



UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Cenizas volantes para mejorar las propiedades mecánicas del hormigón
estructural

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTORES

Martinez Burgos, Eduardo Gabriel
ORCID: 0000-0002-7913-1825

Vega Lema, Raúl Pelayo
ORCID: 0000-0001-8277-8542

ASESOR

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

Lima, Perú

2022

Metadatos Complementarios

Datos de los autores

Martinez Burgos, Eduardo Gabriel

DNI: 47222246

Vega Lema, Raúl Pelayo

DNI: 42697484

Datos de asesor

Chavarría Reyes, Liliana Janet

DNI: 25481792

Datos del jurado

JURADO 1

Donayre Córdova, Oscar Eduardo

DNI: 06162939

ORCID: 0000-0002-5142-3789

JURADO 2

Chavarry Vallejos, Carlos Magno

DNI: 07410234

ORCID: 0000-0003-0512-8954

JURADO 3

Torres Chung, César Roberto

DNI: 41182279

ORCID: 0000-0002-3212-2817

Datos de la investigación

Campo del conocimiento OCDE: 2.01.01

Código del Programa: 732016

DEDICATORIA

Dedico esta investigación en primer lugar a Dios, por permitirme lograr este gran objetivo y avance profesional en tiempos difíciles, a mis padres Romualdo y Mirtha por su incondicional apoyo y confianza a través de cada etapa de mi vida. A mi pareja y amiga Xiomara quien ha sido mi guía y motivación para cumplir las metas.

Martinez Burgos, Eduardo Gabriel

Dedico este trabajo a todos aquellos que en el pasado lucharon y dieron su vida en aras del desarrollo y conocimiento. A mi madre Rosa, mi tío Alfredo y a mi recordada abuela Amanda, por su gran apoyo incondicional a lo largo del tiempo, y a la gran camarada y amiga que la vida me presentó, Angélica, por sus palabras alentadoras que me motivaron a muchas cosas positivas, entre ellas, esta tarea.

Vega Lema, Raúl Pelayo

AGRADECIMIENTO

Nuestro sincero agradecimiento a nuestra universidad Ricardo Palma, por habernos brindado los conocimientos necesarios para lograr este objetivo tan anhelado; a la Mg. Ing. Chavarría Reyes, Liliana Janet y Dr. Ing. Chavarry Vallejos, Carlos Magno, que con sus conocimientos nos guiaron en la presente investigación para alcanzar los resultados que se buscaba.

Martinez, Eduardo y Vega, Raúl

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	i
ABSTRACT.....	ii
INTRODUCCIÓN	iii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1 Descripción del Problema	1
1.1.1 Problema y la importancia.....	1
1.1.2 Árbol del problema (Causas – Problema – Consecuencias).....	2
1.2 Formulación del problema.....	3
1.2.1 Problema General	3
1.2.2 Problemas Específicos	3
1.3 Objetivos de la Investigación	3
1.3.1 Objetivo General.....	3
1.3.2 Objetivos específicos	3
1.4 Delimitación de la investigación	4
1.4.1 Geográfica	4
1.4.2 Temporal.....	4
1.4.3 Temática	4
1.4.4 Muestral	4
1.5 Justificación.....	4
1.5.1 Conveniencia	4
1.5.2 Relevancia Social	4
1.5.3 Aplicación Práctica.....	4
1.5.4 Utilidad Metodológica.....	5
1.5.5 Valor Teórico.....	5
1.6 Importancia del Estudio.....	5
1.6.1 Nuevos Conocimientos.....	5
1.6.2 Aporte	5
1.7 Limitaciones	5
1.7.1 Falta de Estudios Previos de Investigación	5
1.7.2 Metodológicos o Prácticos	6
1.7.3 Medidas para la Recolección de Datos.....	6

1.7.4	Obstáculos de la Investigación	6
1.8	Alcance	6
1.9	Viabilidad	6
	CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	7
2.1	Marco Histórico.....	7
2.2	Investigaciones Relacionadas con el Tema	7
2.2.1	Investigaciones Internacionales	7
2.2.2	Investigaciones Nacionales.....	10
2.2.3	Artículos Relacionados con el Tema	13
2.3	Estructura Teórica y Científica que Sustenta el Estudio	17
2.3.1	Cemento Portland	17
2.3.2	Agregados	19
2.3.3	Agua	22
2.3.4	Propiedades del Hormigón en Estado Endurecido	23
2.3.5	Norma E.060.....	24
2.3.6	Norma ACI 318S-14.....	24
2.3.7	Ceniza volante	24
2.3.8	Propiedades de la Ceniza Volante	26
2.3.9	Ventajas y Desventajas	26
2.4	Definición de Términos Básicos	27
2.4.1	Relación Agua/Cemento (a/c)	27
2.4.2	Ceniza	27
2.4.3	Dosificación.....	27
2.4.4	Diseño de Mezcla	27
2.4.5	Resistencia	27
2.5	Fundamentos Teóricos que Sustentan la Hipótesis	28
	CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS	29
3.1	Hipótesis.....	29
3.1.1	Hipótesis Principal.....	29
3.1.2	Hipótesis Secundarias.....	29
3.2	Sistema de Variables	29
3.2.1	Definición Conceptual y Operacional	29
3.2.2	Operalización de Variables.....	32

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA	33
4.1 Método de la Investigación	33
4.2 Tipo de la Investigación	33
4.3 Nivel de la Investigación	34
4.4 Diseño de la Investigación	34
4.5 Población y Muestra	34
4.5.1 Población	34
4.5.2 Muestra	35
4.6 Técnicas e Instrumentación de recolección de datos.....	35
4.6.1 Instrumento de recolección de datos	35
4.6.2 Método y técnicas	35
4.7 Descripción de procesamientos de análisis	36
CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	37
5.1 Resultados de la investigación:	37
5.2 Análisis e interpretación de los resultados	65
5.3 Contrastación de hipótesis.....	70
DISCUSIÓN	80
CONCLUSIONES	84
RECOMENDACIONES	87
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89
ANEXOS	96
Anexo 1: Matriz de Consistencia.....	96
Anexo 2: Revisión Bibliográfica	97
Anexo 3: Selección Documental: Referencias, Resúmenes, Subtemas identificados ..	105
Anexo 4: Subtemas, Justificación, Objetivos específicos.....	143

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tipos de Cemento	17
Tabla 2: Empresas Cementeras	18
Tabla 3: Componentes Químicos.....	18
Tabla 4: Requisitos Granulométricos del Agregado Fino	19
Tabla 5: Clasificación de la arena por su módulo de finura	20
Tabla 6: Requisitos Granulométricos del Agregado Grueso	21
Tabla 7: Requisitos aproximados del contenido de agua y aire de mezcla para diferentes asentamientos y tamaños máximos nominales de agregados.....	22
Tabla 8: Correspondencia entre la relación agua/cemento y la resistencia a la compresión	23
Tabla 9: Estudios con Ceniza Volante	25
Tabla 10: Componentes Químicos de la Ceniza Volante	26
Tabla 11: Operalización de Variables.....	32
Tabla 12: Resistencia a la compresión con adición de ceniza volante a los 28 días de curado	38
Tabla 13: Resistencia a la compresión con adición de ceniza volante a los 28 días de curado	39
Tabla 14: Resistencia a la compresión con adición de ceniza volante a los 28 días de curado	41
Tabla 15: Resistencia a la compresión con adición de ceniza volante a los 28 días de curado	42
Tabla 16: Resistencia a la compresión con adición de ceniza volante a los 28 días de curado	44
Tabla 17: Resistencia a la tracción con adición de ceniza volante a los 28 días de curado	45
Tabla 18: Resistencia a la tracción con adición de ceniza volante a los 28 días de curado	47
Tabla 19: Resistencia a la tracción con adición de ceniza volante a los 28 días de curado	48
Tabla 20: Resistencia a la flexión con adición de ceniza volante a los 28 días de curado	50

