado fino.
- No se mantiene una humedad superficial libre para agregado grueso
- SF0 representa la muestra patrón con 0% de FA y 0% de GGBS. SF1 representa la muestra al 95% de cemento, 3% de FA y 2% de GGBS. SF2 representa la muestra al 95% de cemento, 2.5% de FA y 2.5% de GGBS. SF3 representa la muestra al 95% de cemento, 2% de FA y 3% de GGBS. SF4 representa la muestra al 85% de cemento, 10% de FA y 5% de GGBS. SF5 representa la muestra al 85% de cemento, 7.5% de FA y 7.5% de GGBS, SF6 representa la muestra al 85% de cemento, 5% de FA y 10% de GGBS. SF7 representa la muestra al 70% de cemento, 20% de FA y 10% de GGBS. SF8 representa la muestra al 70% de cemento, 15% de FA y 15% de GGBS. SF9 representa la muestra al 70% de cemento, 10% de FA y 20% de GGBS.

A continuación, en la Tabla 14 se observa la cantidad de los residuos industriales empleados en kg/m^3 .

Tabla 14*Cantidad en kg/m³ de los residuos industriales*

Muestra	Cemento (kg)	FA (kg/m ³)	GGBS (kg/m ³)
SF0	435.41	0	0
SF1	413.64	13.06	8.71
SF2	413.64	10.89	10.89
SF3	413.64	8.71	13.06
SF4	370.1	43.54	21.77
SF5	370.1	32.66	32.66
SF6	370.1	21.77	21.77
SF7	304.79	87.08	87.08
SF8	304.79	65.31	65.31
SF9	304.79	43.54	43.54

Nota. FA: Cenizas volantes; GGBS: Escorias de altos hornos

A continuación, en la Tabla 15 se observa la dosificación utilizada respecto a los residuos industriales para cada tipo de muestra.

Tabla 15*Resultados de ensayo de la resistencia a la compresión (MPa)*

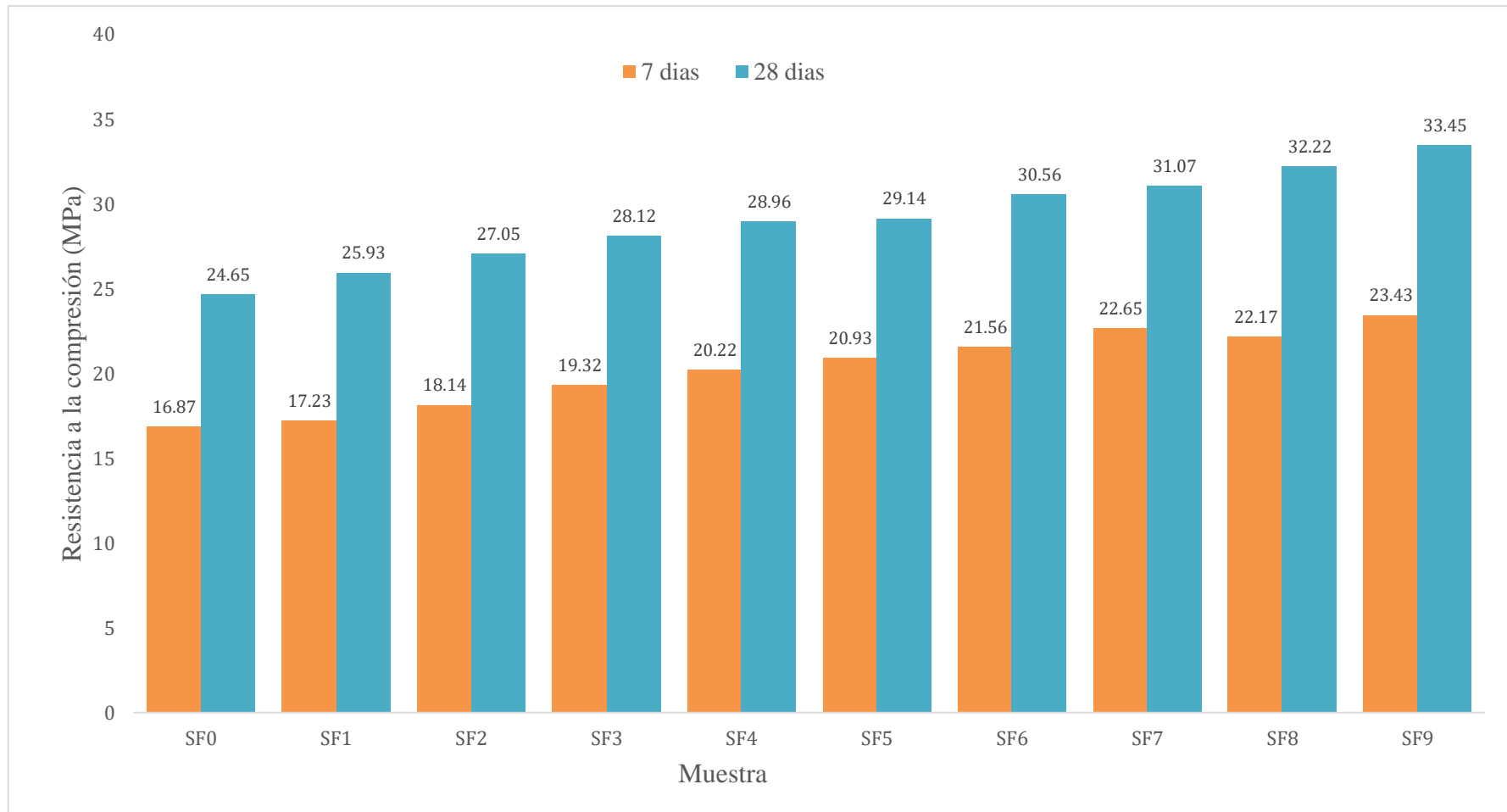
Muestra	Dosificación (%)			Resistencia a la Compresión (MPa)	
	Cemento	FA	GGBS	7 días	28 días
SF0	100	0	0	16.87	24.65
SF1	95	3	2	17.23	25.93
SF2	95	2.5	2.5	18.14	27.05
SF3	95	2	3	19.32	28.12
SF4	85	10	5	20.22	28.96
SF5	85	7.5	7.5	20.93	29.14
SF6	85	5	10	21.56	30.56
SF7	70	20	10	22.65	31.07
SF8	70	15	15	22.17	32.22
SF9	70	10	20	23.43	33.45

Nota. Adaptado de Azmat, et al (2019)

A continuación, en la Figura 7 se observa los resultados respecto al ensayo de resistencia a la compresión a los 7 y 28 días empleado en MPa.

Figura 7

Resistencia a la compresión a los 7 y 28 días (MPa)



Nota. Adaptado de la Tabla 15

Kumar, et al (2017)

- Para 20% de FA (GGBS10%, GGBS20%, GGBS30%, GGBS40%, GGBS50%).
- Se mantiene una cantidad de cemento de: 468.6 kg/m³.
- Se mantiene una cantidad de agregado fino de: 634 kg/m³.
- Se mantiene una cantidad de agregado grueso de: 1034.5 kg/m³.
- La muestra F0-G0-C100 representa la muestra patrón con 0% de FA y 0% GGBS.
F20-G10-C70 representa la muestra al 20% de FA, 10% de GGBS y 70% de cemento.
F20-G20-C60 representa la muestra al 20% de FA, 20% de GGBS y 60% de cemento.
F20-G30-C50 representa la muestra al 20% de FA, 30% de GGBS y 50% de cemento.
F20-G40-C40 representa la muestra al 20% de FA, 40% de GGBS y 40% de cemento.
F20-G50-C30 representa la muestra al 20% de FA, 50% de GGBS y 30% de cemento.

A continuación, en la Tabla 16 se observa la dosificación utilizada respecto a los residuos industriales para cada tipo de muestra.

Tabla 16

Resultados de ensayo de la resistencia a la compresión (MPa)

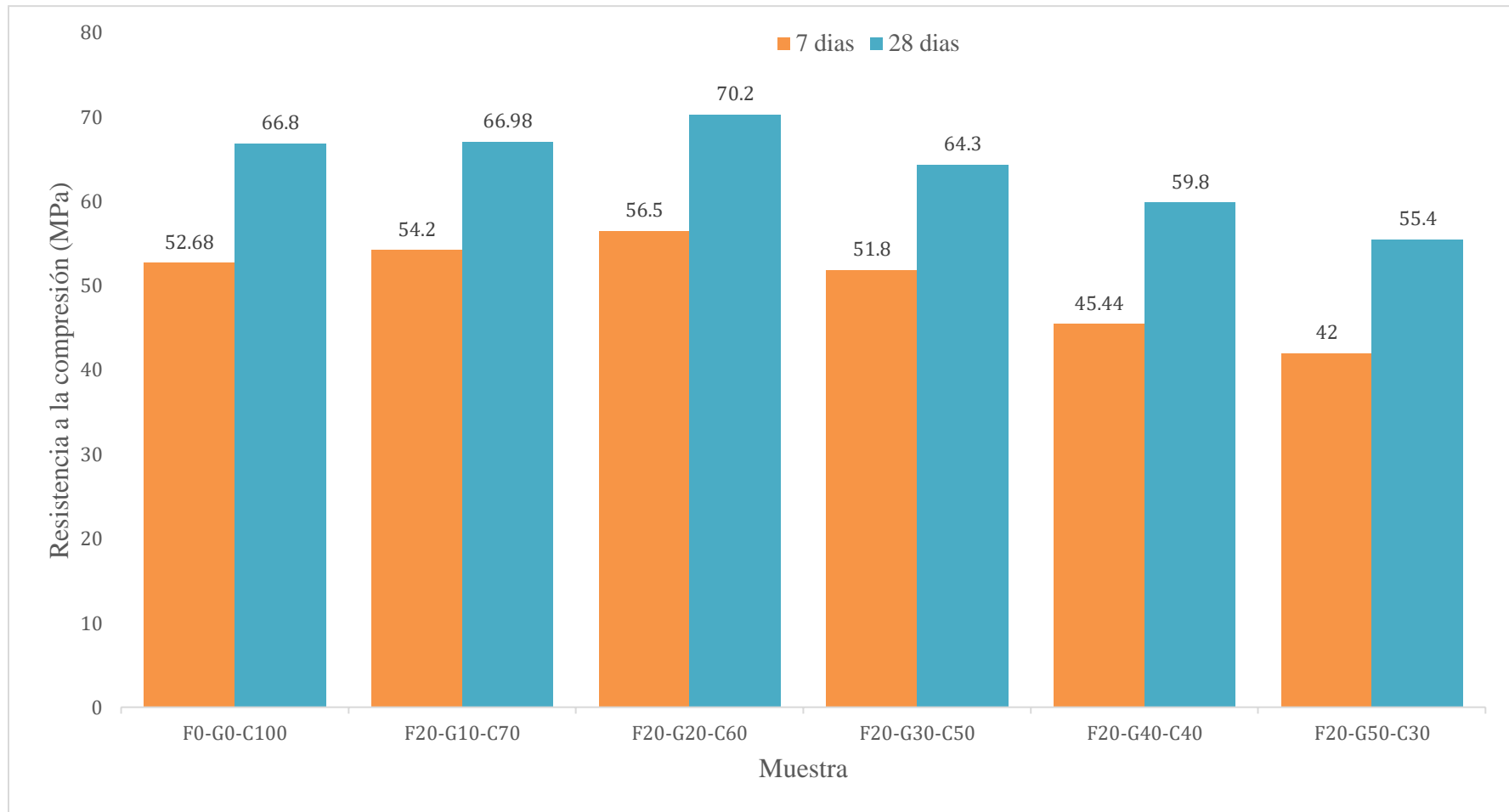
Muestra	Dosificación (%)			Resistencia a la Compresión (MPa)	
	Cemento	FA	GGBS	7 días	28 días
F0-G0-C100	100	0	0	52.68	66.8
F20-G10-C70	70	20	10	54.2	66.98
F20-G20-C60	60	20	20	56.5	70.2
F20-G30-C50	50	20	30	51.8	64.3
F20-G40-C40	40	20	40	45.44	59.8
F20-G50-C30	30	20	50	42	55.4

Nota. Adaptado de Kumar, et al (2017)

A continuación, en la Figura 8 se observa los resultados respecto al ensayo de resistencia a la compresión a los 7 y 28 días empleado en MPa.

Figura 8

Resistencia a la compresión a los 7 y 28 días (MPa)



Nota. Adaptado de la Tabla 16

5.1.2. Resultados de los óptimos porcentajes de cenizas volantes y escorias de altos hornos para incrementar la resistencia a la flexión del hormigón estructural.

A continuación, en la Tabla 17 se muestra los artículos empleados respecto al incremento de la resistencia a la flexión.

Tabla 17

Artículos de incremento de resistencia a la flexión

Autor	Título	Cenizas volantes (%)	Escorias de altos hornos (%)
	Experimental		
K Nagaraj, P Himabindu	investigations of high strength concrete using GGBS & Fly ash	10	10, 20, 30, 40 y 50
Syed Asif Ali, Shaik Abdullah	Experimental study on partial replacement of cement by Fly ash and GGBS	20, 40 y 60	5 y 10
Gururaj T, Ajith B T, Chandrashekara A	A study on the effect of inclusion of fly ash as partial replacement of cement and granulated blast furnace slag as partial replacement of sand in concrete	10, 20 y 30	20, 40 y 60

Nota. Elaboración propia

Nagaraj, et al (2017)

- Proporciones empleadas de residuos industriales:
Para 10% de FA (GGBS10%, GGBS20%, GGBS30%, GGBS40%, GGBS50%).
- Se vació el hormigón de Grado 60 y 80, encontrándose un mayor valor en las muestras de M60.
- El programa consiste en la fundición y prueba de un total de 420 cubos, 320 especímenes de prismas.
- Se fundieron muestras de cubo estándar (150 mm x 150 mm x 150 mm) y prisma estándar de (150 mm x 150 mm x 700 mm) con y sin FA y GGBS.
- En el efecto de la mezcla sobre el tiempo de fraguado del cemento se agotó de las pruebas de laboratorio. Retrasó el tiempo de fraguado. El tiempo de fraguado del cemento es de 42 minutos para el cemento Portland ordinario y se cambió el tiempo de fraguado con la combinación de GGBS y FA.
- La muestra F0-G0-C100 representa la muestra patrón con 0% de FA y 0% de GGBS. F10-G10-C80 representa la muestra con 10% de FA, 10% de GGBS, 80% de cemento. F10-G20-C70 representa la muestra con 10% de FA, 20% de GGBS, 70% de cemento. F10-G30-C60 representa la muestra con 10% de FA, 30% de GGBS, 60% de cemento. F10-G40-C50 representa la muestra con 10% de FA, 40% de GGBS, 50% de cemento. F10-G50-C40 representa la muestra con 10% de FA, 50% de GGBS, 40% de cemento.

A continuación, en la Tabla 18 se observa la cantidad de los residuos industriales empleados en kg/m^3 .

Tabla 18

Cantidad en kg/m^3 de los residuos industriales

Muestra	FA (kg/m^3)	GGBS (kg/m^3)	Cemento (kg)
F0-G0-C100	----	----	438
F10-G10-C80	48.2	48.2	385.6
F10-G20-C70	48.2	96.4	337.4
F10-G30-C60	48.2	144.6	209.2
F10-G40-C50	48.2	192.8	241
F10-G50-C40	48.2	241	192.8

Nota. FA: Cenizas volantes; GGBS: Escorias de altos hornos

A continuación, en la Tabla 19 se observa la dosificación utilizada respecto a los residuos industriales para cada tipo de muestra.

Tabla 19

Resultados de ensayo de la resistencia a la flexión (MPa)

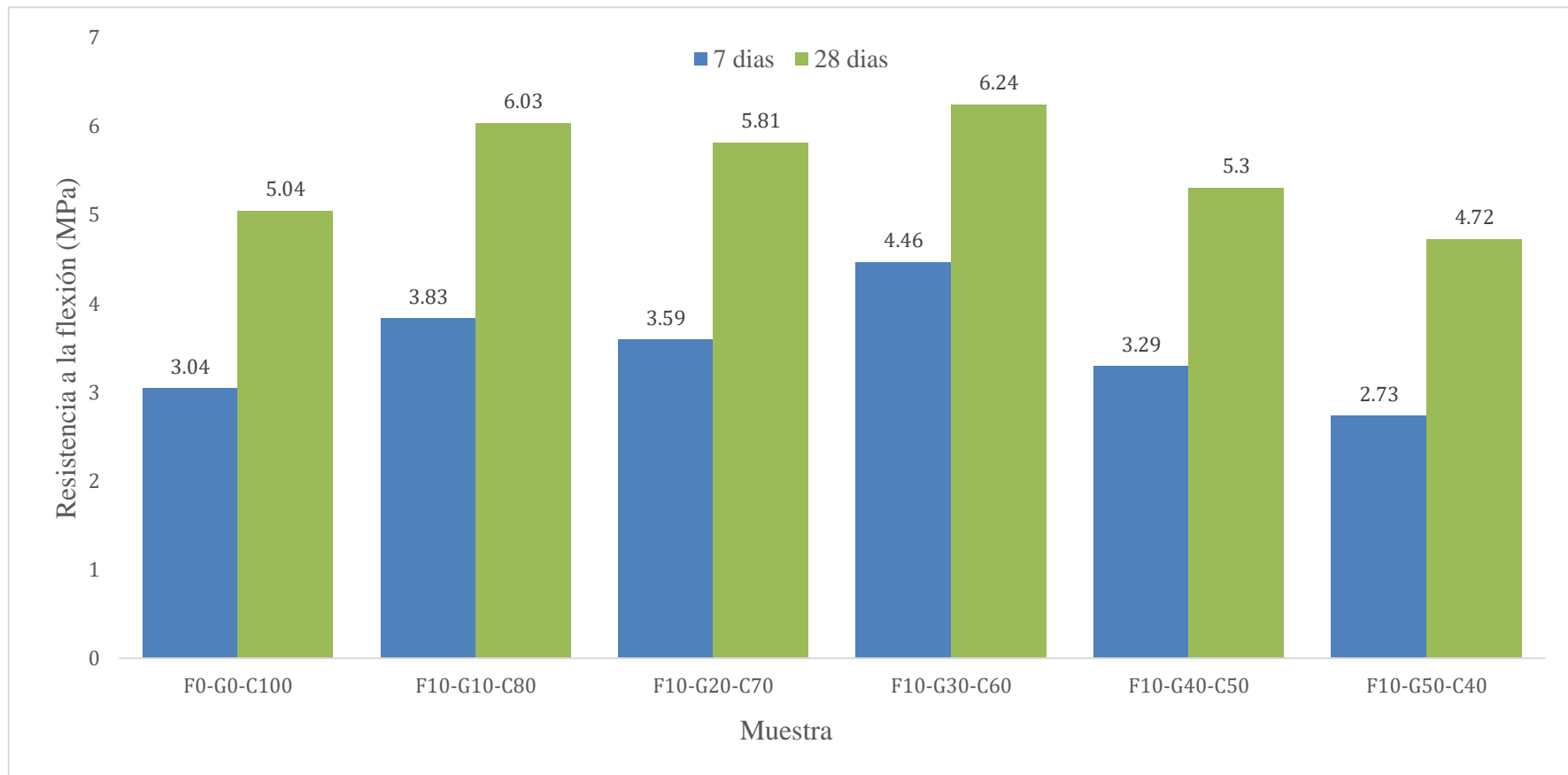
Muestra	Dosificación (%)			Resistencia a la Flexión (MPa)	
	Cemento	FA	GGBS	7 días	28 días
F0-G0-C100	100	0	0	3.04	5.04
F10-G10-C80	80	10	10	3.83	6.03
F10-G20-C70	70	10	20	3.59	5.81
F10-G30-C60	60	10	30	4.46	6.24
F10-G40-C50	50	10	40	3.29	5.3
F10-G50-C40	40	10	50	2.73	4.72

Nota. Adaptado de Nagaraj, et al (2017)

A continuación, en la Figura 9 se observa los resultados respecto al ensayo de resistencia a la flexión a los 7 y 28 días empleado en MPa.

Figura 9

Resistencia a la flexión a los 7 y 28 días (MPa)



Nota. Adaptado de la Tabla 19

Syed, et al (2014)

- Proporciones empleadas de residuos industriales:
 - Se utilizo 20% de FA, 5% de GGBS.
 - Se utilizo 20% de FA, 10% de GGBS.
 - Se utilizo 40% de FA, 5% de GGBS.
 - Se utilizo 40% de FA, 10% de GGBS.
 - Se utilizo 60% de FA, 5% de GGBS.
 - Se utilizo 60% de FA, 10% de GGBS.
- Se mantiene una cantidad de agregado fino:
 - Con un módulo de finura: 3.1.
 - Con una gravedad especifica: 2.76
- Se mantiene un agregado grueso:
 - Con un módulo de finura: 4.01.
 - Con una gravedad especifica: 2.62.
 - Con absorción de agua: 0.73%.
 - Con un Índice de descamación: 15.23.
 - Con un Índice de elongación: 20.85.
- La muestra F0-G0-C100 representa la muestra patrón 0% de FA y 0% GGBS. F20-G5-C75 representa la muestra al 20% de FA, 5% de GGBS y 75% de cemento. F20-G10-C70 representa la muestra al 20% de FA, 10% de GGBS y 70% de cemento. F40-G5-C55 representa la muestra al 40% de FA, 5% de GGBS y 55% de cemento. F40-G10-C50 representa la muestra al 40% de FA, 10% de GGBS y 50% de cemento. F60-G5-C35 representa la muestra al 60% de FA, 5% de GGBS y 35% de cemento. F60-G10-C30 representa la muestra al 60% de FA, 10% de GGBS y 30% de cemento.

A continuación, en la Tabla 20 se observa la dosificación utilizada respecto a los residuos industriales para cada tipo de muestra.

Tabla 20

Resultados de ensayo de la resistencia a la flexión (N/mm²)

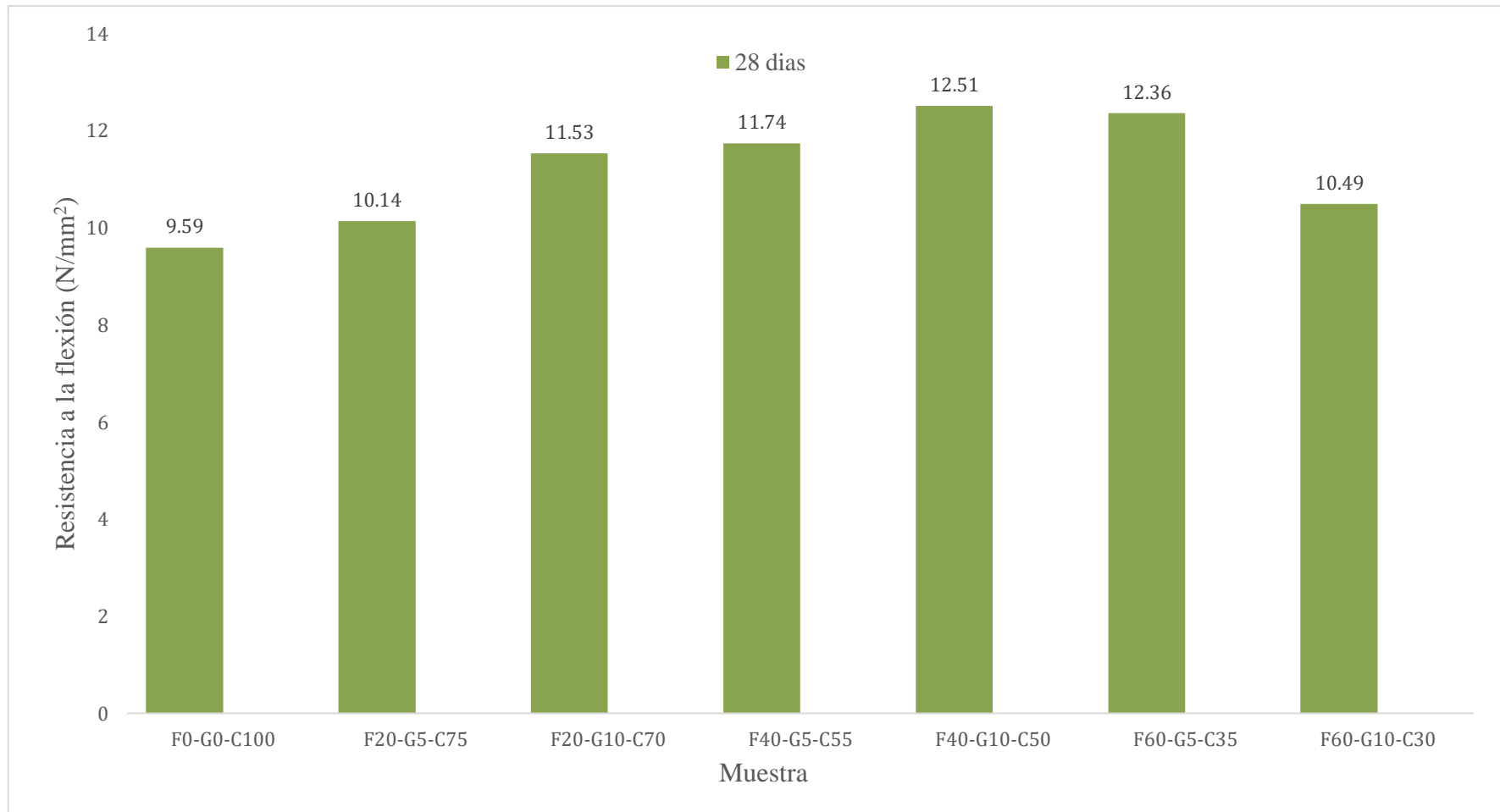
Muestra	Dosificación (%)			Resistencia a la Flexión
	Cemento	FA	GGBS	(N/mm ²) 28 días
F0-G0-C100	100	0	0	9.59
F20-G5-C75	75	20	5	10.14
F20-G10-C70	70	20	10	11.53
F40-G5-C55	55	40	5	11.74
F40-G10-C50	50	40	10	12.51
F60-G5-C35	35	60	5	12.36
F60-G10-C30	30	60	10	10.49

Nota. Adaptado de Syed, et al (2014)

A continuación, en la Figura 10 se observa los resultados respecto al ensayo de resistencia a la flexión a los 28 días empleado en N/mm².

Figura 10

Resistencia a la flexión a los 28 días (N/mm²)



Nota. Adaptado de la Tabla 20

Gururaj, et al (2015)

- Proporciones empleadas de residuos industriales:
 - Se utilizo 10% de FA, 20% de GGBS.
 - Se utilizo 10% de FA, 40% de GGBS.
 - Se utilizo 10% de FA, 60% de GGBS.
 - Se utilizo 20% de FA, 20% de GGBS.
 - Se utilizo 20% de FA, 40% de GGBS.
 - Se utilizo 20% de FA, 60% de GGBS.
 - Se utilizo 30% de FA, 20% de GGBS.
 - Se utilizo 30% de FA, 40% de GGBS.
 - Se utilizo 30% de FA, 60% de GGBS.
- Se utilizo cemento con gravedad especifica del 3.1, una consistencia estándar del 31%, un tiempo de fraguado inicial de 38 minutos, un tiempo de fraguado final de 480 minutos y con un porcentaje de finura del 5.3.
- Se utiliza Conplast SP430 se utiliza como superplastificante. Es un aditivo súper plastificante libre de cloruros. Se suministra como una solución marrón que se dispersa instantáneamente en agua.
- La proporción de mezcla utilizada en este estudio tiene una relación agua-cemento de 0,4 y superplastificante de 0,75%.
- Se mantiene una cantidad de agregado fino:
 - Con una gravedad especifica: 2.62.
 - Con absorción de agua: 1.43%.
- Se mantiene un agregado grueso:
 - Con una gravedad especifica: 2.65.
 - Con absorción de agua: 0.39%.
- Se mantiene una cantidad de cenizas volantes:
 - Con una gravedad especifica: 2.5%.
 - Con finura: 2.28%.
- Se mantiene una cantidad de escorias de altos hornos:
 - Con una gravedad especifica: 2.63%.
 - Con absorción de agua: 5.9%.
- CM representa la muestra patrón con 0% de FA y GGBS. M1 representa la muestra al 10% de FA y al 20% de GGBS. M2 representa la muestra al 10% de FA y al 40% de

GGBS. M3 representa la muestra al 10% de FA y al 60% de GGBS. M4 representa la muestra al 20% de FA y al 20% de GGBS. M5 representa la muestra al 20% de FA y al 40% de GGBS. M6 representa la muestra al 20% de FA y al 60% de GGBS. M7 representa la muestra al 30% de FA y al 20% de GGBS. M8 representa la muestra al 30% de FA y al 40% de GGBS. M9 representa la muestra al 30% de FA y al 60% de GGBS.

A continuación, en la Tabla 21 se observa la cantidad de los residuos industriales empleados en kg/m³.

Tabla 21

Cantidad en kg/m³ de los residuos industriales

Muestra	FA (kg/m ³)	GGBS (kg/m ³)	Cemento (kg)
CM	----	----	425
M1	42.5	136.8	382.5
M2	42.5	273.7	382.5
M3	42.5	410.5	382.5
M4	85	136.8	340
M5	85	273.7	340
M6	85	410.5	340
M7	127.5	136.8	297.5
M8	127.5	273.7	297.5
M9	127.5	410.5	297.5

Nota. FA: Cenizas volantes; GGBS: Escorias de altos hornos

A continuación, en la Tabla 22 se observa la dosificación utilizada respecto a los residuos industriales para cada tipo de muestra.

Tabla 22

Resultados de ensayo de la resistencia a la flexión (N/mm²)

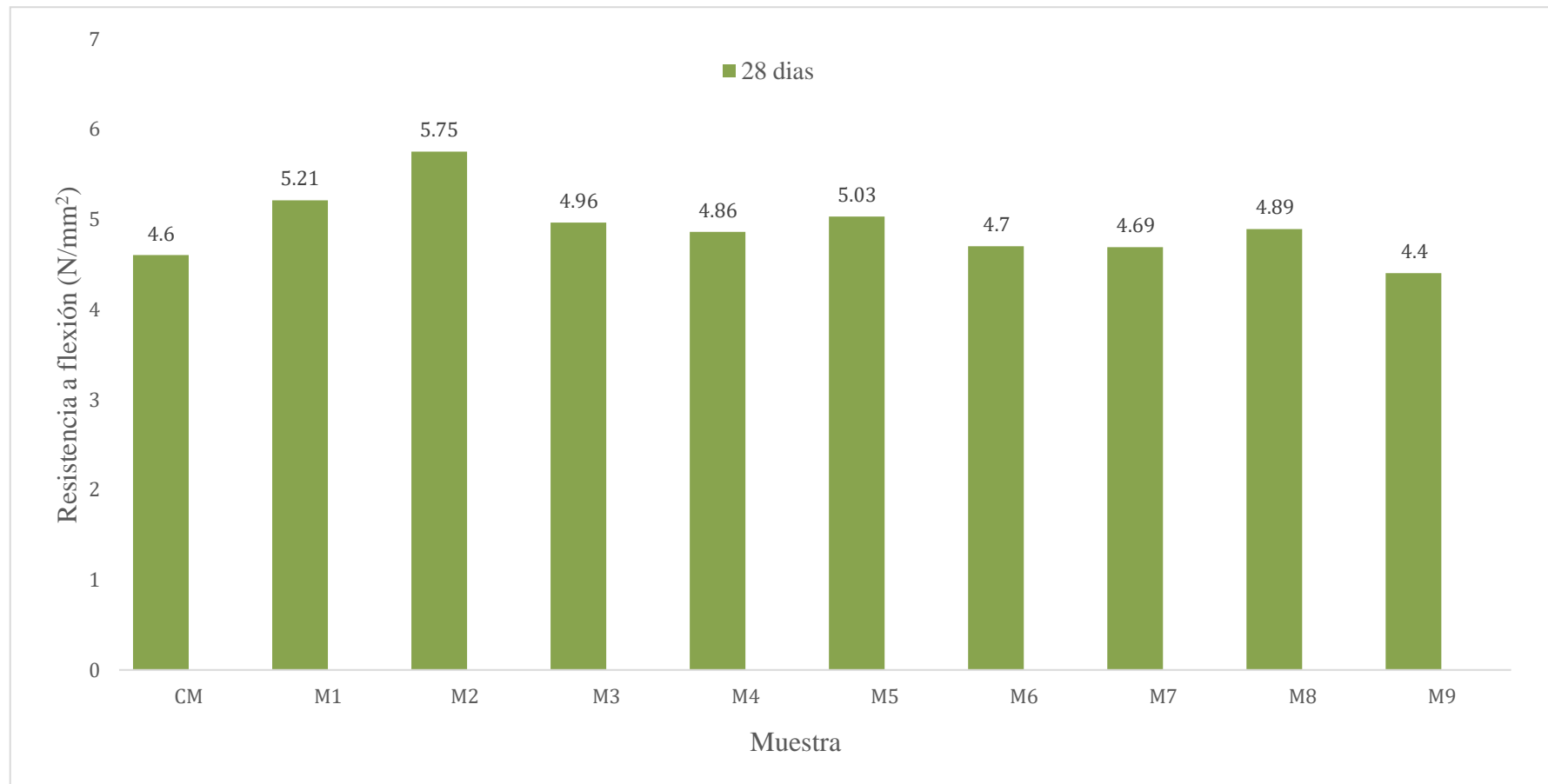
Muestra	Dosificación (%)		Resistencia a la Flexión (N/mm ²)
	FA	GGBS	28 días
CM	0	0	4.6
M1	10	20	5.21
M2	10	40	5.75
M3	10	60	4.96
M4	20	20	4.96
M5	20	40	5.03
M6	20	60	4.7
M7	30	20	4.69
M8	30	40	4.69
M9	30	60	4.4

Nota. Adaptado de Gururaj, et al (2015)

A continuación, en la Figura 11 se observa los resultados respecto al ensayo de resistencia a la flexión a los 28 días empleado en N/mm².