Tabla 21: Resistencia a la flexión con adición de ceniza volante a los 28 días de curado	51
Tabla 22: Resistencia a la flexión con adición de ceniza volante a los 28 días de curado	53
Tabla 23: Resistencia a la flexión con adición de ceniza volante a los 28 días de curado	54
Tabla 24: Resistencia a la compresión con adición de ceniza volante con relación a/c de 0.56 a los 28 días de curado.....	56
Tabla 25: Resistencia a la compresión con adición de ceniza volante con relación a/c de 0.52 a los 28 días de curado.....	57
Tabla 26: Resistencia a la compresión con adición de ceniza volante con relación a/c de 0.60 a los 28 días de curado.....	59
Tabla 27: Resistencia a la compresión con adición de ceniza volante con tamaño máximo los 28 días de curado.....	61
Tabla 28: Resistencia a la compresión con adición de ceniza volante con tamaño máximo 1” a los 28 días de curado	62
Tabla 29: Resistencia a la compresión con adición de ceniza volante con tamaño máximo 1 ½” a los 28 días de curado	64
Tabla 30: Resistencia a la compresión máxima con adición de ceniza volante a los 28 días de curado.....	71
Tabla 31: Resistencia a la tracción máxima con adición de ceniza volante a los 28 días de curado	73
Tabla 32: Resistencia a la flexión máxima con adición de ceniza volante a los 28 días de curado	75
Tabla 33: Resistencia a la compresión máxima con relación a/c definidos y adición de ceniza volante a los 28 días de curado.....	77
Tabla 34: Resistencia a la compresión máxima con tamaños máximos definidos y adición de ceniza volante a los 28 días de curado	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Árbol del problema.....	2
Figura 2: Fundamentos teóricos.....	28
Figura 3: Diagrama de Flujo.....	31
Figura 4: Características de los prototipos.....	35
Figura 5: Resistencia a la compresión con adición de ceniza volante a los 28 días de curado.	38
Figura 6: Resistencia a la compresión con adición de ceniza volante a los 28 días de curado.	40
Figura 7: Resistencia a la compresión con adición de ceniza volante a los 28 días de curado.	41
Figura 8: Resistencia a la compresión con adición de ceniza volante a los 28 días de curado.	43
Figura 9: Resistencia a la compresión con adición de ceniza volante a los 28 días de curado.	44
Figura 10: Resistencia a la tracción con adición de ceniza volante a los 28 días de curado.	46
Figura 11: Resistencia a la tracción con adición de ceniza volante a los 28 días de curado.	47
Figura 12: Resistencia a la tracción con adición de ceniza volante a los 28 días de curado.	49
Figura 13: Resistencia a la flexión con adición de ceniza volante a los 28 días de curado.	50
Figura 14: Resistencia a la flexión con adición de ceniza volante a los 28 días de curado.	52
Figura 15: Resistencia a la flexión con adición de ceniza volante a los 28 días de curado.	53
Figura 16: Resistencia a la flexión con adición de ceniza volante a los 28 días de curado.	55
Figura 17: Resistencia a la compresión con adición de ceniza volante con relación a/c de 0.56 a los 28 días de curado.	56
Figura 18: Resistencia a la compresión con adición de ceniza volante con relación a/c de 0.52 a los 28 días de curado.	58

Figura 19: Resistencia a la compresión con adición de ceniza volante con relación a/c de 0.60 a los 28 días de curado.	60
Figura 20: Resistencia a la compresión con adición de ceniza volante con tamaño máximo 1 ½” a los 28 días de curado.....	61
Figura 21: Resistencia a la compresión con adición de ceniza volante con tamaño máximo 1” a los 28 días de curado.....	63
Figura 22: Resistencia a la compresión con adición de ceniza volante con tamaño máximo 1 ½” a los 28 días de curado.....	65
Figura 23: Resistencia a la compresión máxima con adición de ceniza volante a los 28 días de curado.....	72
Figura 24: Resistencia a la tracción máxima con adición de ceniza volante a los 28 días de curado.	74
Figura 25: Resistencia a la flexión máxima con adición de ceniza volante a los 28 días de curado.	76
Figura 26: Resistencia a la compresión máxima con relación a/c definidos y adición de ceniza volante a los 28 días de curado.	77
Figura 27: Resistencia a la compresión máxima con relación a/c definidos y adición de ceniza volante a los 28 días de curado.	79

RESUMEN

La presente tesis lleva como título “Cenizas volantes para mejorar las propiedades mecánicas del hormigón estructural”. Tuvo como objetivo principal determinar el diseño de mezcla con adición de ceniza volante para mejorar las propiedades mecánicas del hormigón estructural.

Esta investigación fue documental, bibliográfica y descriptiva, donde la información fue recolectada de diversas investigaciones documentales como artículos científicos, tesis nacionales e internacionales con respecto a la adición de cenizas volantes como reemplazo del cemento, siguiendo normativas vigentes para el concreto. Los estudios utilizaron el método deductivo, con un enfoque cuantitativo y una orientación aplicada, con un nivel descriptivo tipo correlacional y explicativo. Las fuentes consultadas tuvieron una investigación experimental, longitudinal, retrospectiva y estudio de cohorte (causa-efecto). En ellas, se diseñaron mezclas de hormigón estructural con diferentes porcentajes de ceniza volante como sustituto parcial del cemento para mejorar las propiedades mecánicas del hormigón estructural, las cuales fueron ensayadas a compresión, tracción y flexión.

Los incrementos de resultados respecto a las probetas patrones se dieron a los 28 días de curado, teniendo así desde un 5% hasta un 26% en aumento de todas sus propiedades. Se concluyó que al reemplazar la ceniza volante en porcentaje de 5% a 30% en peso del cemento, incrementan las propiedades mecánicas del hormigón estructural, obteniendo resistencias máximas mayores con respecto a la mezcla patrón. Sin embargo, al exceder el 30% de ceniza volante los resultados de los ensayos a compresión, tracción y flexión disminuyeron significativamente; esto se debe a múltiples factores como el tipo de cemento, relación agua/cemento, contenido de sílice y tamaño de partícula de la ceniza volante. Para obtener un efectivo aumento en las propiedades mecánicas del hormigón estructural es necesario utilizar ceniza volante de 5% a 30%, obteniendo mayor eficiencia en obras civiles, en resistencia y costo de elaboración.

Palabras Claves: Propiedades mecánicas del hormigón estructural, ceniza volante, porcentaje, concreto, incremento.

ABSTRACT

This thesis is entitled "Fly ash to improve the mechanical properties of structural concrete". Its main objective was to determine the design of mixture with addition of fly ash to improve the mechanical properties of structural concrete.