Figura 11

Resistencia a la flexión a los 28 días (N/mm²)



Nota. Adaptado de la Tabla 22

5.1.3. Resultados de los óptimos porcentajes de cenizas volantes y escorias de altos hornos para incrementar la resistencia a la tracción por compresión diametral del hormigón estructural.

A continuación, en la Tabla 23 se muestra los artículos empleados respecto al incremento de la resistencia a la tracción.

Tabla 23

Artículos de incremento de resistencia a la tracción por compresión diametral

Autor	Título	Cenizas volantes (%)	Escorias de altos hornos (%)
	Experimental		
M Prathap Kumar, Vaddi Srinivas, M Zoheb Nawaz	investigation on high strength concrete using GGBS, Fly ash & SP-430 Super plasticizer	10	10, 20, 30, 40 y 50
Syed Asif Ali, Shaik Abdullah	Experimental study on partial replacement of cement by Fly ash and GGBS	20, 40 y 60	5 y 10
Gururaj T, Ajith B T, Chandrashekara A	A study on the effect of inclusion of fly ash as partial replacement of cement and granulated blast furnace slag as partial replacement of sand in concrete	10, 20 y 30	20, 40 y 60
K J. Brahma Chari, V. Ranga Rao	The experimental investigation of concrete with various supplementary cementitious materials and glass fiber	20, 25 y 30	20, 25 y 30

Nota. Elaboración propia

Kumar, et al (2017)

- Para 10% de FA (GGBS10%, GGBS20%, GGBS30%, GGBS40%, GGBS50%).
- Se mantiene una cantidad de cemento de: 468.6 kg/m³.
- Se mantiene una cantidad de agregado fino de: 634 kg/m³.
- Se mantiene una cantidad de agregado grueso de: 1034.5 kg/m³.
- FA: Cenizas volantes; GBFS: Escorias de altos hornos.
- F0-G0-C100 representa la muestra patrón con 0% de FA y 0% de GGBS. F10-G10-C80 representa la muestra con 10% de FA, 10% de GGBS y 80% de cemento. F10-G20-C70 representa la muestra con 10% de FA, 20% de GGBS y 70% de cemento. F10-G30-C60 representa la muestra con 10% de FA, 30% de GGBS y 60% de cemento. F10-G40-C50 representa la muestra con 10% de FA, 40% de GGBS y 50% de cemento. F10-G50-C40 representa la muestra con 10% de FA, 50% de GGBS y 40% de cemento.

A continuación, en la Tabla 24 se observa la dosificación utilizada respecto a los residuos industriales para cada tipo de muestra.

Tabla 24

Resultados de ensayo de la resistencia a la tracción (MPa)

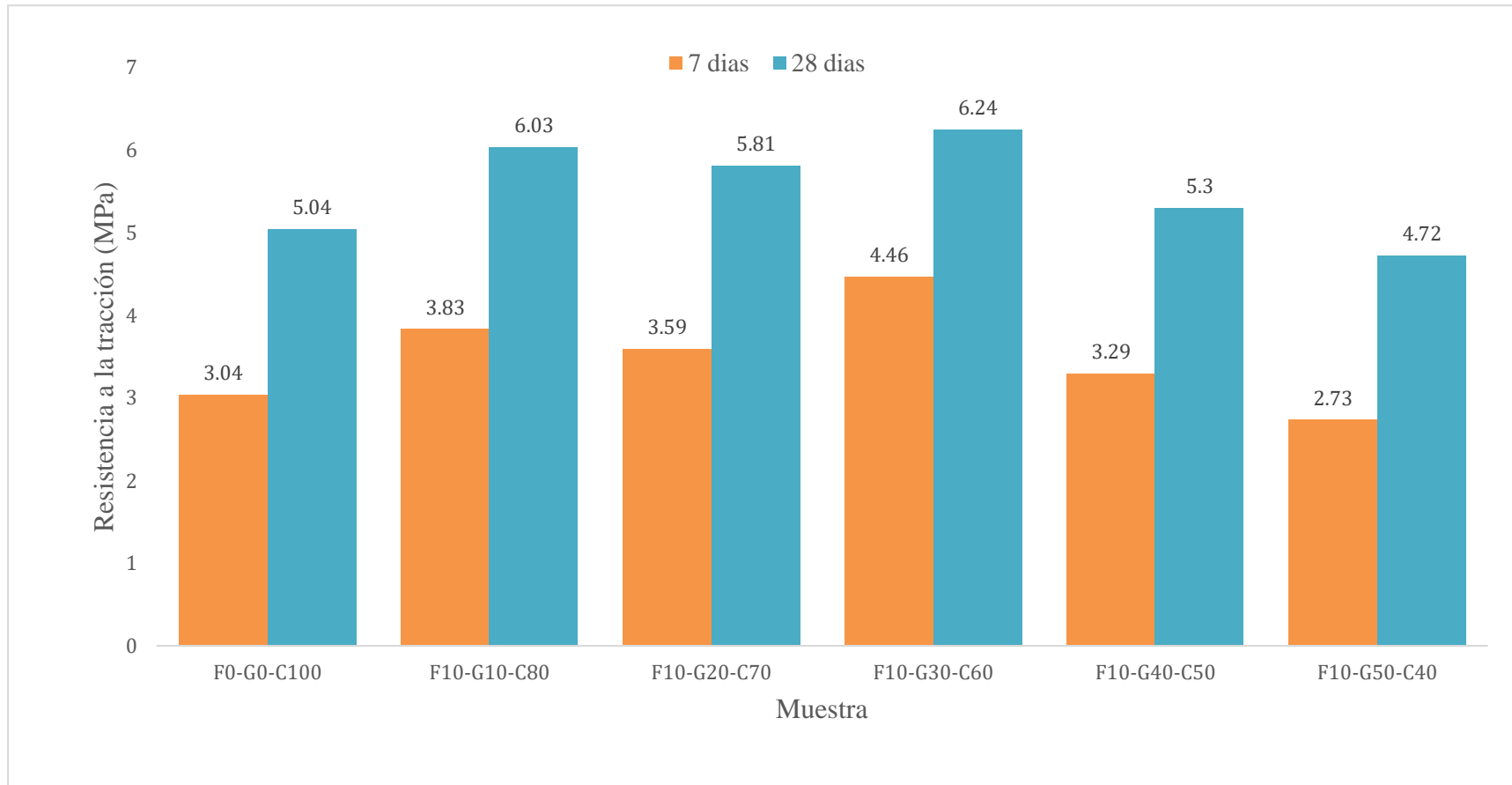
Muestra	Dosificación (%)			Resistencia a la Tracción (MPa)	
	Cemento	FA	GGBS	7 días	28 días
F0-G0-C100	100	0	0	3.04	5.04
F10-G10-C80	80	10	10	3.83	6.03
F10-G20-C70	70	10	20	3.59	5.81
F10-G30-C60	60	10	30	4.46	6.24
F10-G40-C50	50	10	40	3.29	5.3
F10-G50-C40	40	10	50	2.73	4.72

Nota. Adaptado de Kumar, et al (2017)

A continuación, en la Figura 12 se observa los resultados respecto al ensayo de resistencia a la tracción a los 7 y 28 días empleado en MPa.

Figura 12

Resistencia a la tracción a los 7 y 28 días (MPa)



Nota. Adaptado de la Tabla 24

Syed, et al (2014)

- Proporciones empleadas de residuos industriales:

Se utilizo 20% de FA, 5% de GGBS.

Se utilizo 20% de FA, 10% de GGBS.

Se utilizo 40% de FA, 5% de GGBS.

Se utilizo 40% de FA, 10% de GGBS.

Se utilizo 60% de FA, 5% de GGBS.

Se utilizo 60% de FA, 10% de GGBS.

- Se mantiene una cantidad de agregado fino:

Con un módulo de finura: 3.1.

Con una gravedad especifica: 2.76

- Se mantiene un agregado grueso:

Con un módulo de finura: 4.01.

Con una gravedad especifica: 2.62.

Con absorción de agua: 0.73%.

Con un Índice de descamación: 15.23.

Con un Índice de elongación: 20.85.

- F0-G0-C100 representa la muestra patrón con 0% de FA y 0% de GGBS. F20-G5-C75 representa la muestra con 20% de FA, 5% de GGBS y 75% de cemento. F20-G10-C70 representa la muestra con 20% de FA, 10% de GGBS y 70% de cemento. F40-G5-C55 representa la muestra con 40% de FA, 5% de GGBS y 55% de cemento. F40-G10-C50 representa la muestra con 40% de FA, 10% de GGBS y 50% de cemento. F60-G5-C35 representa la muestra con 60% de FA, 5% de GGBS y 35% de cemento. F60-G10-C30 representa la muestra con 60% de FA, 10% de GGBS y 30% de cemento.

A continuación, en la Tabla 25 se observa la dosificación utilizada respecto a los residuos industriales para cada tipo de muestra.

Tabla 25

Resultados de ensayo de la resistencia a la tracción (N/mm²)

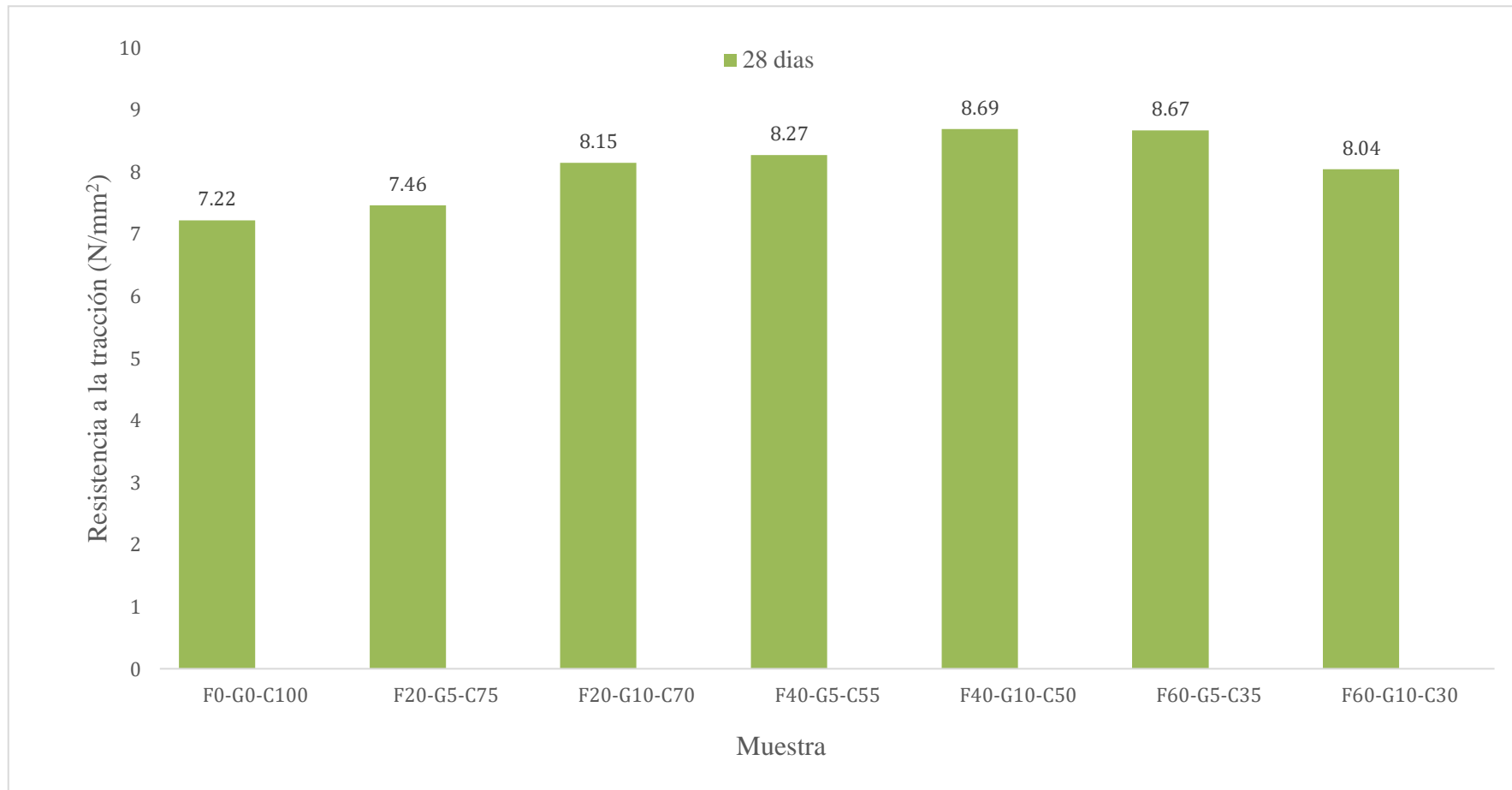
Muestra	Dosificación (%)			Resistencia a la Tracción
	Cemento	FA	GGBS	(N/mm ²) 28 días
F0-G0-C100	100	0	0	7.22
F20-G5-C75	75	20	5	7.46
F20-G10-C70	70	20	10	8.15
F40-G5-C55	55	40	5	8.27
F40-G10-C50	50	40	10	8.69
F60-G5-C35	35	60	5	8.67
F60-G10-C30	30	60	10	8.04

Nota. Adaptado de Syed, et al (2014)

A continuación, en la Figura 13 se observa los resultados respecto al ensayo de resistencia a la tracción a los 28 días empleado en N/mm².

Figura 13

Resistencia a la tracción a los 28 días (N/mm²)



Nota. Adaptado de la Tabla 25

Gururaj, et al (2015)

- Proporciones empleadas de residuos industriales:
 - Se utilizo 10% de FA, 20% de GGBS.
 - Se utilizo 10% de FA, 40% de GGBS.
 - Se utilizo 10% de FA, 60% de GGBS.
 - Se utilizo 20% de FA, 20% de GGBS.
 - Se utilizo 20% de FA, 40% de GGBS.
 - Se utilizo 20% de FA, 60% de GGBS.
 - Se utilizo 30% de FA, 20% de GGBS.
 - Se utilizo 30% de FA, 40% de GGBS.
 - Se utilizo 30% de FA, 60% de GGBS.
- Se utilizo cemento con gravedad especifica del 3.1, una consistencia estándar del 31%, un tiempo de fraguado inicial de 38 minutos, un tiempo de fraguado final de 480 minutos y con un porcentaje de finura del 5.3.
- Se utiliza Conplast SP430 se utiliza como superplastificante. Es un aditivo súper plastificante libre de cloruros. Se suministra como una solución marrón que se dispersa instantáneamente en agua.
- La proporción de mezcla utilizada en este estudio tiene una relación agua-cemento de 0,4 y superplastificante de 0,75%.
- Se mantiene una cantidad de agregado fino:
 - Con una gravedad especifica: 2.62.
 - Con absorción de agua: 1.43%.
- Se mantiene un agregado grueso:
 - Con una gravedad especifica: 2.65.
 - Con absorción de agua: 0.39%.
- Se mantiene una cantidad de cenizas volantes:
 - Con una gravedad especifica: 2.5%.
 - Con finura: 2.28%.
- Se mantiene una cantidad de escorias de altos hornos:
 - Con una gravedad especifica: 2.63%.
 - Con absorción de agua: 5.9%.
- CM representa la muestra patrón con 0% de FA y GGBS. M1 representa la muestra al 10% de FA y al 20% de GGBS. M2 representa la muestra al 10% de FA y al 40% de

GGBS. M3 representa la muestra al 10% de FA y al 60% de GGBS. M4 representa la muestra al 20% de FA y al 20% de GGBS. M5 representa la muestra al 20% de FA y al 40% de GGBS. M6 representa la muestra al 20% de FA y al 60% de GGBS. M7 representa la muestra al 30% de FA y al 20% de GGBS. M8 representa la muestra al 30% de FA y al 40% de GGBS. M9 representa la muestra al 30% de FA y al 60% de GGBS.

A continuación, en la Tabla 26 se observa la cantidad de los residuos industriales empleados en kg/m³.

Tabla 26

Cantidad en kg/m³ de los residuos industriales

Muestra	FA (kg/m ³)	GGBS (kg/m ³)	Cemento (kg)
CM	----	----	425
M1	42.5	136.8	382.5
M2	42.5	273.7	382.5
M3	42.5	410.5	382.5
M4	85	136.8	340
M5	85	273.7	340
M6	85	410.5	340
M7	127.5	136.8	297.5
M8	127.5	273.7	297.5
M9	127.5	410.5	297.5

Nota. FA: Cenizas volantes; GGBS: Escorias de altos hornos

A continuación, en la Tabla 27 se observa la dosificación utilizada respecto a los residuos industriales para cada tipo de muestra.

Tabla 27

Resultados de ensayo de la resistencia a la tracción (N/mm²)

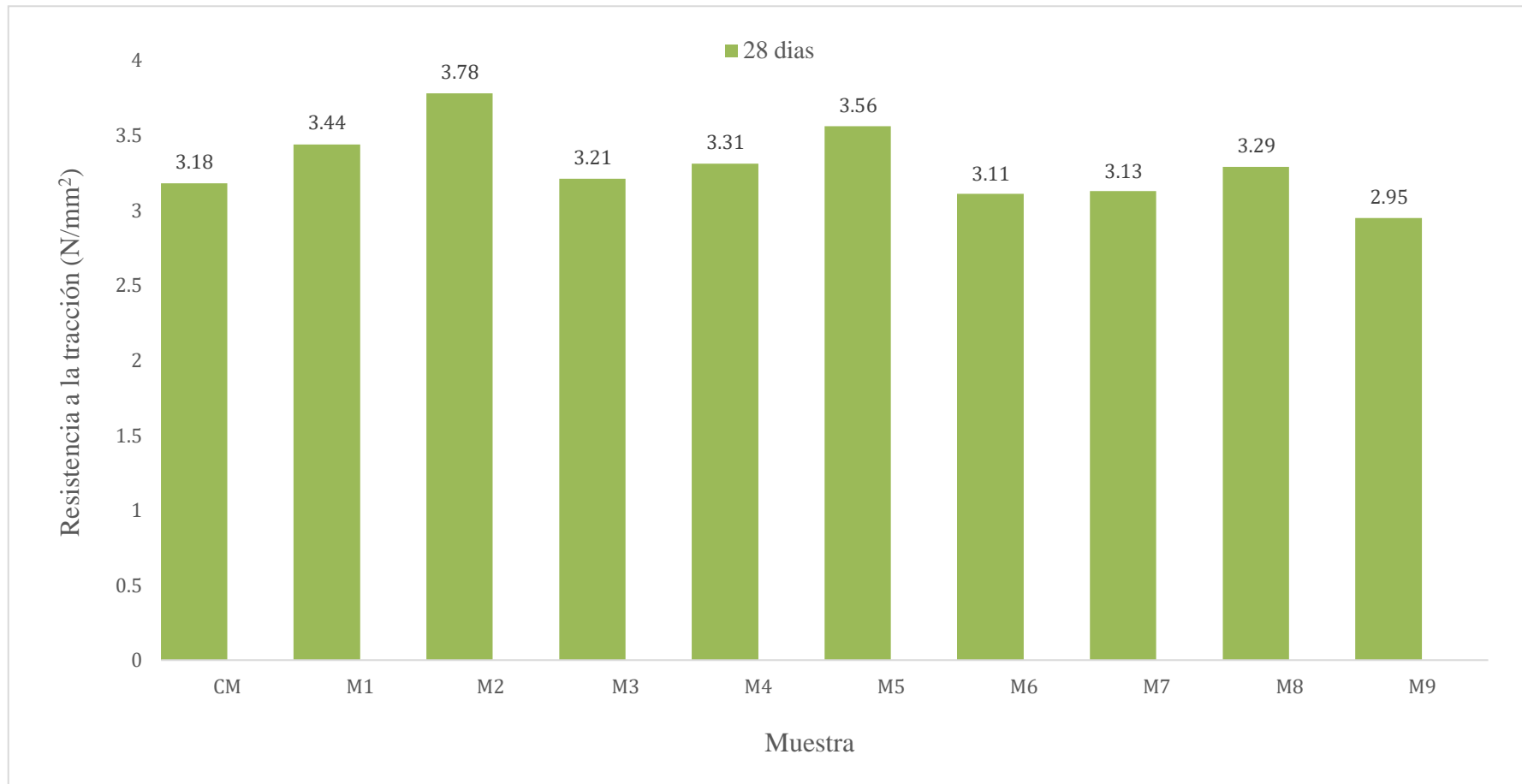
Muestra	Dosificación (%)		Resistencia a la Tracción (N/mm ²)
	FA	GGBS	28 días
CM	0	0	3.18
M1	10	20	3.44
M2	10	40	3.78
M3	10	60	3.21
M4	20	20	3.31
M5	20	40	3.56
M6	20	60	3.11
M7	30	20	3.13
M8	30	40	3.29
M9	30	60	2.95

Nota. Adaptado de Gururaj, et al (2015)

A continuación, en la Figura 14 se observa los resultados respecto al ensayo de resistencia a la tracción a los 28 días empleado en N/mm².

Figura 14

Resistencia a la tracción a los 28 días (N/mm²)



Nota. Adaptado de la Tabla 27

Brahma, et al (2020)

- Proporciones empleadas de residuos industriales:
Se utilizo 60% de cemento, 20% de FA, 20% de GGBS.
Se utilizo 50% de cemento, 25% de FA, 25% de GGBS.
Se utilizo 40% de cemento, 30% de FA, 30% de GGBS.
- La presente investigación se realizó moldeando los cubos, cilindros. Se utilizan especímenes de cubos de 150 mm × 150 mm × 150 mm y cilindros de 300 mm de longitud y 150 mm de diámetro.
- El hormigón de grado M40 se realizó según los códigos IS10262:2009 e IS456:2000.
- La proporción de mezcla utilizada en este estudio tiene una relación agua-aglomerante de 0,4.
- Se mantiene una cantidad de agregado fino: 666 kg/m³.
- Se mantiene un agregado grueso: 1335 kg/m³.
- OPC representa la muestra patrón con 0% de FA y 0% de GGBS. COM1 representa la muestra con 60% de cemento, 20% de FA y 20% de GGBS. COM2 representa la muestra con 50% de cemento, 25% de FA y 25% de GGBS. COM3 representa la muestra con 40% de cemento, 30% de FA y 30% de GGBS.

A continuación, en la Tabla 28 se observa la cantidad de los residuos industriales empleados en kg/m³.

Tabla 28

Cantidad en kg/m³ de los residuos industriales

Muestra	FA (kg/m ³)	GGBS (kg/m ³)	Cemento (kg)
OPC	----	----	360
COM1	72	72	216
COM2	90	90	180
COM3	108	108	144

Nota. FA: Cenizas volantes; GGBS: Escorias de altos hornos

A continuación, en la Tabla 29 se observa la dosificación utilizada respecto a los residuos industriales para cada tipo de muestra.

Tabla 29

Resultados de ensayo de la resistencia a la tracción (N/mm²)

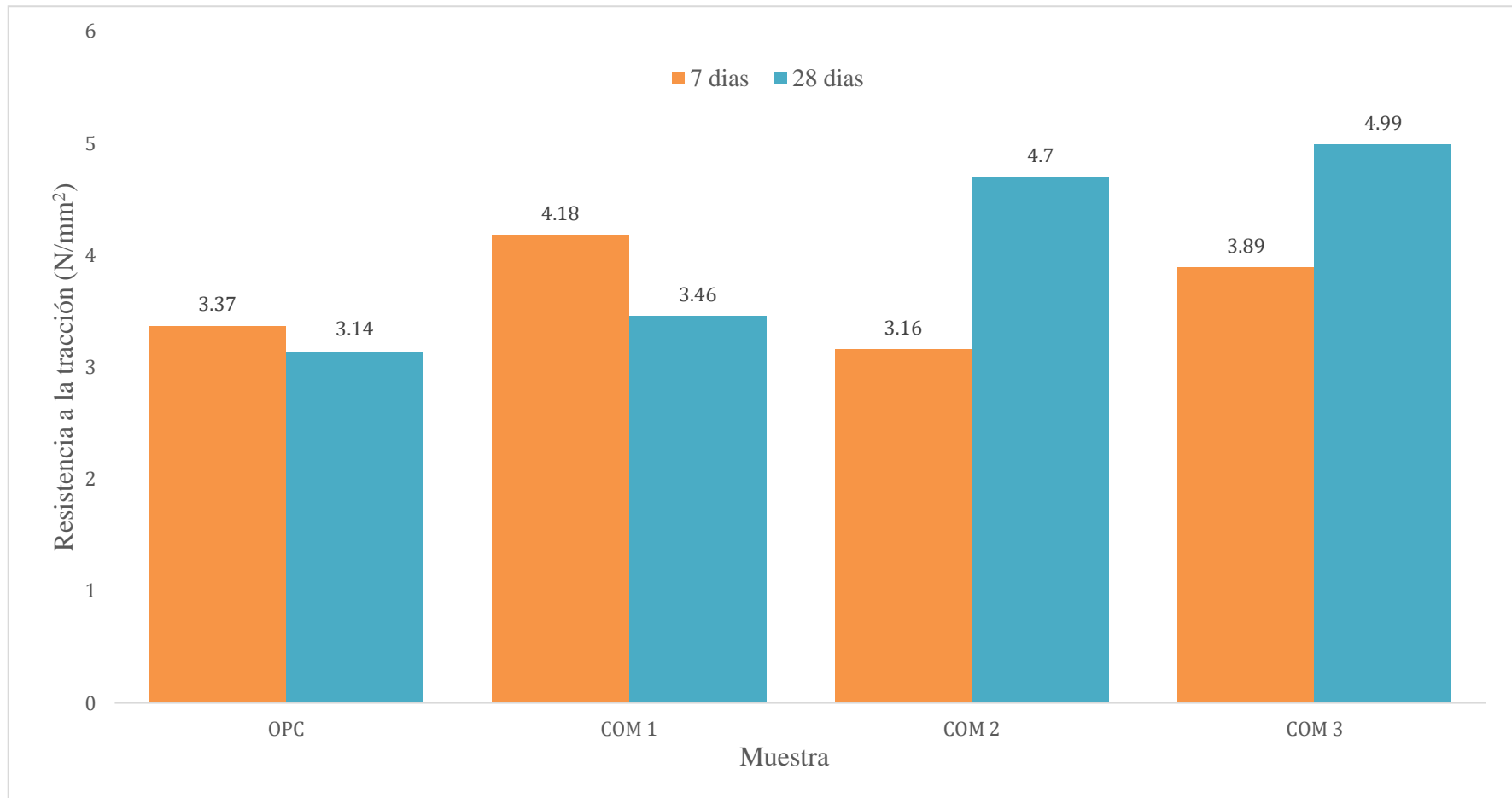
Muestra	Dosificación (%)			Resistencia a la Tracción (N/mm ²)	
	Cemento	FA	GGBS	7 días	28 días
OPC	100	0	0	3.37	3.14
COM1	60	20	20	4.18	3.46
COM2	50	25	25	3.16	4.7
COM3	40	30	30	3.89	4.99

Nota. Adaptado de Brahma, et al (2020)

A continuación, en la Figura 15 se observa los resultados respecto al ensayo de resistencia a la tracción a los 7 y 28 días empleado en N/mm².

Figura 15

Resistencia a la tracción a los 7 y 28 días (N/mm²)



Nota. Adaptado de la Tabla 29

5.1.4. Resultados de los óptimos porcentajes de cenizas volantes y escorias de altos hornos para incrementar el asentamiento del hormigón estructural.

A continuación, en la Tabla 30 se muestra los artículos empleados respecto al incremento del asentamiento.

Tabla 30

Artículos de incremento de asentamiento

Autor	Título	Cenizas volantes (%)	Escorias de altos hornos (%)
Jagriti Gupta, Nandeshwar Lata, Sagar Mittal	Effect of addition and replacement of GGBS and Fly ash with cement in concrete	5, 10, 15, 20, 25 y 30	5, 10, 15, 20, 25 y 30
Azmat Ali Phul, Muhammad Jaffar Memon, Syed Naveed Raza Shah, Abdul Razzaque Sandhu	GGBS and Fly ash effects on compressive strength by partial replacement of cement concrete	2, 2.5, 3, 5, 7.5, 10, 15 y 20	2, 2.5, 3, 5, 7.5, 10, 15 y 20
Gururaj T, Ajith B T, Chandrashekara A	A study on the effect of inclusion of fly ash as partial replacement of cement and granulated blast furnace slag as partial replacement of sand in concrete	10, 20 y 30	20, 40 y 60

Nota. Elaboración propia

Jagriti, et al (2018)

- Proporciones empleadas de residuos industriales:
 - Se utilizo 5% de FA, 5% de GGBS.
 - Se utilizo 10% de FA, 10% de GGBS.
 - Se utilizo 15% de FA, 15% de GGBS.
 - Se utilizo 20% de FA, 20% de GGBS.
 - Se utilizo 25% de FA, 25% de GGBS.
 - Se utilizo 30% de FA, 30% de GGBS.
- Se utilizo cemento Portland ordinario, grado 43 especificado según la norma 8112-2003 para vaciar los diferentes grados de hormigón.
- La relación de a/c se fija en 0.40.
- El rango de tamaño de agregado fino de 1.50mm a 4.75mm.
- Los agregados gruesos utilizados son partículas mayores de 4.75mm, en este caso se consideró un rango de agregado de 20mm y se utilizó un tamaño de partículas de 10mm con una gravedad especifica de 2.73.
- La muestra OPC+GGBS+FA (100+0+0) la muestra patrón con 0% de cenizas volantes y escorias de altos hornos. OPC+GGBS+FA (90+5+5) representa la muestra con 90% de cemento, 5% de escorias de altos hornos y 5% de cenizas volantes. OPC+GGBS+FA (80+10+10) representa la muestra con 80% de cemento, 10% de escorias de altos hornos y 10% de cenizas volantes. OPC+GGBS+FA (70+15+15) representa la muestra con 70% de cemento, 15% de escorias de altos hornos y 15% de cenizas volantes. OPC+GGBS+FA (60+20+20) representa la muestra con 60% de cemento, 20% de escorias de altos hornos y 20% de cenizas volantes. OPC+GGBS+FA (50+25+25) representa la muestra con 50% de cemento, 25% de escorias de altos hornos y 25% de cenizas volantes. OPC+GGBS+FA (40+30+30) representa la muestra con 40% de cemento, 30% de escorias de altos hornos y 30% de cenizas volantes.

A continuación, en la Tabla 31 se observa la cantidad de los residuos industriales empleado en kg.

Tabla 31*Cantidad en kg de los residuos industriales*

Muestra	Cemento (kg)	FA (kg)	GGBS (kg)
OPC+GGBS+FA (100+0+0)	402.5	0	0
OPC+GGBS+FA (90+5+5)	362.5	20.125	20.125
OPC+GGBS+FA (80+10+10)	322	40.25	40.25
OPC+GGBS+FA (70+15+15)	281.75	60.375	60.375
OPC+GGBS+FA (60+20+20)	241.5	80.5	60.5
OPC+GGBS+FA (50+25+25)	201.25	100.625	100.625
OPC+GGBS+FA (40+30+30)	161	120.75	120.75

Nota. FA: Cenizas volantes, GGBS: Escorias de altos hornos

A continuación, en la Tabla 32 se observa la dosificación utilizada respecto a los residuos industriales para cada tipo de muestra.