This research was documentary, bibliographic and descriptive, where the information was collected from various documentary investigations such as scientific articles, national and international theses regarding the addition of fly ash as a replacement for cement, following current regulations for concrete. The studies used the deductive method, with a quantitative approach and an applied orientation, with a descriptive level type correlational and explanatory. The sources consulted had an experimental, longitudinal, retrospective research and cohort study (cause-effect). In them, structural concrete mixtures with different percentages of fly ash were designed as a partial substitute for cement to improve the mechanical properties of structural concrete, which were tested to compression, traction and bending.

The increases in results with respect to the standard specimens occurred after 28 days of curing, thus having from 5% to 26% in increase of all its properties. It was concluded that by replacing the fly ash in percentage of 5% to 30% by weight of the cement, the mechanical properties of the structural concrete increase, obtaining maximum resistances greater with respect to the standard mixture. However, by exceeding 30% of fly ash, the results of the compression, traction and bending tests decreased significantly; this is due to multiple factors such as cement type, water/cement ratio, silica content and fly ash particle size. To obtain an effective increase in the mechanical properties of structural concrete it is necessary to use fly ash from 5% to 30%, obtaining greater efficiency in civil works in strength and cost of elaboration.

Keywords: Mechanical properties of structural concrete, fly ash, percentage, concrete, increment.

INTRODUCCION

El hormigón es uno de los materiales primordiales en las construcciones de obras civiles debido a su resistencia y a que, gracias a la tecnología, cada vez se encuentra con mayores innovaciones al utilizar nuevos componentes. El hormigón o concreto es una mezcla principalmente de cemento, agregados y agua. El uso del cemento es importante en el hormigón, ya que funciona como aglomerante al ser mezclado con el agua (H_2O), unificando los materiales o elementos que contengan la mezcla. No obstante, en la producción del cemento se desprende una gran cantidad de dióxido de carbono (CO_2), generando aproximadamente el 5% de emisiones, resultantes de actividades humanas, provocando así un problema ambiental. Una propuesta para reducir el uso del cemento en las mezclas de concreto es investigar nuevos materiales cementosos o minerales como lo es la ceniza volante.

El empleo de estos novedosos componentes poco usuales en lugar del cemento Portland aminora de manera relevante el impacto ambiental que se da a través del uso de este en las construcciones, existiendo un beneficio para el medio ambiente. La investigación aborda el análisis de las propiedades mecánicas del hormigón adicionado con ceniza volante comparado con las propiedades mecánicas de un hormigón convencional. La presente investigación ejercerá un aporte para próximos proyectos de ingeniería donde se demande el uso de cenizas volantes, demostrando el incremento de la resistencia del hormigón, tomando en cuenta el entorno ambiental, generando así una nueva alternativa para el uso de este material puzolánico.

La investigación presenta relevancia social, ya que procura mejorar las propiedades mecánicas del hormigón estructural con adición de cenizas volantes para lograr obtener mayor resistencia mecánica resultando en una mayor vida útil de las estructuras, así mismo aminorando el impacto ambiental. Esta investigación servirá como aporte para futuros proyectos de ingeniería donde se requiera implementar la ceniza volante, aumentando la resistencia mecánica del hormigón como avance tecnológico, posibilitando una opción de uso para este agregado puzolánico y garantizando la vida útil de las estructuras de hormigón. La investigación nos proporcionará una metodología de recolección de datos fundamentándose en

variados artículos científicos, tesis de investigaciones nacionales e internacionales, los cuales demuestran que el uso de la ceniza volante incrementa las propiedades mecánicas del hormigón estructural y puede emplearse en el sector construcción. Por otro lado, la investigación presenta relevancia ya que nos expone la utilización de la ceniza volante como material puzolánico para el diseño de mezcla del hormigón, demostrando que la ceniza volante no solo se mantiene como desecho en plantas termoeléctricas, sino que también puede ser utilizado en el campo de las obras civiles, mitigando la contaminación ambiental y eliminando así este desecho industrial. Se espera conseguir para futuras investigaciones optimizar los costos en la elaboración del concreto, mejorar las propiedades físicas y mecánicas implementando la adición de ceniza volante.

El objetivo de esta investigación se basa en determinar el diseño de mezcla con adición de ceniza volante para incrementar las propiedades mecánicas del hormigón estructural. De esta manera se han planteado cinco objetivos específicos (ver anexo 1):

- Determinar el óptimo porcentaje de ceniza volante para incrementar la resistencia a la compresión del hormigón estructural.
- Determinar el óptimo porcentaje de ceniza volante para incrementar la resistencia a la tracción del hormigón estructural
- Determinar el óptimo porcentaje de ceniza volante para incrementar la resistencia a la flexión del hormigón estructural
- Determinar la relación agua/cemento con adición de ceniza volante para incrementar la durabilidad del hormigón estructural.
- Determinar el tamaño máximo del agregado grueso para incrementar la resistencia a la compresión del hormigón estructural.

La presente investigación consta de cinco capítulos. En el capítulo I presenta el planteamiento del problema, objetivos, delimitaciones, justificación, alcance y viabilidad de la investigación (ver anexo 4); en el capítulo II presenta el marco teórico el cual describe la información que fue recopilada como las investigaciones nacionales e internacionales, las bases teóricas en las cuales se apoya la investigación (ver anexo 2); en el capítulo III presenta el planteamiento de las hipótesis, donde se verá las variables de la investigación; en el capítulo IV presenta

la metodología utilizada, el diseño, la población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección y la descripción de procesamiento de análisis de datos (ver anexo 3); en el capítulo V presenta los resultados, análisis y contrastación de las hipótesis de la investigación. Finalizando con la discusión, conclusiones y recomendaciones de la investigación.

La intención de esta investigación es que permita al ingeniero peruano tener una opción de un nuevo material cementoso en el diseño de mezcla de concreto como lo es la ceniza volante, la cual, aparte de ser un material puzolánico puede lograr suficientes beneficios sociales y ambientales.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del Problema

1.1.1 Problema y la importancia

Huaquisto y Belisario (2018) mencionan que el Perú tiene un gran problema medioambiental debido a los residuos, el cual también están atravesando muchos otros países. Las cenizas volantes son residuos ecológicamente cuestionables que se deben de eliminar de las centrales termoeléctricas, previniendo a su vez que estos sean almacenados en depósitos al aire libre, ya que es un procedimiento peligroso para el medio ambiente ya que, el material expuesto, al contacto con el agua, suelo y aire genera graves problemas medioambientales. Mariluz y Ulloa (2018) dicen que el hormigón es la mezcla cementicia que más uso tiene en todo el mundo, por consiguiente, la industria de la construcción ha tomado interés en investigar nuevos materiales para desarrollar hormigones con mayor resistencia y, en los últimos tiempos, hormigones ecológicos. Tagle (2019) menciona que la combinación del cemento y de las cenizas volantes constituidas de carbón es famosa desde hace muchos años atrás, sin embargo, la reutilización de estas cenizas no se realiza de forma completa y la producción de cemento año tras año sigue en aumento.

Debido a lo mencionado, existe una necesidad urgente y continúa de desarrollar nuevos métodos de reciclaje para la ceniza volante de carbón. Frente a sus aplicaciones actuales en la industria de la construcción civil, según indican Huaquisto & Belisario (2018), muchos estudios han puesto al descubierto que la ceniza volante tiene propiedades puzolánicas y eso mejora la calidad y desarrollo del concreto.