Tabla 32*Resultados de ensayo de asentamiento (mm)*

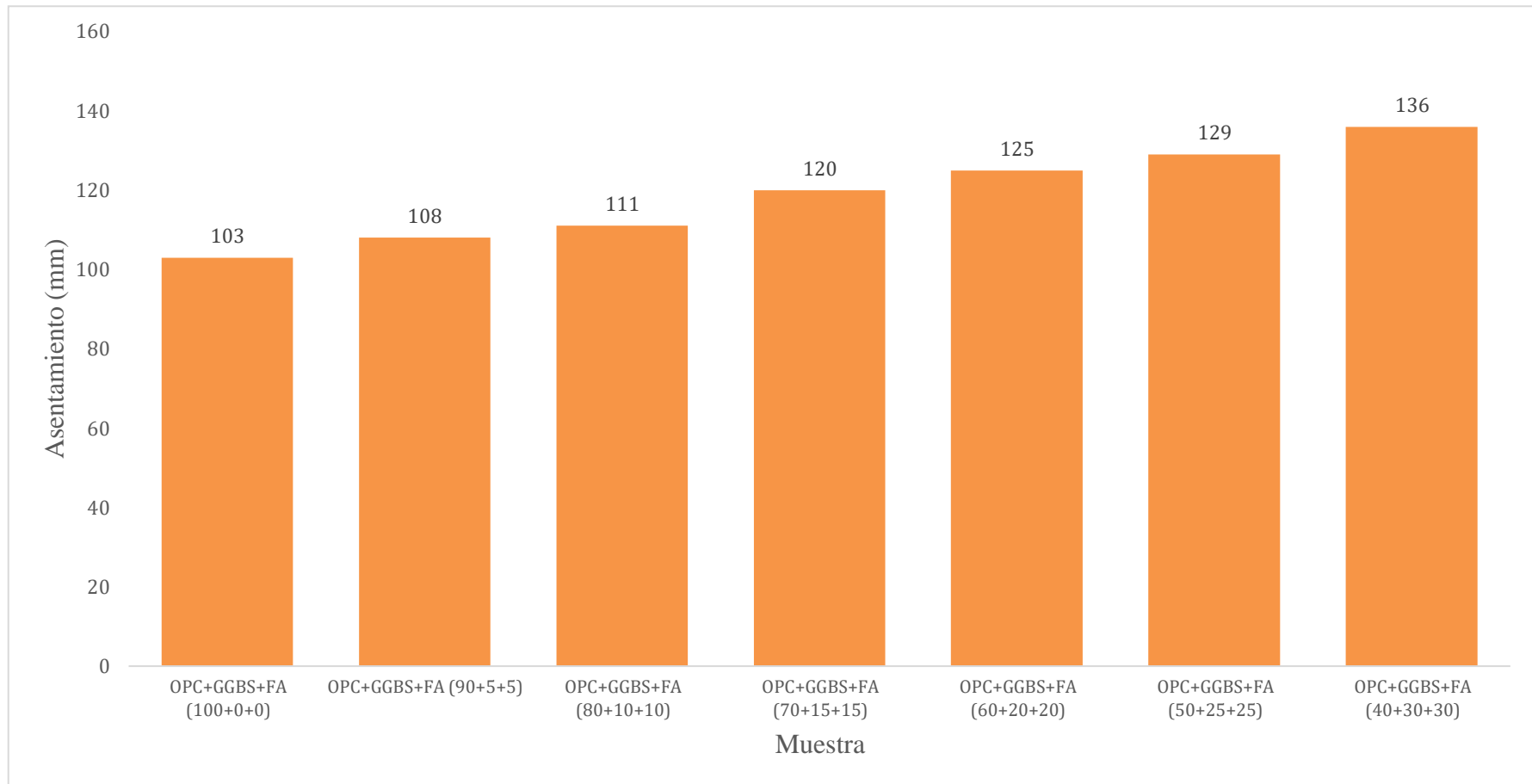
Muestra	Dosificación (%)			Asentamiento (mm)
	Cemento	FA	GBFS	
OPC+GGBS+FA (100+0+0)	100	0	0	103
OPC+GGBS+FA (90+5+5)	90	5	5	108
OPC+GGBS+FA (80+10+10)	80	10	10	111
OPC+GGBS+FA (70+15+15)	70	15	15	120
OPC+GGBS+FA (60+20+20)	60	20	20	125
OPC+GGBS+FA (50+25+25)	50	25	25	129
OPC+GGBS+FA (40+30+30)	40	30	30	136

Nota. Adaptado de Jagriti, et al (2018)

A continuación, en la Figura 16 se observa los resultados respecto al ensayo de asentamiento en mm.

Figura 16

Asentamiento (mm)



Nota. Adaptado de la Tabla 32

Azmat, et al (2019)

- Proporciones empleadas de residuos industriales:

Se utilizo 3% de FA, 2% de GGBS.

Se utilizo 2.5% de FA, 2.5% de GGBS.

Se utilizo 2% de FA, 3% de GGBS.

Se utilizo 10% de FA, 5% de GGBS.

Se utilizo 7.5% de FA, 7.5% de GGBS.

Se utilizo 5% de FA, 10% de GGBS.

Se utilizo 20% de FA, 10% de GGBS.

Se utilizo 15% de FA, 15% de GGBS.

Se utilizo 10% de FA, 10% de GGBS.

- Se mantiene una cantidad de agregado fino con un peso específico de 2.65.
- Se mantiene una cantidad de agregado grueso con un peso específico de 2.8.
- Se mantiene una absorción de agua del 2% para agregado fino.
- Se mantiene una absorción de agua del 1% para agregado grueso.
- Se mantiene una humedad superficial libre del 2% para agregado fino.
- No se mantiene una humedad superficial libre para agregado grueso.
- SF0 representa la muestra patrón con 0% de FA y 0% de GGBS. SF1 representa la muestra al 95% de cemento, 3% de FA y 2% de GGBS. SF2 representa la muestra al 95% de cemento, 2.5% de FA y 2.5% de GGBS. SF3 representa la muestra al 95% de cemento, 2% de FA y 3% de GGBS. SF4 representa la muestra al 85% de cemento, 10% de FA y 5% de GGBS. SF5 representa la muestra al 85% de cemento, 7.5% de FA y 7.5% de GGBS, SF6 representa la muestra al 85% de cemento, 5% de FA y 10% de GGBS. SF7 representa la muestra al 70% de cemento, 20% de FA y 10% de GGBS. SF8 representa la muestra al 70% de cemento, 15% de FA y 15% de GGBS. SF9 representa la muestra al 70% de cemento, 10% de FA y 20% de GGBS.

A continuación, en la Tabla 33 se observa la cantidad de los residuos industriales empleados en kg/m³.

Tabla 33*Cantidad en kg/m³ de los residuos industriales*

Muestra	Cemento(kg)	FA (kg/m ³)	GGBS (kg/m ³)
SF0	435.41	0	0
SF1	413.64	13.06	8.71
SF2	413.64	10.89	10.89
SF3	413.64	8.71	13.06
SF4	370.1	43.54	21.77
SF5	370.1	32.66	32.66
SF6	370.1	21.77	21.77
SF7	304.79	87.08	87.08
SF8	304.79	65.31	65.31
SF9	304.79	43.54	43.54

Nota. FA: Cenizas volantes, GGBS: Escorias de altos hornos

A continuación, en la Tabla 34 se observa la dosificación utilizada respecto a los residuos industriales para cada tipo de muestra.

Tabla 34*Resultados de ensayo de asentamiento(mm)*

Muestra	Dosificación (%)			Asentamiento (mm)
	Cemento	FA	GGBS	
SF0	100	0	0	70
SF1	95	3	2	85
SF2	95	2.5	2.5	80
SF3	95	2	3	85
SF4	85	10	5	100
SF5	85	7.5	7.5	90
SF6	85	5	10	95
SF7	70	20	10	90
SF8	70	15	15	75
SF9	70	10	20	80

Nota. Adaptado de Azmat, et al (2019)

A continuación, en la Figura 17 se observa los resultados respecto al ensayo de asentamiento en mm.

Figura 17

Asentamiento (mm)



Nota. Adaptado de la Tabla 34

Gururaj, et al (2015)

- Proporciones empleadas de residuos industriales:

Se utilizo 10% de FA, 20% de GGBS.

Se utilizo 10% de FA, 40% de GGBS.

Se utilizo 10% de FA, 60% de GGBS.

Se utilizo 20% de FA, 20% de GGBS.

Se utilizo 20% de FA, 40% de GGBS.

Se utilizo 20% de FA, 60% de GGBS.

Se utilizo 30% de FA, 20% de GGBS.

Se utilizo 30% de FA, 40% de GGBS.

Se utilizo 30% de FA, 60% de GGBS.

- Se utilizo cemento con gravedad especifica del 3.1, una consistencia estándar del 31%, un tiempo de fraguado inicial de 38 minutos, un tiempo de fraguado final de 480 minutos y con un porcentaje de finura del 5.3.

- Se utiliza Conplast SP430 se utiliza como superplastificante. Es un aditivo súper plastificante libre de cloruros. Se suministra como una solución marrón que se dispersa instantáneamente en agua.

- La proporción de mezcla utilizada en este estudio tiene una relación agua-cemento de 0,4 y superplastificante de 0,75%.

- Se mantiene una cantidad de agregado fino:

Con una gravedad especifica: 2.62.

Con absorción de agua: 1.43%.

- Se mantiene un agregado grueso:

Con una gravedad especifica: 2.65.

Con absorción de agua: 0.39%.

- Se mantiene una cantidad de cenizas volantes:

Con una gravedad especifica: 2.5%.

Con finura: 2.28%.

- Se mantiene una cantidad de escorias de altos hornos:

Con una gravedad especifica: 2.63%.

Con absorción de agua: 5.9%.

- CM representa la muestra patrón con 0% de FA y GGBS. M1 representa la muestra al 10% de FA y al 20% de GGBS. M2 representa la muestra al 10% de FA y al 40% de GGBS. M3 representa la muestra al 10% de FA y al 60% de GGBS. M4 representa la muestra al 20% de FA y al 20% de GGBS. M5 representa la muestra al 20% de FA y al 40% de GGBS. M6 representa la muestra al 20% de FA y al 60% de GGBS. M7 representa la muestra al 30% de FA y al 20% de GGBS. M8 representa la muestra al 30% de FA y al 40% de GGBS. M9 representa la muestra al 30% de FA y al 60% de GGBS. A continuación, en la Tabla 35 se observa la cantidad de los residuos industriales empleados en kg/m³.

Tabla 35

Cantidad en kg/m³ de los residuos industriales

Muestra	FA (kg/m ³)	GGBS (kg/m ³)	Cemento (kg)
CM	----	----	425
M1	42.5	136.8	382.5
M2	42.5	273.7	382.5
M3	42.5	410.5	382.5
M4	85	136.8	340
M5	85	273.7	340
M6	85	410.5	340
M7	127.5	136.8	297.5
M8	127.5	273.7	297.5
M9	127.5	410.5	297.5

Nota. FA: Cenizas volantes, GGBS: Escorias de altos hornos

A continuación, en la Tabla 36 se observa la dosificación utilizada respecto a los residuos industriales para cada tipo de muestra.

Tabla 36

Resultados de ensayo de asentamiento (mm)

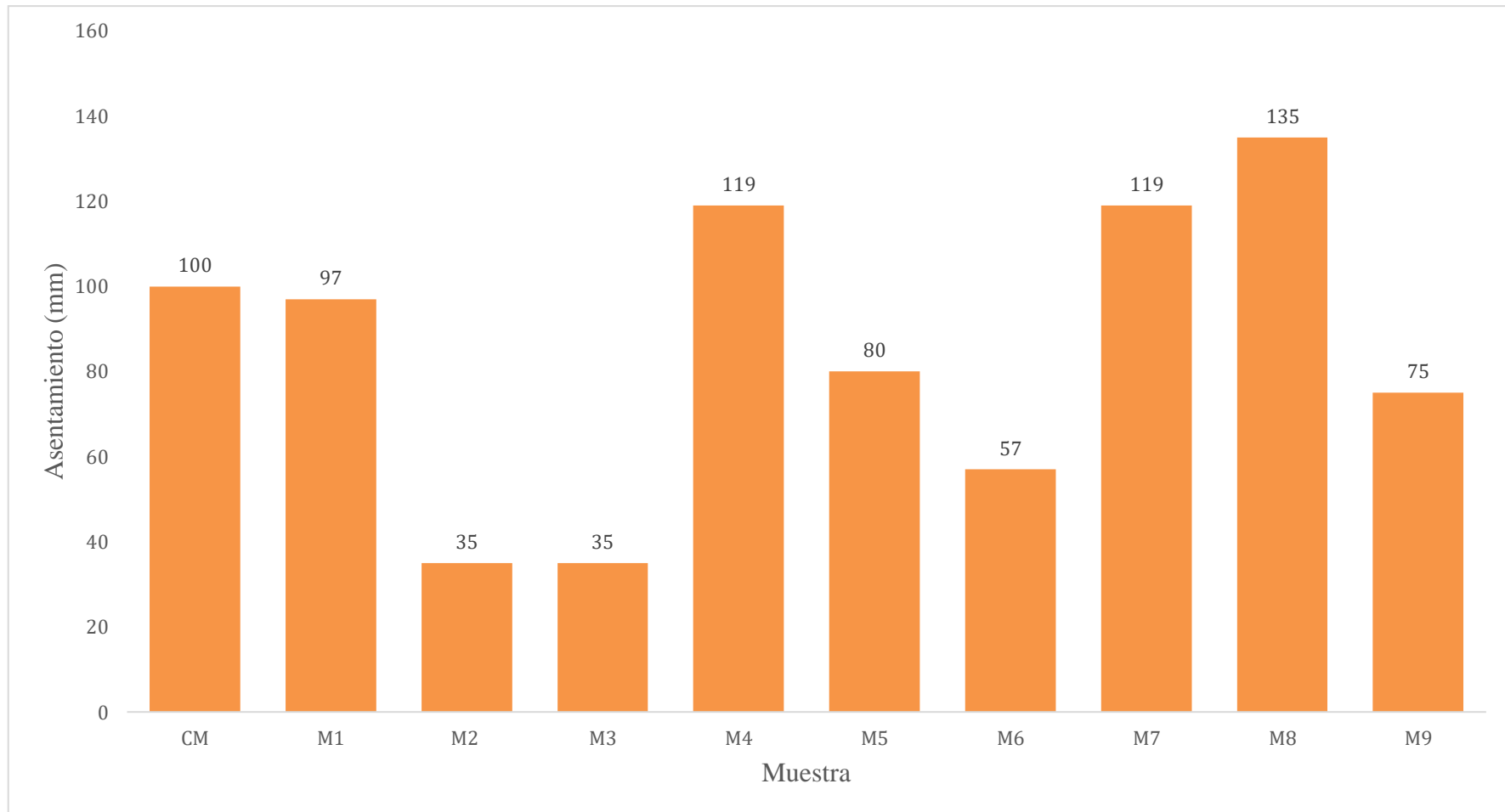
Muestra	Dosificación (%)		Asentamiento (mm)
	FA	GGBS	
CM	0	0	100
M1	10	20	97
M2	10	40	35
M3	10	60	35
M4	20	20	119
M5	20	40	80
M6	20	60	57
M7	30	20	119
M8	30	40	135
M9	30	60	75

Nota. Adaptado de Gururaj, et al (2015)

A continuación, en la Figura 18 se observa los resultados respecto al ensayo de asentamiento empleado en mm.

Figura 18

Asentamiento (mm)



Nota. Adaptado de la Tabla 36

5.2. Contrastación de Hipótesis

5.2.1. Contrastación de la primera hipótesis

Hipótesis: Al determinar el óptimo porcentaje de cenizas volantes y escorias de altos hornos incrementa la resistencia a la compresión del hormigón estructural.

Hipótesis auxiliar:

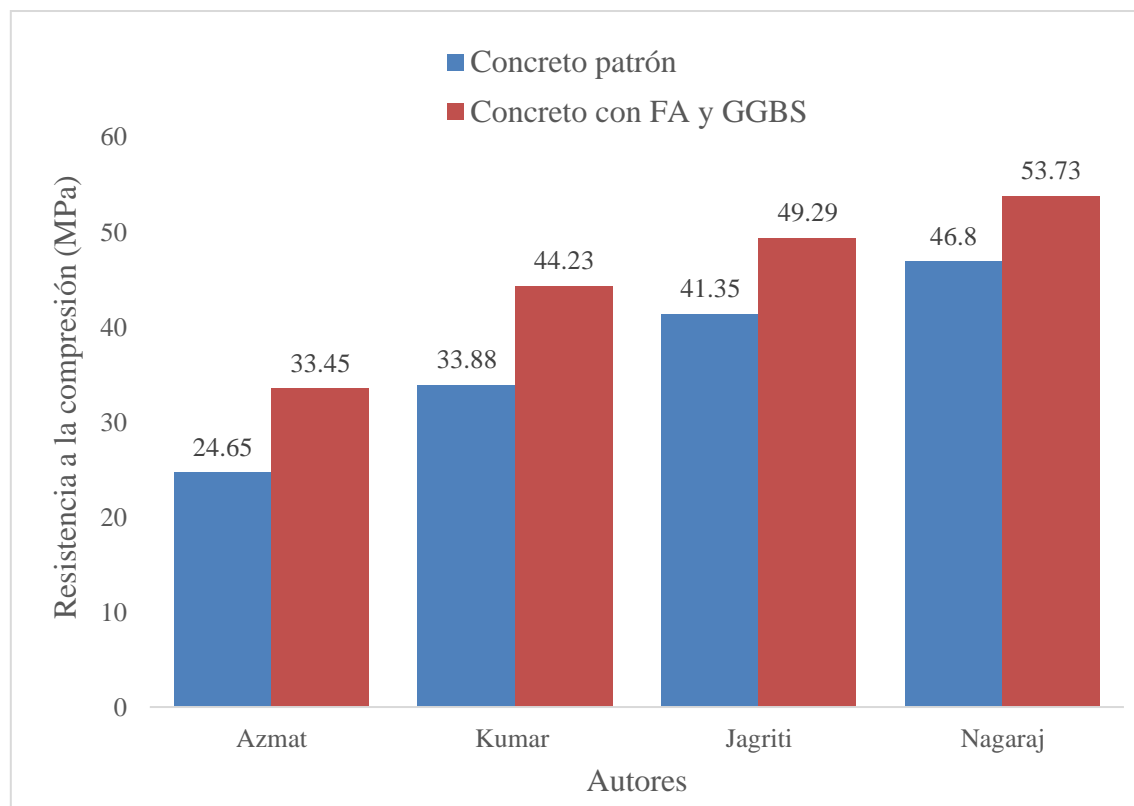
H₀: Al determinar el óptimo porcentaje de cenizas volantes y escorias de altos hornos no incrementa la resistencia a la compresión del hormigón estructural.

H₁: Al determinar el óptimo porcentaje de cenizas volantes y escorias de altos hornos si incrementa la resistencia a la compresión del hormigón estructural.

A continuación, en la Figura 19 se observa la resistencia a compresión máxima con reemplazo de los residuos industriales.

Figura 19

Resistencia a compresión máxima con reemplazo de cenizas volantes y escorias de altos hornos a los 28 días



Nota. Elaboración propia

El primer investigador Azmat, et al (2019) llevo a cabo los ensayos a compresión a edades de 7 y 28 días. Se evaluaron 10 diseños de mezcla:

1. Concreto patrón con 0% de FA y 0% GGBS.
2. 95% de cemento, 3% de FA y 2% de GGBS.
3. 95% de cemento, 2.5% de FA y 2.5% de GGBS.
4. 95% de cemento, 2% de FA y 3% de GGBS.
5. 85% de cemento, 10% de FA y 5% de GGBS.
6. 85% de cemento, 7.5% de FA y 7.5% de GGBS.
7. 85% de cemento, 5% de FA y 10% de GGBS.
8. 70% de cemento, 20% de FA y 10% de GGBS.
9. 70% de cemento, 15% de FA y 15% de GGBS.
10. 70% de cemento, 10% de FA y 20% de GGBS.

El porcentaje óptimo fue de 70% de cemento, 10% de cenizas volantes y 20% de escorias de altos hornos. El diseño patrón obtuvo a los 7 días (16.87 MPa) y a los 28 días (24.65 MPa), mientras que con 70% de cemento, 10% de cenizas volantes y 20% de escorias de altos hornos: a los 7 días (23.43 MPa) y a los 28 días (33.45 MPa). A partir de estos resultados, se obtuvo que un concreto con 70% de cemento, 10% de cenizas volantes y 20% de escorias de altos hornos a los 7 días incrementa un 38.89% y a los 28 días incrementa un 35.7% su resistencia sobre el concreto patrón.

El segundo investigador Kumar, et al (2017) llevo a cabo los ensayos a compresión a edades de 7 y 28 días. Se evaluaron 6 diseños de mezcla:

1. Concreto patrón con 0% de FA y 0% de GGBS.
2. 70% de cemento, 20% de FA y 10% de GGBS.
3. 60% de cemento, 20% de FA y 20% de GGBS.
4. 50% de cemento, 20% de FA y 30% de GGBS.
5. 40% de cemento, 20% de FA y 40% de GGBS.
6. 30% de cemento, 20% de FA y 50% de GGBS.

El porcentaje óptimo fue de 60% de cemento, 20% de cenizas volantes y 20% de escorias de altos hornos. El diseño patrón obtuvo a los 7 días (52.68 MPa) y a los 28 días (66.88 MPa), mientras que con 60% de cemento, 20% de cenizas volantes y 20% de escorias de altos hornos: a los 7 días (56.5 MPa) y a los 28 días (70.2 MPa). A partir de estos resultados, se obtuvo que un concreto con 60% de cemento, 20% de cenizas volantes y

20% de escorias de altos hornos a los 7 días incrementa un 7.25% y a los 28 días incrementa un 5.09% su resistencia sobre el concreto patrón.

El tercer investigador Jagriti, et al (2018) llevo a cabo los ensayos a compresión a edades de 7 y 28 días. Se evaluaron 6 diseños de mezcla:

1. Concreto patrón con 0% de FA y 0% de GGBS.
2. 90% de cemento, 5% de FA y 5% de GGBS.
3. 80% de cemento, 10% de FA y 10% de GGBS.
4. 70% de cemento, 15% de FA y 15% de GGBS.
5. 60% de cemento, 20% de FA y 20% de GGBS.
6. 50% de cemento, 25% de FA y 25% de GGBS.

El porcentaje óptimo fue de 70% de cemento, 15% de cenizas volantes y 15% de escorias de altos hornos. El diseño patrón obtuvo a los 7 días (30.2 MPa) y a los 28 días (41.35 MPa), mientras que con 70% de cemento, 15% de cenizas volantes y 15% de escorias de altos hornos: a los 7 días (36.25 MPa) y a los 28 días (49.29 MPa). A partir de estos resultados, se obtuvo que un concreto con 70% de cemento, 15% de cenizas volantes y 15% de escorias de altos hornos a los 7 días incrementa un 20.03% y a los 28 días incrementa un 19.20% su resistencia sobre el concreto patrón.

El cuarto investigador Nagaraj, et al (2017) llevo a cabo los ensayos a compresión a edades de 7 y 28 días. Se evaluaron 6 diseños de mezcla:

1. Concreto patrón con 0% de FA y 0% de GGBS.
2. 80% de cemento, 10% de FA y 10% de GGBS.
3. 70% de cemento, 10% de FA y 20% de GGBS.
4. 60% de cemento, 10% de FA y 30% de GGBS.
5. 50% de cemento, 10% de FA y 40% de GGBS.
6. 40% de cemento, 10% de FA y 50% de GGBS.

El porcentaje óptimo fue de 60% de cemento, 10% de cenizas volantes y 30% de escorias de altos hornos. El diseño patrón obtuvo a los 7 días (32.68 MPa) y a los 28 días (46.8 MPa), mientras que con 60% de cemento, 10% de cenizas volantes y 30% de escorias de altos hornos: a los 7 días (41.9 MPa) y a los 28 días (53.73 MPa). A partir de estos resultados, se obtuvo que un concreto con 60% de cemento, 10% de cenizas volantes y 30% de escorias de altos hornos a los 7 días incrementa un 28.21% y a los 28 días incrementa un 14.81% su resistencia sobre el concreto patrón.

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 la incorporación de residuos industriales como cenizas volantes y escorias de altos hornos incrementa la resistencia a la compresión del hormigón estructural.

5.2.2. Contrastación de la segunda hipótesis

Hipótesis: Al determinar el óptimo porcentaje de cenizas volantes y escorias de altos hornos incrementa la resistencia a la flexión del hormigón estructural.

Hipótesis auxiliar:

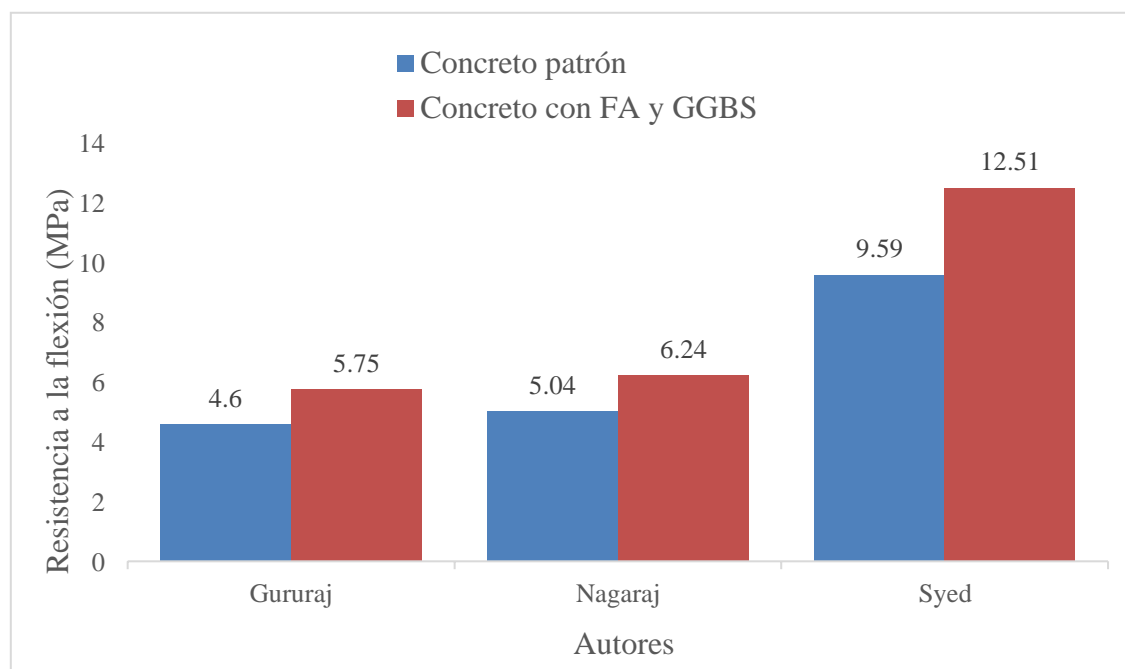
H_0 : Al determinar el óptimo porcentaje de cenizas volantes y escorias de altos hornos no incrementa la resistencia a la flexión del hormigón estructural.

H_1 : Al determinar el óptimo porcentaje de cenizas volantes y escorias de altos hornos si incrementa la resistencia a la flexión del hormigón estructural.

A continuación, en la Figura 20 se observa la resistencia a flexión máxima con reemplazo de los residuos industriales.

Figura 20

Resistencia a flexión máxima con reemplazo de cenizas volantes y escorias de altos hornos a los 28 días



Nota. Elaboración propia

El primer investigador Gururaj, et al (2015) llevo a cabo los ensayos a flexión a la edad de 28 días. Se evaluaron 10 diseños de mezcla:

1. Concreto patrón con 0% de FA y 0% de GGBS.
2. 70% de cemento, 10% de FA y 20% de GGBS.
3. 50% de cemento, 10% de FA y 40% de GGBS.
4. 30% de cemento, 10% de FA y 60% de GGBS.
5. 60% de cemento, 20% de FA y 20% de GGBS.
6. 40% de cemento, 20% de FA y 40% de GGBS.
7. 20% de cemento, 20% de FA y 60% de GGBS.
8. 50% de cemento, 30% de FA y 20% de GGBS.
9. 30% de cemento, 30% de FA y 40% de GGBS.
10. 10% de cemento, 30% de FA y 60% de GGBS.

El porcentaje óptimo fue de 50% de cemento, 10% de cenizas volantes y 40% de escorias de altos hornos. El diseño patrón obtuvo a los 28 días (4.6 MPa), mientras que con 50% de cemento, 10% de cenizas volantes y 40% de escorias de altos hornos: a los 28 días (5.75 MPa). A partir de estos resultados, se obtuvo que un concreto con 50% de cemento, 10% de cenizas volantes y 40% de escorias de altos hornos a los 28 días incrementa un 25% su resistencia sobre el concreto patrón.

El segundo investigador Nagaraj, et al (2017) llevo a cabo los ensayos a flexión a edades de 7 y 28 días. Se evaluaron 6 diseños de mezcla:

1. Concreto patrón con 0% de FA y 0% de GGBS.
2. 80% de cemento, 10% de FA y 10% de GGBS.
3. 70% de cemento, 10% de FA y 20% de GGBS.
4. 60% de cemento, 10% de FA y 30% de GGBS.
5. 50% de cemento, 10% de FA y 40% de GGBS.
6. 40% de cemento, 10% de FA y 50% de GGBS.

El porcentaje óptimo fue de 60% de cemento, 10% de cenizas volantes y 30% de escorias de altos hornos. El diseño patrón obtuvo a los 7 días (3.04 MPa) y a los 28 días (5.04 MPa), mientras que con 60% de cemento, 10% de cenizas volantes y 30% de escorias de altos hornos: a los 7 días (4.46 MPa) y a los 28 días (6.24 MPa). A partir de estos resultados, se obtuvo que un concreto con 60% de cemento, 10% de cenizas volantes y

30% de escorias de altos hornos a los 7 días incrementa un 46.71% y a los 28 días incrementa un 23.81% su resistencia sobre el concreto patrón.

El tercer investigador Syed, et al (2014) llevo a cabo los ensayos a flexión a la edad de 28 días. Se evaluaron 7 diseños de mezcla:

1. Concreto patrón con 0% de FA y 0% de GGBS.
2. 75% de cemento, 20% de FA y 5% de GGBS.
3. 70% de cemento, 20% de FA y 10% de GGBS.
4. 55% de cemento, 40% de FA y 5% de GGBS.
5. 50% de cemento, 40% de FA y 10% de GGBS.
6. 35% de cemento, 60% de FA y 5% de GGBS.
7. 30% de cemento, 60% de FA y 10% de GGBS.

El porcentaje óptimo fue de 50% de cemento, 40% de cenizas volantes y 10% de escorias de altos hornos. El diseño patrón obtuvo a los 28 días (9.59 MPa), mientras que con 50% de cemento, 40% de cenizas volantes y 10% de escorias de altos hornos: a los 28 días (12.51 MPa). A partir de estos resultados, se obtuvo que un concreto con 50% de cemento, 40% de cenizas volantes y 10% de escorias de altos hornos a los 28 días incrementa un 30.45% su resistencia sobre el concreto patrón.

Se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_1), debido a que al analizar la figura 20, se observa que la incorporación de residuos industriales como cenizas volantes y escorias de altos hornos incrementa la resistencia a la flexión del hormigón estructural.

5.2.3. Contrastación de la tercera hipótesis

Hipótesis: Al determinar el óptimo porcentaje de cenizas volantes y escorias de altos hornos incrementa la resistencia a la tracción por compresión diametral del hormigón estructural.

Hipótesis auxiliar:

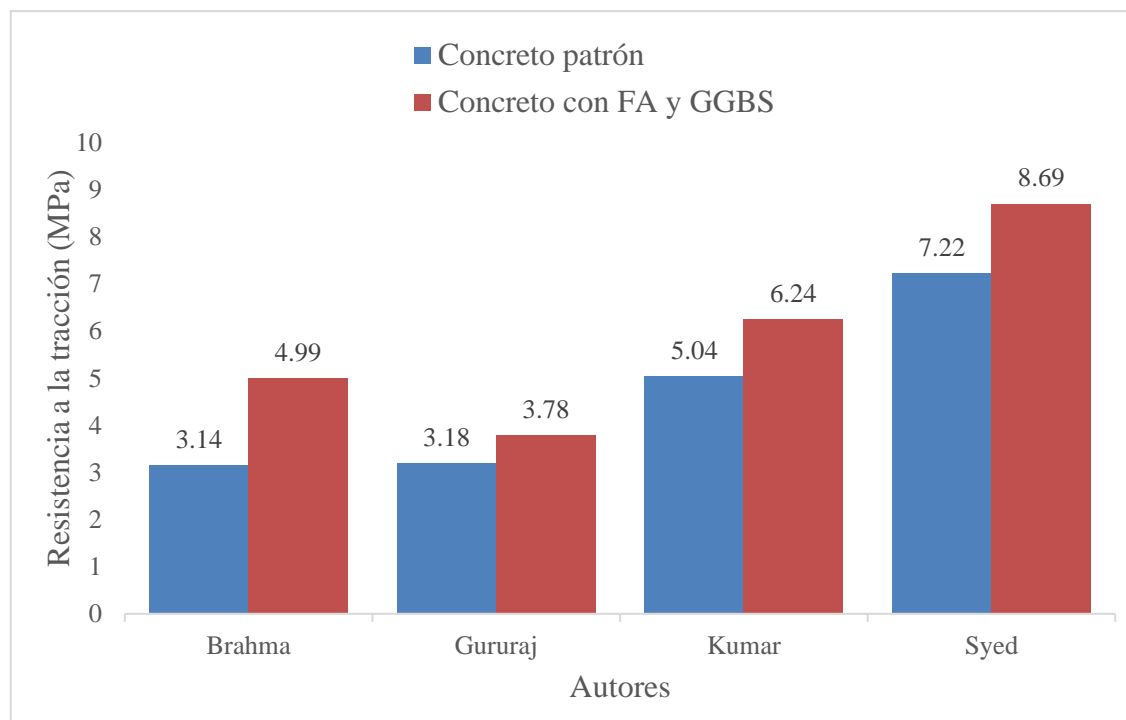
H_0 : Al determinar el óptimo porcentaje de cenizas volantes y escorias de altos hornos no incrementa la resistencia a la tracción por compresión diametral del hormigón estructural.