1.1.2 Árbol del problema (Causas – Problema – Consecuencias)

La deficiencia en el diseño de mezcla la cual tiene como causas la mala proporción entre los agregados, la mala relación de agua cemento, entre otros, conlleva a que existan deficiencias en las propiedades mecánicas del hormigón estructural. Esto a su vez, nos trae consecuencias negativas tal como se pueden apreciar en la Figura 1.

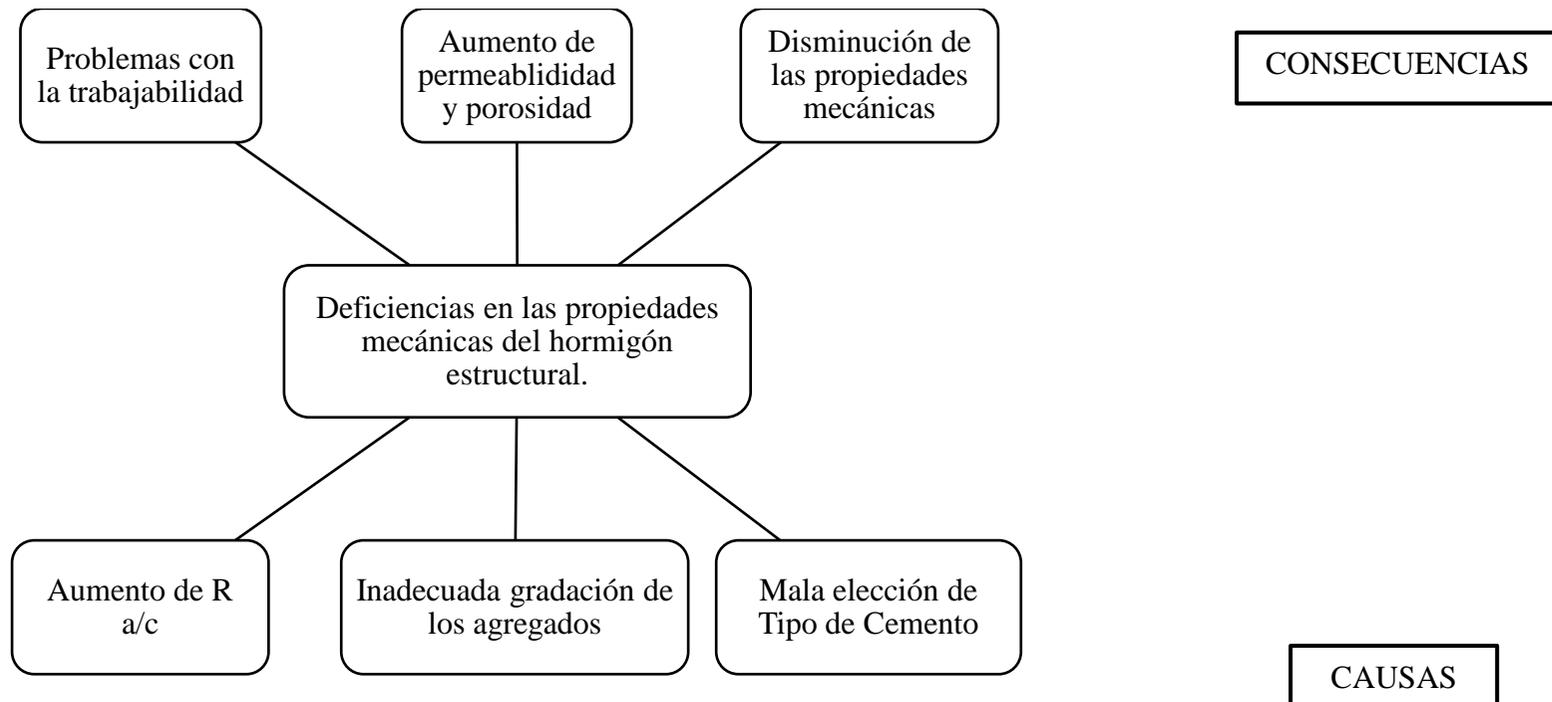


Figura 1: Árbol del problema
Fuente: Elaboración Propia

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema General

¿En qué medida el diseño de mezcla con adición de ceniza volante mejora en las propiedades mecánicas del hormigón estructural?

1.2.2 Problemas Específicos

a) ¿En qué medida el óptimo porcentaje de ceniza volante incrementa en la resistencia a la compresión del hormigón estructural?

b) ¿En qué medida el óptimo porcentaje de ceniza volante incrementa en la resistencia a la tracción del hormigón estructural?

c) ¿En qué medida el óptimo porcentaje de ceniza volante incrementa en la resistencia a la flexión del hormigón estructural?

d) ¿En qué medida la relación agua/cemento con adición de ceniza volante incrementa por durabilidad del hormigón estructural?

e) ¿Cuál es el óptimo tamaño máximo del agregado grueso para incrementar la resistencia a la compresión del hormigón estructural?

1.3 Objetivos de la Investigación

1.3.1 Objetivo General

Determinar el diseño de mezcla con adición de ceniza volante para mejorar las propiedades mecánicas del hormigón estructural

1.3.2 Objetivos específicos

a) Determinar el óptimo porcentaje de ceniza volante para incrementar la resistencia a la compresión del hormigón estructural.

b) Determinar el óptimo porcentaje de ceniza volante para incrementar la resistencia a la tracción del hormigón estructural

c) Determinar el óptimo porcentaje de ceniza volante para incrementar la resistencia a la flexión del hormigón estructural

d) Determinar la relación agua/cemento con adición de ceniza volante para incrementar la durabilidad del hormigón estructural.

e) Determinar el tamaño máximo del agregado grueso para incrementar la resistencia a la compresión del hormigón estructural.

1.4 Delimitación de la investigación

1.4.1 Geográfica

La investigación se delimita a condiciones climáticas en un rango de temperatura normal haciendo alusión a climas cálidos.

1.4.2 Temporal

La investigación se desarrolla en el año 2022.

1.4.3 Temática

El tema de la investigación es el uso de cenizas volantes para mejorar las propiedades mecánicas del hormigón estructural.

1.4.4 Muestral

Las muestras tomadas son los resultados de las pruebas realizadas por los autores de las investigaciones nacionales e internacionales los cuales emplean probetas de concreto para los ensayos de pruebas mecánicas, las cuales tendrán la adición de diferentes porcentajes de cenizas volantes.

1.5 Justificación

1.5.1 Conveniencia

La finalidad de la investigación es facilitar una opción diferente al método común usando un material alternativo en el diseño del hormigón, tal como la ceniza volante, la cual brindara una mejora en las propiedades mecánicas del hormigón estructural.

1.5.2 Relevancia Social

La investigación procura mejorar las propiedades mecánicas del hormigón estructural con adición de cenizas volantes para lograr obtener mayor resistencia mecánica resultando en una mayor vida útil de las estructuras y, así mismo aminorar el impacto ambiental.

1.5.3 Aplicación Práctica

Esta investigación servirá como aporte para futuros proyectos de ingeniería donde se requiera implementar la ceniza volante, aumentando la resistencia mecánica del hormigón como avance tecnológico, posibilitando una opción de uso para este agregado puzolánico, garantizando la vida útil de las estructuras de hormigón.

1.5.4 Utilidad Metodológica

La investigación nos proporcionará una metodología de recolección de datos fundamentándose en variados artículos científicos, tesis de investigaciones nacionales e internacionales, los cuales demuestran que el uso de la ceniza volante incrementa las propiedades mecánicas del hormigón estructural y puede emplearse en el sector de la construcción.

1.5.5 Valor Teórico

La investigación aporta una conjetura respecto a los hormigones con adición de ceniza volante, siendo este un material puzolánico, con el cual se adquiere un hormigón mejorado con un incremento en sus propiedades mecánicas y una vida útil prolongada.

1.6 Importancia del Estudio

1.6.1 Nuevos Conocimientos

La investigación nos expone la utilización de la ceniza volante como material puzolánico para el diseño de mezcla del hormigón. El uso de la ceniza volante no solo se utiliza como generador de energía para plantas termoeléctricas sino también en el campo de las obras civiles. Así mismo, el uso de este agregado ayudará a mitigar la contaminación ambiental, eliminando así este desecho industrial.

1.6.2 Aporte

Esta investigación está orientada al rubro de la ingeniería civil para el mejoramiento de diseños de hormigón, esperando conseguir para próximas investigaciones optimizar los costos de elaboración del hormigón, disminuyendo el uso de cemento y sustituyéndolo por ceniza volante, mejorando las propiedades mecánicas implementando dicha adición de ceniza volante.

1.7 Limitaciones

1.7.1 Falta de Estudios Previos de Investigación

Las investigaciones previas tienen un diseño patrón de dosificación, condiciones de exposición y diferentes normativas las cuales nos limitan por ser una investigación descriptiva.

1.7.2 Metodológicos o Prácticos

Por la coyuntura actual en la que nos encontramos es difícil realizar ensayos en laboratorios.

1.7.3 Medidas para la Recolección de Datos

La recolección de datos se efectuará obteniendo datos de estudios preliminares que ya están descritos en proyectos de investigación.

1.7.4 Obstáculos de la Investigación

La situación actual, tras el brote del COVID 19, sigue siendo una emergencia de salud pública por lo que los laboratorios de tecnología del concreto no están siendo copados al máximo y no podrían ser utilizados de manera continua, obstaculizando los ensayos de manera presencial, por lo que la presente tesis es una investigación descriptiva, apoyada por material documental, estudios previos y fuentes certificadas.

1.8 Alcance

La investigación se basa en la adición porcentual de ceniza volante analizando las propiedades mecánicas del hormigón estructural. El desarrollo de la investigación se basará en la norma E.060 la cual nos da pautas para analizar el hormigón por resistencia mecánica.

1.9 Viabilidad

La investigación será viable ya que existen variadas fuentes de información como artículos científicos, revistas y tesis nacionales e internacionales relacionadas con el tema sobre la adición porcentual de ceniza volante en el cemento, demostrando que este material puzolánico puede ser incluido en el diseño del hormigón teniendo influencia en las propiedades mecánicas, por lo que se determina que existe suficiente información guía para desarrollar la investigación.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Marco Histórico

Sánchez de Guzmán (2001) dice que la construcción de viviendas o de diferentes elementos estructurales siempre fue constante en la historia y desarrollo del hombre. El hormigón desde mucho tiempo atrás es uno de los materiales más importantes para el sector de la construcción de obras civiles debido a la resistencia a grandes cargas que puede soportar y a la gran versatilidad en cuanto a forma. Así mismo, indica que el dato más exacto al empleo de elementos cementantes se remonta hacia el año 2690 a.c., cuando los egipcios construyeron la pirámide de Gizeh, en donde los bloques usados para tal edificación se unieron con un mortero hecho de yeso calcinado impuro y arena; a esta obra de ingeniería las siguieron las que aún existen a lo largo del río Nilo. Harmsen (2002) nos relata que en los años 1300 a.c. en Siria e Israel, los Nabatea y los Beduinos, utilizaban el hormigón para la construcción de obras civiles. Con el paso del tiempo, los romanos son los que desarrollan una mezcla de piedras, piedra caliza calcinada y tobas volcánicas para la construcción de diversas estructuras como el Pantheon, el Coliseo, entre otras construcciones más.

Sánchez de Guzmán (2001) nos relata que años posteriores a los comentados, los avances fueron pocos sólo llegando a producir morteros inferiores sin mucha resistencia, hechos únicamente de cal y arena. Por otro lado, indica que en el siglo XVIII fue cuando se comenzó a investigar más sobre los morteros, a causa de la construcción del faro Eddystone ubicado en la costa de Cornwall en Inglaterra. Esto se llevó a cabo en el año 1759 por el ingeniero inglés Jhon Smeaton, el cual decidió adelantar una serie de investigaciones para que el mortero usado en la construcción resistiera el azote continuo del agua.

Harmsen (2005) comenta que, a lo largo del tiempo, con las nuevas técnicas de construcción, el concreto se ha ido modificando, creando un material capaz de adaptarse correctamente a los usos de nuestra era.

2.2 Investigaciones Relacionadas con el Tema

2.2.1 Investigaciones Internacionales

Agudelo y Espinosa (2017) realizan cuarenta testigos de concreto, diez de ellos con muestras de concreto convencional (cemento, agua, grava y

arena), y los treinta restantes con porcentajes de ceniza volante procedente de la termoeléctrica de Paipa Boyacá – Colombia, divididas en 10%, 20%, 25% y de 30%, estos a su vez sometidos a la compresión a los 7 días, 28 días, 56 días y 72 días. Se obtiene de esta investigación que el concreto con ceniza volante a los días de curado aumenta su resistencia a la compresión mas no brinda los mismos resultados que la mezcla de concreto convencional. A su vez se encuentra que al utilizar la ceniza volante en los porcentajes más altos de los mencionados desfavorece la trabajabilidad del mismo, generando una mezcla seca, lo que lo convierte en un material menos manejable. Como conclusión llegan a que el utilizar la ceniza volante de dicha termoeléctrica no crea beneficios a la resistencia a la compresión, sin embargo, los porcentajes entre los 2% y 10% son los que más se acercan a la muestra base convencional, ya que obtienen valores más cercanos a ella.

De manera similar, Diaz (2020) analiza la resistencia a la compresión en muestras con sustituciones de 10%, 20% y 30% de cemento por ceniza volante de la termoeléctrica de Paipa Boyacá - Colombia, en los diferentes tiempos de curado de 3, 7, 14 y 28 días. Asimismo, se realizan diferentes ensayos para determinar asentamiento, masa unitaria, contenido de aire, temperatura, trabajabilidad y los ensayos a la compresión antes mencionados. En cuanto a relaciones agua/cemento, se utilizan 0.75, 0.65, 0.55, 0.45 y 0.35, manteniendo el agua constante y variando sólo el cemento. Al igual que la tesis precedente de Agudelo y Espinosa, se concluye, que el uso de la ceniza de la termoeléctrica de Paipa Boyacá no es beneficioso para la resistencia a la compresión, para ninguno de los porcentajes de sustitución por el cemento mencionados. Así también, se indica que las mezclas con mayor sustitución de cemento por ceniza presentaban problemas de fraguado, baja de temperaturas del concreto y baja de masa unitaria. Un punto favorable es que el concreto con ceniza volante tiende a tener mayor trabajabilidad por lo que ayudaría en su colocación.