H_1 : Al determinar el óptimo porcentaje de cenizas volantes y escorias de altos hornos si incrementa la resistencia a la tracción por compresión diametral del hormigón estructural.

A continuación, en la Figura 21 se observa la resistencia a tracción máxima con reemplazo de los residuos industriales.

Figura 21

Resistencia a tracción máxima con reemplazo de cenizas volantes y escorias de altos hornos a los 28 días



Nota. Elaboración propia

El primer investigador Brahma, et al (2020) llevo a cabo los ensayos a tracción a la edad de 28 días. Se evaluaron 4 diseños de mezcla:

1. Concreto patrón con 0% de FA y 0% de GGBS.
2. 60% de cemento, 20% de FA y 20% de GGBS.
3. 50% de cemento, 25% de FA y 25% de GGBS.
4. 40% de cemento, 30% de FA y 30% de GGBS.

El porcentaje óptimo fue de 40% de cemento, 30% de cenizas volantes y 30% de escorias de altos hornos. El diseño patrón obtuvo a los 28 días (3.14 MPa), mientras que con 40% de cemento, 30% de cenizas volantes y 30% de escorias de altos hornos: a los 28 días (4.99 MPa). A partir de estos resultados, se obtuvo que un concreto con 40% de cemento, 30% de cenizas volantes y 30% de escorias de altos hornos a los 28 días incrementa un 58.92% su resistencia sobre el concreto patrón.

El segundo investigador Gururaj, et al (2015) llevo a cabo los ensayos a tracción a la edad de 28 días. Se evaluaron 10 diseños de mezcla:

1. Concreto patrón con 0% de FA y 0% de GGBS.
2. 70% de cemento, 10% de FA y 20% de GGBS.
3. 50% de cemento, 10% de FA y 40% de GGBS.
4. 30% de cemento, 10% de FA y 60% de GGBS.
5. 60% de cemento, 20% de FA y 20% de GGBS.
6. 40% de cemento, 20% de FA y 40% de GGBS.
7. 20% de cemento, 20% de FA y 60% de GGBS.
8. 50% de cemento, 30% de FA y 20% de GGBS.
9. 30% de cemento, 30% de FA y 40% de GGBS.
10. 10% de cemento, 30% de FA y 60% de GGBS.

El porcentaje óptimo fue de 50% de cemento, 10% de cenizas volantes y 40% de escorias de altos hornos. El diseño patrón obtuvo a los 28 días (3.18 MPa), mientras que con 50% de cemento, 10% de cenizas volantes y 40% de escorias de altos hornos: a los 28 días (3.78 MPa). A partir de estos resultados, se obtuvo que un concreto con 50% de cemento, 10% de cenizas volantes y 40% de escorias de altos hornos a los 28 días incrementa un 18.87% su resistencia sobre el concreto patrón.

El tercer investigador Kumar, et al (2017) llevo a cabo los ensayos a tracción a edades de 7 y 28 días. Se evaluaron 6 diseños de mezcla:

1. Concreto patrón con 0% de FA y 0% de GGBS.
2. 80% de cemento, 10% de FA y 10% de GGBS.
3. 70% de cemento, 10% de FA y 20% de GGBS.
4. 60% de cemento, 10% de FA y 30% de GGBS.
5. 50% de cemento, 10% de FA y 40% de GGBS.
6. 40% de cemento, 10% de FA y 50% de GGBS.

El porcentaje óptimo fue de 60% de cemento, 10% de cenizas volantes y 30% de escorias de altos hornos. El diseño patrón obtuvo a los 7 días (3.04 MPa) y a los 28 días (5.04 MPa), mientras que con 60% de cemento, 10% de cenizas volantes y 30% de escorias de altos hornos: a los 7 días (4.46 MPa) y a los 28 días (6.24 MPa). A partir de estos resultados, se obtuvo que un concreto con 60% de cemento, 10% de cenizas volantes y 30% de escorias de altos hornos a los 7 días incrementa un 46.71% y a los 28 días incrementa un 23.81% su resistencia sobre el concreto patrón.

El cuarto investigador Syed, et al (2014) llevo a cabo los ensayos a tracción a la edad de 28 días. Se evaluaron 7 diseños de mezcla:

1. Concreto patrón con 0% de FA y 0% de GGBS.
2. 75% de cemento, 20% de FA y 5% de GGBS.
3. 70% de cemento, 20% de FA y 10% de GGBS.
4. 55% de cemento, 40% de FA y 5% de GGBS.
5. 50% de cemento, 40% de FA y 10% de GGBS.
6. 35% de cemento, 60% de FA y 5% de GGBS.
7. 30% de cemento, 60% de FA y 10% de GGBS.

El porcentaje óptimo fue de 50% de cemento, 40% de cenizas volantes y 10% de escorias de altos hornos. El diseño patrón obtuvo a los 28 días (7.22 MPa), mientras que con 50% de cemento, 40% de cenizas volantes y 10% de escorias de altos hornos: a los 28 días (8.69 MPa). A partir de estos resultados, se obtuvo que un concreto con 50% de cemento, 40% de cenizas volantes y 10% de escorias de altos hornos a los 28 días incrementa un 20.36% su resistencia sobre el concreto patrón.

Se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_1), debido a que al analizar la figura 21, se observa que la incorporación de residuos industriales como cenizas volantes y escorias de altos hornos incrementa la resistencia a la tracción por compresión diametral del hormigón estructural.

5.2.4. Contrastación de la cuarta hipótesis

Hipótesis: Al determinar el óptimo porcentaje de cenizas volantes y escorias de altos hornos incrementa el asentamiento hormigón estructural.

Hipótesis auxiliar:

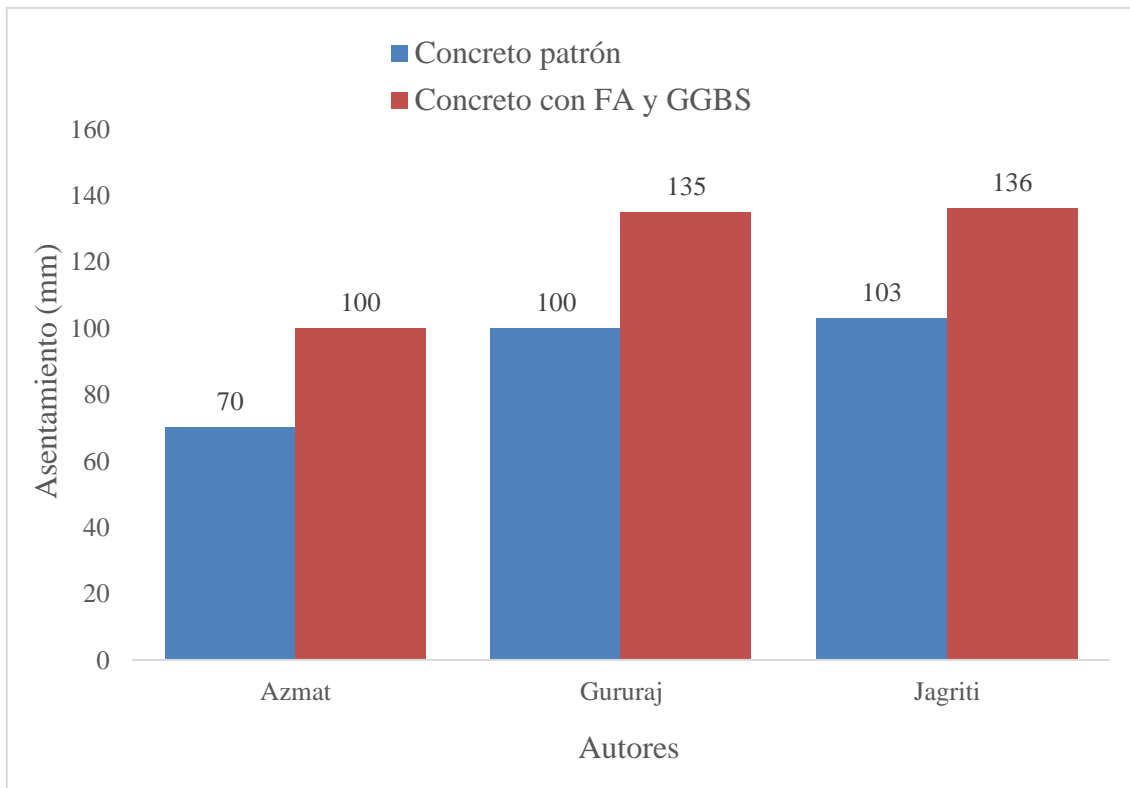
H_0 : Al determinar el óptimo porcentaje de cenizas volantes y escorias de altos hornos no incrementa el asentamiento del hormigón estructural.

H_1 : Al determinar el óptimo porcentaje de cenizas volantes y escorias de altos hornos si incrementa el asentamiento del hormigón estructural.

A continuación, en la Figura 22 se observa el asentamiento máximo con reemplazo de los residuos industriales.

Figura 22

Asentamiento máximo con reemplazo de cenizas volantes y escorias de altos hornos



Nota. Elaboración propia

El primer investigador Azmat, et al (2019) llevo a cabo los ensayos de asentamiento. Se evaluaron 10 diseños de mezcla:

1. Concreto patrón con 0% de FA y 0% de GGBS.
2. 95% de cemento, 3% de FA y 2% de GGBS.
3. 95% de cemento, 2.5% de FA y 2.5% de GGBS.
4. 95% de cemento, 2% de FA y 3% de GGBS.
5. 85% de cemento, 10% de FA y 5% de GGBS.
6. 85% de cemento, 7.5% de FA y 7.5% de GGBS.
7. 85% de cemento, 5% de FA y 10% de GGBS.
8. 70% de cemento, 20% de FA y 10% de GGBS.
9. 70% de cemento, 15% de FA y 15% de GGBS.
10. 70% de cemento, 10% de FA y 20% de GGBS.

El porcentaje óptimo fue de 85% de cemento, 10% de cenizas volantes y 5% de escorias de altos hornos. El diseño patrón obtuvo (70 mm), mientras que con 85% de cemento,

10% de cenizas volantes y 5% de escorias de altos hornos: (100 mm). A partir de estos resultados, se obtuvo que un concreto con 85% de cemento, 10% de cenizas volantes y 5% de escorias de altos hornos incrementa un 42.86% su asentamiento sobre el concreto patrón.

El segundo investigador Gururaj, et al (2015) llevo a cabo los ensayos de asentamiento. Se evaluaron 10 diseños de mezcla:

1. Concreto patrón con 0% de FA y 0% de GGBS.
2. 70% de cemento, 10% de FA y 20% de GGBS.
3. 50% de cemento, 10% de FA y 40% de GGBS.
4. 30% de cemento, 10% de FA y 60% de GGBS.
5. 60% de cemento, 20% de FA y 20% de GGBS.
6. 40% de cemento, 20% de FA y 40% de GGBS.
7. 20% de cemento, 20% de FA y 60% de GGBS.
8. 50% de cemento, 30% de FA y 20% de GGBS.
9. 30% de cemento, 30% de FA y 40% de GGBS.
10. 10% de cemento, 30% de FA y 60% de GGBS.

El porcentaje óptimo fue de 30% de cemento, 30% de cenizas volantes y 40% de escorias de altos hornos. El diseño patrón obtuvo (100 mm), mientras que con 30% de cemento, 30% de cenizas volantes y 40% de escorias de altos hornos: (135 mm). A partir de estos resultados, se obtuvo que un concreto con 30% de cemento, 30% de cenizas volantes y 40% de escorias de altos hornos incrementa un 35% su asentamiento sobre el concreto patrón.

El tercer investigador Jagriti, et al (2018) llevo a cabo los ensayos de asentamiento. Se evaluaron 6 diseños de mezcla:

1. Concreto patrón con 0% de FA y 0% de GGBS.
2. 90% de cemento, 5% de FA y 5% de GGBS.
3. 80% de cemento, 10% de FA y 10% de GGBS.
4. 70% de cemento, 15% de FA y 15% de GGBS.
5. 60% de cemento, 20% de FA y 20% de GGBS.
6. 50% de cemento, 25% de FA y 25% de GGBS.

El porcentaje óptimo fue de 40% de cemento, 30% de cenizas volantes y 30% de escorias de altos hornos. El diseño patrón obtuvo (103 mm), mientras que con 40% de cemento,

30% de cenizas volantes y 30% de escorias de altos hornos: (136 mm). A partir de estos resultados, se obtuvo que un concreto con 40% de cemento, 30% de cenizas volantes y 30% de escorias de altos hornos incrementa un 32.04% su asentamiento sobre el concreto patrón.

Se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_1), debido a que al analizar la figura 22, se observa que la incorporación de residuos industriales como cenizas volantes y escorias de altos hornos incrementa el asentamiento del hormigón estructural.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el estudio realizado se encontraron diversas fuentes académicas, seleccionando las investigaciones basadas en la resistencia a la compresión, a la flexión, a la tracción por compresión diametral y el asentamiento, encontrando información como la dosificación utilizada, diferentes porcentajes de reemplazo, composición química de los materiales, etc.

1. Con los resultados obtenidos se puede observar que utilizando las cenizas volantes y escorias de altos hornos mejora la resistencia a compresión, lo que se puede constatar en las fuentes consultadas: Nagaraj (2017) emplea 10% de FA y GGBS en un rango del 10% al 50%; Jagriti (2018) emplea FA y GGBS en un rango del 5% al 25%; Azmat (2019) emplea FA Y GGBS en un rango del 2% al 20% y Kumar (2017) emplea 20% de FA y GGBS en un rango del 10% al 50%. En donde la mayoría de los porcentajes empleados mejoraron la resistencia a compresión en comparación con los resultados del modelo patrón, estos resultados fueron analizados a los 7 y 28 días.
2. Con los resultados obtenidos se puede observar que utilizando las cenizas volantes y escorias de altos hornos mejora la resistencia a flexión, lo que se puede constatar en las fuentes consultadas: Nagaraj (2017) emplea 10% de FA y GGBS en un rango del 10% al 50%; Syed (2014) emplea FA en un rango del 20% al 60% y GGBS en un rango del 5% al 10%; Gururaj (2015) emplea FA en un rango del 10% al 30% y GGBS en un rango del 20% al 60%. En donde la mayoría de los porcentajes empleados mejoraron la resistencia a flexión en comparación con los resultados del modelo patrón, estos resultados fueron analizados en la primera investigación a los 7 y 28 días, mientras que para los otros dos artículos solo a los 28 días.
3. Con los resultados obtenidos se puede observar que utilizando las cenizas volantes y escorias de altos hornos mejora la resistencia a la tracción por compresión diametral, lo que se puede constatar en las fuentes consultadas: Kumar (2017) emplea 20% de FA y GGBS en un rango del 10% al 50%; Syed (2014) emplea FA en un rango del 20% al 60% y GGBS en un rango del 5% al 10%; Gururaj (2015) emplea FA en un rango del 10% al 30% y GGBS en un rango del 20% al 60%, Brahma (2020) emplea FA y GGBS en un rango del 20% al 30%. En donde la mayoría de los porcentajes

empleados mejoraron la resistencia a la tracción por compresión diametral en comparación con los resultados del modelo patrón, estos resultados fueron analizados en la primera investigación a los 7 y 28 días, mientras que para los otros tres artículos solo a los 28 días.

4. Con los resultados obtenidos se puede observar que utilizando las cenizas volantes y escorias de altos hornos incrementa el asentamiento, lo que se puede constatar en las fuentes consultadas: Jagriti (2018) emplea FA y GGBS en un rango del 5% al 25%; Azmat (2019) emplea FA Y GGBS en un rango del 2% al 20%; Gururaj (2015) emplea FA en un rango del 10% al 30% y GGBS en un rango del 20% al 60%. En donde la mayoría de los porcentajes empleados incrementa el asentamiento en comparación con los resultados del modelo patrón.