Yáñez (2019) realiza una recopilación de antecedentes de las centrales termoeléctricas que utilizan el carbón en Chile, así como un estudio al

respecto de las metodologías que existían a la fecha para la reducción del contenido de carbón en las cenizas, para de este modo mejorar la sustentabilidad de los hormigones. Se realizan pruebas y ensayos tomando en cuenta diferentes relaciones de cemento/ceniza volante, así como cenizas con diferentes contenidos de carbón residual (22%, 16%, 12% y 7%), todo esto con la finalidad de obtener el porcentaje óptimo de reemplazo de ceniza por el cemento y también el porcentaje de carbón residual más beneficioso, tomando en cuenta consideraciones técnicas y económicas. Esto se analizó a los 7, 28 y 56 días de curado. Se concluye que al extraer el carbón residual de la ceniza volante, se produce una menor retención del material en el tamiz 325, de 48.5% a 22.1%, esto a su vez implica una mayor resistencia a la compresión, durabilidad y consistencia; de esta manera se recomienda porcentajes de ceniza hasta en un 20%, los cuales a 90 días de curado alcanzarían mayores resistencias que un hormigón convencional con cemento Portland puro.

Chelberg (2019) utiliza los resultados de 181 muestras de concreto que utilizaron el reemplazo parcial del cemento por ceniza volante como data para la creación de modelos de regresión lineal. Estos modelos fueron utilizados para predecir la resistencia a la compresión en función a la composición de la ceniza volante, para ello se vale de métodos estadísticos y experimentales. Este trabajo encontró que el modelo seleccionado de los antes mencionados, el cual mide la relación agua/cemento y el porcentaje de seis óxidos metálicos presentes en la ceniza volante: óxido de silicio (SiO_2), óxido de aluminio (Al_2O_3), óxido de hierro (Fe_2O_3), óxido de calcio (CaO), óxido de sodio (Na_2O), y óxido de potasio (K_2O), podía predecir mejor la resistencia a la compresión del concreto a los 28 días. Otra de sus conclusiones es que la norma americana ASTM al respecto de la caracterización de la ceniza volante, es insuficiente para explicar y predecir la resistencia a la compresión del concreto resultante y que se necesita una mejor delimitación de las características de la ceniza para poder predecir el comportamiento estructural del concreto.

Abualrous (2017) caracteriza las propiedades químicas, físicas y morfológicas de las cenizas volantes de siete estaciones de carbón en India

y dos estaciones de carbón en Canadá, con el objetivo de determinar los diferentes resultados que se pueden obtener en una mezcla de concreto, en cuanto a sus propiedades y durabilidad, para las diferentes características de las partículas de las cenizas volantes utilizadas en la mezcla. Así también busca determinar ciertos límites en cuanto a las características de dichas cenizas para que resulten beneficiosas a la mezcla de concreto y puedan ser utilizadas como reemplazo del cemento. Para la distribución del tamaño de las partículas se utilizó un Analizador de Difracción de Laser (Laser Diffraction Analyzer), siendo esta una técnica de medición de tamaño de partícula ampliamente utilizada para materiales que van desde cientos de nanómetros hasta varios milímetros en tamaño. Concluyen que los concretos que contienen cenizas volantes que cumplen con los requisitos químicos de las Normas americana (ASTM), canadiense (CSA) e india (IS) continúan aumentando su resistencia a la compresión, módulo de elasticidad y resistencia a la penetración de iones de cloruro más allá de los 28 hasta 90 días. Otro beneficio del uso de cenizas volantes para todas las edades fue la reducción de contracción por secado. Un punto importante a resaltar de los resultados de la tesis en mención, es la reducción de hasta el 35% del volumen del agregado fino al usar la ceniza volante como puzolana y agregado fino, resultando un beneficio al conservar valiosos recursos naturales como el agregado fino convencional.

2.2.2 Investigaciones Nacionales

Yapuchura (2019), como parte de su investigación sobre la resistencia a la compresión y flexión de losas de concreto, realiza ensayos a los agregados utilizados, los cuales son obtenidos de la cantera de Arunta - Tacna. Asimismo, realiza diseños para la resistencia a la compresión con porcentajes de 2.5%, 5%, 10% y 15% de ceniza volante y para roturas de probetas a los 7, 14, 28 y 90 días. En el caso de la flexión, se utilizaron los mismos porcentajes de ceniza volante que en compresión, pero la rotura de probetas se realizó únicamente a los 28 días. Se concluye que el porcentaje óptimo de ceniza volante en peso es de 5% para mejores resultados, tanto para la compresión como para la flexión.

Chuco (2021) realiza cuatro tipos de muestras (96 unidades), considerando una muestra control con 0% de cenizas volantes, y muestras con la adición de 5%, 10% y 15% de cenizas volantes, todo esto para un diseño de un concreto de resistencia $f'_c=280 \text{ kg/cm}^2$. Se obtienen muy buenos resultados, siendo el porcentaje de sustitución óptimo el de 10%, resultando una resistencia a la compresión de 385 kg/cm^2 y una resistencia a la flexión de 38.7 kg/cm^2 .

Pérez (2018) realiza pruebas de trabajabilidad (Slump) y ensayos de compresión a una muestra de concreto patrón (sin adición de ceniza volante) y a muestras de concreto con porcentajes de ceniza volante en sustitución del cemento de 5%, 10%, 15%, 20% y 25%. Los diseños se realizaron para obtener un concreto de resistencia $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ y fueron ensayados a la compresión a una edad de 7, 14 y 28 días. Utilizaron cemento Portland tipo IP para los diseños y el curado se realizó a temperatura ambiente. Finalmente, lograron obtener una muestra de concreto con ceniza volante de resistencia mayor a un concreto sin ceniza volante a la edad de 28 días, este concreto tenía porcentajes de 5% y 10%, resultando el que mayor porcentaje de incremento presentaba el de 5%.

Vega y Pareja (2021) tienen como objetivo evaluar los aportes que el uso de cenizas volantes puede dar a la mezcla de concreto en cuanto a la resistencia a la compresión como a la permeabilidad. En el presente estudio no se realizan ensayos, sólo se toma como referencia material bibliográfico y documental. Se menciona que, debido a la gran variedad de tipos de agregados y cementos de diferentes procedencias los resultados fueron variables. Sin embargo, se logra concluir que los porcentajes más favorables de ceniza volante para mejorar la resistencia a la compresión están entre 2.5% a 17%, obteniendo resultados entre 2.3% y 28.8% superiores al concreto que no contiene cenizas volantes. Sin embargo, en la mayoría de casos se encuentra que el porcentaje óptimo de ceniza volante es el 5%. Asimismo, se indica que, en cuanto a la permeabilidad, esta disminuye proporcionalmente a la adición de ceniza volante. Para la resistencia a la flexión se recomienda el 5% de ceniza volante, ya que valores mayores a 10% o cercanos arrojan resultados desfavorables.

Espada y Morales (2020) abordan el estudio de la influencia que la ceniza volante brinda al concreto de muros portuarios en la ciudad de Lima. Se centra principalmente en la resistencia a la compresión, permeabilidad y carbonatación. Se realizaron ensayos, los que permitieron encontrar la cantidad de ceniza volante óptima. Se concluyó que se logró incrementar la resistencia a la compresión en muros de concreto portuarios utilizando ceniza volante al 15% del cemento Portland Tipo I para todas las edades de curado. Asimismo, al 15% de uso de ceniza volante generó mayor prestación de servicio del concreto en cuanto a la permeabilidad y la carbonatación.