CONCLUSIONES

1. La utilización de cenizas volantes y escorias de altos hornos es una opción viable porque mejora las propiedades físico-mecánicas como la resistencia a la compresión, a la flexión, a la tracción por compresión diametral y el asentamiento, se muestran los resultados al mayor rendimiento a los 28 días, El óptimo porcentaje para incrementar las propiedades físico-mecánicas del hormigón estructural estuvo en un rango de 5% al 40% de cenizas volantes (FA) y escorias de altos hornos (GBSS), el 10% de FA y 20% de GGBS incrementó en un 35.7% la resistencia a la compresión, el 40% de FA y 10% GGBS incrementó en un 30.45% la resistencia a la flexión, el 30% de FA y 30% de GGBS incrementó en un 58.92% la resistencia a la tracción por compresión diametral, el 10% de FA y 5% de GGBS incrementó en un 42.86% el asentamiento. Para obtener un efectivo incremento en las propiedades físico-mecánicas del hormigón estructural es necesario utilizar FA y GBSS entre los porcentajes mencionados, obteniendo beneficios ambientales y estructurales en las obras civiles.
2. De los resultados obtenidos de la Figura 19 se concluye que al utilizar cenizas volantes y escorias de altos hornos mejora la resistencia a la compresión en comparación con los resultados de la mezcla patrón. A los 28 días Nagaraj (2017) al emplear 60% de cemento, 10% de cenizas volantes y 30% de escorias de altos hornos aumentó un 6.93 MPa representando un 14.81% de incremento con respecto a la mezcla patrón, Jagriti (2018) al emplear 70% de cemento, 15% de cenizas volantes y 15% de escorias de altos hornos aumentó 7.94 MPa representando un 19.20% de incremento con respecto a la mezcla patrón, Azmat (2019) al emplear 70% de cemento, 10% de cenizas volantes y 20% de escorias de altos hornos aumentó 8.8 MPa representando un 35.7% de incremento con respecto a la mezcla patrón, Kumar (2017) al emplear 50% de cemento, 20% de cenizas volantes y 20% de escorias de altos hornos aumentó 3.32 MPa representando un 5.09% de incremento con respecto a la mezcla patrón.
3. De los resultados obtenidos de la Figura 20 se concluye que al utilizar cenizas volantes y escorias de altos hornos mejora la resistencia a la flexión en comparación con los resultados de la mezcla patrón. A los 28 días Nagaraj (2017) al emplear 60% de cemento, 10% de cenizas volantes y 30% de escorias de altos hornos aumentó un 1.2 MPa representando un 23.81% de incremento con respecto a la mezcla patrón, Syed

(2014) al emplear 50% de cemento, 40% de cenizas volantes y 10% de escorias de altos hornos aumentó 2.92 MPa representando un 30.45% de incremento con respecto a la mezcla patrón, Gururaj (2015) al emplear 50% de cemento, 10% de cenizas volantes y 40% de escorias de altos hornos aumentó 1.15 MPa representando un 25% de incremento con respecto a la mezcla patrón.

4. De los resultados obtenidos de la Figura 21 se concluye que al utilizar cenizas volantes y escorias de altos hornos mejora la resistencia a la tracción por compresión diametral en comparación con los resultados de la mezcla patrón. A los 28 días Kumar (2017) al emplear 60% de cemento, 10% de cenizas volantes y 30% de escorias de altos hornos aumentó un 1.2 MPa representando un 23.81% de incremento con respecto a la mezcla patrón, Syed (2014) al emplear 50% de cemento, 40% de cenizas volantes y 10% de escorias de altos hornos aumentó 1.47 MPa representando un 20.36% de incremento con respecto a la mezcla patrón, Gururaj (2015) al emplear 50% de cemento, 10% de cenizas volantes y 40% de escorias de altos hornos aumentó 0.6 MPa representando un 18.87% de incremento con respecto a la mezcla patrón, Brahma (2020) al emplear 40% de cemento, 30% de cenizas volantes y 30% de escorias de altos hornos aumentó 1.85 MPa representando un 58.92% de incremento con respecto a la mezcla patrón.
5. De los resultados obtenidos de la Figura 22 se concluye que al utilizar cenizas volantes y escorias de altos hornos incrementa el asentamiento en comparación con los resultados de la mezcla patrón. Jagriti (2018) al emplear 40% de cemento, 30% de cenizas volantes y 30% de escorias de altos hornos aumentó el asentamiento en 33mm representando un 32.04% de incremento con respecto a la mezcla patrón, Azmat (2019) al emplear 85% de cemento, 10% de cenizas volantes y 5% de escorias de altos hornos aumentó el asentamiento en 30mm representando un 42.86% de incremento con respecto a la mezcla patrón, Gururaj (2015) al emplear 30% de cemento, 30% de cenizas volantes y 40% de escorias de altos hornos aumentó el asentamiento en 35mm representando un 35% de incremento con respecto a la mezcla patrón.

RECOMENDACIONES

1. En el caso de la resistencia a la compresión se recomienda utilizar los residuos industriales mientras que no sobrepasen el 50% de la muestra en sí. Del mismo modo se observó que cuando aumentan las cenizas volantes la resistencia tiende a disminuir y cuando aumentan las escorias de altos hornos se aumenta. Por tanto, se recomienda trabajar con un mayor porcentaje de escorias de altos hornos que de cenizas volantes.
2. Para la resistencia a la flexión se recomienda utilizar los residuos industriales mientras que no sobrepasen el 50% de la muestra en sí. En este caso se observó que con ambos porcentajes de residuos la resistencia aumenta sin embargo se obtiene un mayor valor a medida que hay mayor porcentaje de cenizas volantes por tanto se recomienda para un valor más óptimo utilizar mayor cantidad de ceniza volante.
3. En el caso de la resistencia a tracción por compresión diametral se plantea utilizar cenizas volantes y escorias de altos hornos como reemplazo parcial del cemento en un rango de 10% al 40%, sabiendo por medio de esta investigación que la resistencia a la tracción por compresión diametral incrementa hasta un 30%. A partir del 40% de cenizas volantes y escorias de altos hornos no es recomendable el uso, ya que reduce la resistencia a la tracción por compresión diametral.
4. En el caso del asentamiento se observó que a medida que aumenta el contenido de escorias de altos hornos con la combinación de las cenizas volantes, el asentamiento disminuye. Por tanto, se sugiere que se aumente el contenido de cenizas volantes, logrando de esta manera mejorar la trabajabilidad del hormigón reemplazado en cierto porcentaje por los residuos industriales trabajados.
5. La presente tesis es no experimental por lo cual no se realizó los ensayos correspondientes en laboratorios. Por tal motivo, la investigación queda como antecedente para futuras investigaciones relacionadas al tema. También se promueve la aplicación del uso de residuos industriales como las cenizas volantes y escorias de altos hornos en la elaboración de concretos, teniendo beneficios estructurales y ambientales.

REFERENCIAS

- Abanto Castillo, F. (2009). *Tecnología del Concreto* (segunda ed.).
- ACI-211. (s.f.). *Tablas de Dosificación ACI 211 - Diseño de mezclas*.
- ACI318-14. (2015). *Requisitos del Código de Construcción para Concreto Estructural*.
- Agudelo Moreno, A. A. (2017). Análisis de la resistencia a la compresión de mezclas de concreto con adición de ceniza volante de Termopaipa. <http://hdl.handle.net/10983/14479>
- ASTM C 595. (s.f.). *Norma Americana*.
- Azmat, et al. (2019). Efectos de GGBS y cenizas volantes sobre la resistencia a la compresión por reemplazo parcial de hormigón de cemento. *Revista de ingeniería civil*, 5(4).
- Behar, R. (2006). Prueba de resistencia a la compresión del concreto. Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto,. págs. 2(1), 17-1.
- Brahma, et al. (2020). La investigación experimental del hormigón con diversos materiales cementicios complementarios y fibra de vidrio. *REVISTA INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA*, 9(3).
- Chavarry, et al. (2020). Hormigón reforzado con vidrio molido para controlar grietas y fisuras por contracción plástica.
- Corcuera, A. E. (2018). *Impacto en la resistencia a la compresión y permeabilidad del concreto a partir de la sustitución de la piedra por ecogravilla de escoria de acero, Trujillo-2018* [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte, Trujillo-Perú]. <https://hdl.handle.net/11537/13755>
- Cusihuallpa Mamani, R. E. (2017). *Comparación entre el módulo de elasticidad, en tracción y compresión paralela a las fibras; de especies de madera latifoliada, tipo A, B y C comercializadas en la provincia del Cusco* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Antonio de Abad, Cusco-Perú].
- Gururaj, et al. (2015). Un estudio sobre el efecto de la inclusión de cenizas volantes como reemplazo parcial de cemento y granulado de escoria de alto horno como reemplazo parcial de arena en concreto. *Revista internacional de investigación y tecnología de ingeniería (IJERT)*, 4.

- Imbabi, et al. (2012). Tendencias y desarrollo en la tecnología del cemento verde y del hormigón. *Revista internacional de entorno construido sostenible*, 195.
- Jagriti, et al. (2018). Efecto de la adición y reemplazo de GGBS y Ceniza Volante con cemento en hormigón. *Revista internacional de investigación y tecnología de ingeniería (IJERT)*.
- Kumar, et al. (2017). Investigación experimental en hormigón de alta resistencia utilizando ggbs, flyash y sp-430 super plastificante. *Revista Internacional de Ingeniería Civil y Tecnología (IJCIET)*, 8(9), 506-511.
- Hernández, et al. (2018). Resistencia a la compresión del concreto. pág. 1.
- Mandal, P. (s.f.). Effects of GGBFS and KSPS on Compressive strength of concrete. . *Kautilya International Journal of Engineering, Science and Management*, 54-57.
- Mariluz Pajuelo, M. V. (2018). *Uso de las cenizas volantes de carbón excedentes de la central termoeléctrica Ilo21 - Moquegua como adición para mejorar las propiedades del concreto: Resistencia a la compresión, absorción, manejabilidad y temperatura* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Santa, Chimbote-Perú].
<http://repositorio.uns.edu.pe/handle/UNS/3288>
- Ministerio de Vivienda, C. (2020). Norma de Concreto Armado E060.
- Nagaraj, et al. (2017). Investigaciones experimentales de alta fuerza de concreto utilizando ggbs y fly ash. *Revista Internacional de Ciencias de la Investigación e Ingeniería Avanzada*, 170-181.
- Norma E-060. (2019). Reglamento nacional de edificaciones de Concreto Armado.
- NRMCA. (s.f.). Ensayo ASTM C78. Cargas en los puntos tercios.
- NTP. (s.f.). ASTM- C 150-99.
- NTP-339. (2012). Concreto. Concreto Premezclado. 144.
- NTP339.047. (2016). *Hormigón (Concreto). Definiciones y terminología relativas al hormigón y agregados*.
<https://dokumen.tips/documents/ntp-339047-2006.html>
- Rehman, et al. (2020). Comportamiento físico-mecánico y durabilidad de agregados livianos. *Construcción y Materiales de construcción*, 2.
- Rivva López, E. (1992). Tecnología del concreto: Diseño de mezclas.

- Robayo, et al. (2021). Propiedades de ingeniería de concretos híbridos activados alcalinamente basados en altos contenidos de ceniza volante: un análisis a largas edades. *UIS Ingenierías.*, 1-18.
- Siddique, R. (2008). Materiales de Residuos y Subproductos en el Concreto. *Ingeniería de Materiales (ENG.MAT.)*.
- Syed, et al. (2014). Estudio Experimental de Reemplazo Parcial de Cemento por Cenizas Volantes y GGBS. *IJSRD - Revista Internacional de Investigación y Desarrollo Científico*, 2(07).
- Torre, A. (2004). *Curso basico de tecnologia del concreto*. Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Valencia-Saavedra, W. G.-R. (2018). Resistencia química de concretos de activación alcalina ceniza volante/ escoria: Sulfatos y ácidos. *Informador Técnico*, 82(1), 67-77.
<https://doi.org/10.23850/22565035.1351>
- Xu, et al. (2002). Geopolimerización de minerales múltiples. *Ingeniería de Minerales*, 1131-1139.
- Yáñez Valdés, L. A. (2019). *Tecnologías de mejoramiento de la ceniza volante con altos contenidos de carbón y sus beneficios al utilizar ceniza mejorada como adición al cemento portland* [Tesis de pregrado, Universidad de Chile, Santiago-Chile].
<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/171796>

ANEXOS

Anexo A: Matriz de Consistencia	95
Anexo B: Investigaciones Consultadas	96

Anexo A: Matriz de Consistencia

Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Variable Independiente	Indicadores
<p>¿En qué medida las cenizas volantes y escorias de altos hornos influyen en las propiedades físico-mecánicas del hormigón estructural?</p>	<p>Determinar los residuos industriales como cenizas volantes y escorias de altos hornos para mejorar las propiedades físico-mecánicas del hormigón estructural.</p>	<p>Al determinar el óptimo porcentaje de cenizas volantes y escorias de altos hornos mejoran las propiedades físico-mecánicas del hormigón estructural.</p>	<p>Cenizas volantes y escorias de altos hornos</p>	<p>Porcentaje de cenizas volantes y escorias de altos hornos</p>
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específica	Variable Dependiente	Indicadores
<p>a) ¿En qué medida el porcentaje de cenizas volantes y escorias de altos hornos influyen en la resistencia a la compresión del hormigón estructural?</p>	<p>a) Determinar el óptimo porcentaje de cenizas volantes y escorias de altos hornos para incrementar la resistencia a la compresión del hormigón estructural.</p>	<p>a) Al determinar el óptimo porcentaje de cenizas volantes y escorias de altos hornos incrementa la resistencia a la compresión del hormigón estructural.</p>	<p>Propiedades físico-mecánicas del hormigón estructural</p>	<p>Resistencia a la compresión</p>
<p>b) ¿En qué medida el porcentaje de cenizas volantes y escorias de altos hornos influyen en la resistencia a la flexión del hormigón estructural?</p>	<p>b) Determinar el óptimo porcentaje de cenizas volantes y escorias de altos hornos para incrementar la resistencia a la flexión del hormigón estructural.</p>	<p>b) Al determinar el óptimo porcentaje de cenizas volantes y escorias de altos hornos incrementa la resistencia a la flexión del hormigón estructural.</p>		<p>Resistencia a la flexión</p>
<p>c) ¿En qué medida el porcentaje de cenizas volantes y escorias de altos hornos influyen en la resistencia a la tracción por compresión diametral del hormigón estructural?</p>	<p>c) Determinar el óptimo porcentaje de cenizas volantes y escorias de altos hornos para incrementar la resistencia a la tracción por compresión diametral del hormigón estructural.</p>	<p>c) Al determinar el óptimo porcentaje de cenizas volantes y escorias de altos hornos incrementa la resistencia a la tracción por compresión diametral del hormigón estructural.</p>		<p>Resistencia a la tracción por compresión diametral</p>
<p>d) ¿En qué medida el porcentaje de cenizas volantes y escorias de altos hornos influyen en el asentamiento del hormigón estructural?</p>	<p>d) Determinar el óptimo porcentaje de cenizas volantes y escorias de altos hornos para incrementar el asentamiento del hormigón estructural.</p>	<p>d) Al determinar el óptimo porcentaje de cenizas volantes y escorias de altos hornos incrementa el asentamiento del hormigón estructural.</p>		<p>Asentamiento</p>

Anexo B: Investigaciones Consultadas

Autor	Año	Título	Tipo	URL
K Nagaraj, P Himabindu	2017	Experimental investigations of high strength concrete using GGBS & Fly ash	Artículo	https://www.ijrsae.net/wp-content/uploads/2020/12/V2-118-23.pdf
Jagriti Gupta, Nandeshwar Lata, Sagar Mittal	2018	Effect of addition and replacement of GGBS and Fly ash with cement in concrete	Artículo	https://www.ijert.org/effect-of-addition-and-replacement-of-ggbs-and-flyash-with-cement-in-concrete
Azmat Ali Phul, Muhammad Jaffar Memon, Syed Naveed Raza Shah, Abdul Razzaque Sandhu	2019	GGBS and Fly ash effects on compressive strength by partial replacement of cement concrete	Artículo	https://civilejournal.org/index.php/cej/article/view/1365
M Prathap Kumar, Vaddi Srinivas, M Zoheb Nawaz	2017	Experimental investigation on high strength concrete using GGBS, Fly ash & SP-430 Super plasticizer	Artículo	https://iaeme.com/MasterAdmin/Journal_uploads/IJCIE/T/VOLUME_8_ISSUE_9/IJCIE_T_08_09_059.pdf
Syed Asif Ali, Shaik Abdullah	2014	Experimental study on partial replacement of cement by Fly ash and GGBS	Artículo	https://www.academia.edu/15751843/Experimental_Study_on_Partial_Replacement_of_Cement_by_Flyash_and_GGBS
Gururaj T, Ajith B T, Chandrashekara A	2015	A study on the effect of inclusion of fly ash as partial replacement of cement and granulated blast furnace slag as partial replacement of sand in concrete	Artículo	https://www.ijert.org/a-study-on-the-effect-of-inclusion-of-fly-ash-as-partial-replacement-of-cement-and-granulated-blast-furnace-slag-as-partial-replacement-of-sand-in-concrete
K J. Brahma Chari, V. Ranga Rao	2020	The experimental investigation of concrete with various supplementary cementitious materials and glass fiber	Artículo	https://www.ijstr.org/final-print/mar2020/The-Experimental-Investigation-Of-Concrete-With-Various-Supplementary-Cementitious-Materials-And-Glass-Fiber.pdf