Mariluz y Ulloa (2018) realizan ensayos en muestras de concreto con adición de ceniza volante procedente de la central termoeléctrica Ilo21 – Moquegua en porcentajes de 5%, 10% y 20% en relación con el peso del cemento. Se evalúa los beneficios de la ceniza volante en la mezcla de concreto en cuanto a resistencia, absorción, manejabilidad y temperatura, concluyendo que en todos los casos se obtienen beneficios, resultando el 10% de ceniza volante el que mejores beneficios conlleva. En cuanto a mejoras en la trabajabilidad, resultó ser el porcentaje óptimo el 5% de ceniza volante.

Contreras y Peña (2017) realizan mezclas de concreto con porcentajes de ceniza volante de 1.5%, 3%, 4.5% y 6% respecto a peso del cemento en la mezcla y con una relación de agua/cemento de 0.55. Como parte del estudio se obtienen resistencias a la compresión que van en aumento desde la mezcla convencional sin ceniza con 218 kg/cm^2 a la mezcla considerando 6% de ceniza volante 241 kg/cm^2 , en todos los casos a los 28 días, concluyéndose que, hasta el porcentaje estudiado, el uso de ceniza volante es beneficioso para la resistencia a la compresión. Por otro lado, en cuanto a la permeabilidad, para el concreto convencional sin ceniza se tiene una penetración de agua de 137 mm en promedio, para el concreto con 1.5% de ceniza una penetración de agua de 123.5 mm, para el de 3% de ceniza 101 mm, para el de 4.5% de ceniza 68mm, y finalmente para la muestra con 6% de ceniza sólo 52.5 mm de penetración de agua,

concluyéndose que hasta el porcentaje de ceniza adicionado se observa una disminución de la permeabilidad, siendo beneficioso para la mezcla.

2.2.3 Artículos Relacionados con el Tema

Huaquisto y Belisario (2018) realizan la dosificación de mezclas de concreto adicionando ceniza volante de tal manera que no disminuya la resistencia y ayude a mitigar el medio ambiente. El material y método empleado es el concreto normal con adiciones de ceniza volante en proporciones de 2.5%, 5.0%, 10.0% y 15.0% para roturas a los 7, 14, 28 y 90 días. Los resultados indican que a los 28 días se tienen resistencias en promedio de 221kg/cm² para concreto normal, para concreto con 2.5% de ceniza volante 223kg/cm², para el 5.0% 231kg/cm², para el 10.0% 200 kg/cm² y 192kg/cm² para el 15% de ceniza volante respectivamente. En conclusión, la ceniza volante se debe utilizar como sustitución al cemento en un rango menor al 10%, más allá de este valor disminuye la resistencia del concreto, por lo que puede resultar perjudicial a la hora de realizar los controles de calidad.

Kanta & Naga (2022) utilizan muestras de concreto con reemplazo de cenizas volantes en porcentajes del 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50% y 60% para estudiar el comportamiento de la resistencia a la compresión, resistencia a la tracción por división y resistencia a la flexión. En la parte experimental concluyen que la resistencia del concreto con cenizas volantes se mejora efectivamente con un reemplazo del 30% del cemento por cenizas volantes en la composición de 450 kg/m³ de material cementoso y una relación a/c de 0,4. En esta investigación, el hormigón de cenizas volantes obtuvo una resistencia máxima a la compresión de 83,5 N/mm², una resistencia a la tracción por división de 4,9 N/mm² y una resistencia a la flexión de 6,6 N/mm² en un período de curado de 180 días.

Imrose, Sheikh, Ferdous & Shajb (2018) evalúan muestras de concreto adicionando materiales cementicios suplementarios como las cenizas volantes (FA), humo de sílice (SF), escoria de alto horno (BFS) y cenizas de cáscara de arroz (RHA). A la vez utilizan agregado liviano, con el fin de aminorar el peso de las estructuras. En cuanto a las cenizas volantes, los porcentajes de adición son de 0%, 5%, 15%, 25% y 35%. Asimismo, se

realizan muestras con mezclas combinadas usando dos o más de los materiales cementicios suplementarios mencionados. Se concluye que las mezclas con cenizas volantes con 15% de reemplazo por el cemento obtienen los mejores resultados, siendo este de 30.9 MPa a los 7 días, 44 MPa a los 14 días y 54.4 MPa a los 28 días. Sin embargo, los mejores resultados se obtuvieron para las mezclas que incluían humo de sílice, escoria de alto horno y cenizas volantes, siendo estas de 57 MPa a los 28 días.

Srinivasu, Sree, Hymavathi, Sri & Harsha (2022) discuten sobre el uso de agregados reciclados, así como el impacto de las cenizas volantes en la resistencia del concreto. En la parte experimental, es reemplazado el cemento en porcentajes de 0%, 4%, 8%, 11% y 16% por cenizas volantes. La mezcla de concreto es un M40. Por otro lado, se determina la resistencia a la compresión y a la resistencia a la tracción dividida. En cuanto a la resistencia a la compresión a los 28 días el mejor resultado es arrojado por el reemplazo al 12% con 54.64 N/mm². En cuanto a la resistencia a la tracción dividida el porcentaje óptimo es el 12% también a los 28 días, arrojando un resultado del 5.39 N/mm². Se concluye que, para ambos casos, a los 28 días, el porcentaje óptimo es el 12% de sustitución por cenizas volantes.

Fabara, Flórez, Callejas y Cajas (2017) indican que han realizado estudios sobre mezclas que sustituyen parte del cemento Portland por puzolanas, entre ellas las cenizas volantes, lo cual, dependiendo de la cantidad de reemplazo y la calidad de dichas cenizas, pueden generar beneficios o perjuicios a la resistencia de la mezcla de concreto. Las ventajas que el uso de cenizas volantes acarrearía son: ahorros en agua, resistencia ante el ataque de medios agresivos, menor porosidad, entre otros beneficios.

Qu, Liu, Si & Zhang (2022) realizan muestras con cuatro diferentes niveles de reemplazo de cemento por ceniza volante y escoria de alto horno, siendo estos 0%, 20%, 30%, y 40%. Para ellos se midieron la resistencia a la compresión, la resistencia a la tracción, la resistencia a la flexión y el módulo de elasticidad del hormigón a los 28 días. Como parte del estudio se concluye que la ceniza volante y la escoria de alto horno reducen las

propiedades tempranas del hormigón, sin embargo, la resistencia a la compresión y a la tracción a los 28 días fue similar en las mezclas con cemento Portland puro y las mezclas considerando cenizas volantes. Por otro lado, tanto la ceniza volante como la escoria de alto horno, redujeron la resistencia a la flexión y el módulo de elasticidad. Un punto a resaltar es que indican que el modelo realizado con las normas existentes sobreestimó la edad temprana de la resistencia a la compresión y, por otro lado, subestimó la resistencia a la tracción por hendidamiento del hormigón, lo que condujo a un poco fiable cálculo. Finalmente, nos indican que hace falta una base de datos más amplia para mejorar y establecer parámetros óptimos en las mezclas con ceniza volante y escoria de alto horno.

Correa-Yepes, Rojas-Reyes y Tobón (2018) evalúan la influencia de la adición de humo de sílice y ceniza volante al cemento Portland, de manera combinada o individual, y los efectos que producen en las características del hormigón. Se procedió a medir la resistencia a la compresión a los 7 y 28 días de curado. Concluyen que, al usar ceniza volante, por sus características, esta actúa como plastificante y debido a ello disminuye la resistencia a la compresión. Asimismo, indica que, al combinar la ceniza volante y el humo de sílice a la mezcla de concreto, interactúan entre ellas y combinan sus efectos beneficiosos, produciendo un bajo límite plástico, una alta resistencia a la compresión, una baja viscosidad y una mejor autocompactación.

Han, Lin & Wang (2022) realizan un estudio en el cual presentan un modelo de estimación de resistencia y un método de diseño de reducción de CO₂ para el hormigón con ceniza volante. Proponen un modelo de resistencia basado en la hidratación (HBS) para la evaluación del desarrollo de la resistencia a diferentes edades del hormigón compuesto de cenizas volantes con diferentes proporciones de mezcla. Asimismo, evalúan las emisiones de CO₂ para una fuerza de 1 MPa, resultando que, a medida que aumentaba la relación ceniza volante-aglutinante, disminuían las emisiones de CO₂ para una fuerza de 1 MPa. Para hormigones con una baja relación agua-aglutinante (A/B), la adición de un alto contenido de cenizas volantes tuvo un efecto de dilución, lo que aumentó el grado de

reacción del cemento y redujo las emisiones de CO₂ para una fuerza de 1 MPa. Por otro lado, mayor edad de la mezcla podría reducir las emisiones de CO₂ en 1 MPa. Así también, proponen un modelo de diseño óptimo basado en algoritmos genéticos para encontrar la masa individual de cemento y cenizas volantes del hormigón bajo en CO₂. Los resultados del análisis muestran que, a medida que el contenido de agua aumentó de 160 a 170 kg/m³, para obtener la misma resistencia, la masa de cemento y la masa de cenizas volantes aumentaron, mientras que la relación agua/aglutinante y la relación ceniza volantes/aglutinante no cambiaron. Esto significa que la reducción del agua mezclada es una forma factible de reducir las emisiones de CO₂. Concluyen que el método de análisis integrado resistencia-emisión propuesto es útil para diseñar hormigón compuesto de cenizas volantes sostenible con la resistencia deseada y bajos niveles de emisiones de CO₂.

Susmitha & Rao (2022) indican que debido a la gran demanda del cemento se aumenta día a día las emisiones del dióxido de carbono (CO₂), el cual representa el 65% del calentamiento global, siendo esta la razón de su estudio del hormigón con sustitución del cemento por cenizas volantes clase F y cenizas de bagazo quemadas a 1000°C. Para este estudio realizan mezclas de hormigón con ceniza volante y otras con ceniza de bagazo, en ambos casos, reemplazado de 0% a 40% a intervalos de 5% por peso de cemento en el concreto y curados por 28, 56 y 90 días. Así también, determinaron parámetros mecánicos como la resistencia a la compresión, la resistencia a la tracción, la resistencia a la flexión y aspectos de durabilidad como, la resistencia a la permeabilidad de cloruros, etc. Concluyen que las cenizas volantes se pueden reemplazar hasta en un 40 % y las cenizas de bagazo hasta en un 15 % en el concreto en términos de resistencia y durabilidad. El reemplazo de las cenizas volantes resultó en el logro de una resistencia máxima última de 74 MPa con un reemplazo del 30%, mientras que la incorporación de cenizas de bagazo resultó en el logro de una resistencia inicial máxima de 61,9 MPa con un reemplazo del 15%, indicando estos resultados que la mezcla óptima debería de incluir ambos tipos de ceniza, ya que la ceniza de bagazo ayudaría a que el

concreto logre una resistencia mayor con más rapidez. Otro punto a resaltar de la investigación es que concluyen que, las cenizas volantes y las cenizas de bagazo actúan como micro rellenos los cuales llenan los vacíos entre las partículas de cemento y agregados, logrando como resultado un concreto denso que puede resistir a ambientes agresivos.

2.3 Estructura Teórica y Científica que Sustenta el Estudio

Sánchez de Guzmán (2001) menciona que el concreto u hormigón es considerado, en términos generales, una mezcla de un material aglutinante como lo es el cemento, materiales de relleno como lo vienen a ser el agregado grueso y fino y que, al actuar con el agua forman el hormigón estructural, el cual, después de cierto tiempo, es capaz de soportar grandes cargas de esfuerzo con sus propiedades mecánicas.

2.3.1 Cemento Portland

Torre (2004) indica que el cemento Portland es un polvo muy fino de color verdoso considerado un cemento hidráulico producido al pulverizar Clinker, compuesto por silicato de calcio y sulfato de calcio que, al ser mezclado con agua, forma una pasta muy plástica y maleable que luego de fraguar endurece adquiriendo resistencia y durabilidad.

Existen diversos tipos de cemento, los cuales están especificados en la norma ASTM-C- 150-99^a, como se muestra en la siguiente Tabla 1:

Tabla 1
Tipos de Cemento

Tipo	Descripción
Tipo I	Para usos que no se requiera propiedades especiales de cualquier tipo.
Tipo II	Para usos general y específicamente cuando se desea moderada resistencia a los sulfatos o moderado calor de hidratación.
Tipo III	Para uso cuando se requiera altas resistencias iniciales.
Tipo IV	Para uso cuando se desea bajo calor de hidratación.
Tipo V	Para uso cuando se desea alta resistencia a los sulfatos.

Fuente: Harmsen (2005)

En el Perú, actualmente tenemos las siguientes empresas cementeras como se muestran en la Tabla 2, las cuales son las que abastecen de este material puzolánico a las construcciones de obras civiles:

Tabla 2
Empresas Cementeras

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

Fuente: Torre (2004)

Los componentes químicos del cemento Portland como se observa en la Tabla 3 se definen por el contenido de óxidos en porcentajes. Del 95% al 97% está conformado por cal, sílice, alúmina y óxido férrico.

Tabla 3
Componentes Químicos

Oxido Componente	Porcentaje Típico (%)
CaO	58 - 67
SiO ₂	16 - 26
Al ₂ O ₃	4 - 8
Fe ₂ O ₃	2 - 5
SO ₃	0.1 - 2.5
MgO	1 - 5
K ₂ O y Na ₂ O	0 - 1
Mn ₂ O ₃	0 - 3
TiO ₂	0 - 0.5
P ₂ O ₅	0 - 1.5
Perdida por calcinación	0.5 - 3

Fuente: Torre (2004)

2.3.2 Agregados

Yapuchura Platero (2019) afirma que los agregados son materiales inertes, granulares, naturales o artificiales de cantera, también llamados áridos, los cuales constituyen entre el 70% y el 75% del volumen total de la mezcla de concreto que al ser mezclados con el cemento portland y agua forman al hormigón. Para que los agregados puedan ser usados en la mezcla de diseño del concreto tienen que tener parámetros que están comprendidos entre los límites fijados por la Norma Técnica Peruana 400.012 o la norma ASTM C 33.

a) Agregado fino o arena

Mariluz y Ulloa (2018) afirman que el agregado fino es un producto que se encuentra en forma natural y que resulta de la desintegración de las rocas o piedras procesadas por la mano del hombre. Según Yapuchura Platero (2019) el agregado fino es el que pasa por el tamiz 3/8” y queda retenido en la malla N°200 como se muestra en la Tabla 4:

Tabla 4
Requisitos Granulométricos del Agregado Fino

Tamiz estándar	% en peso del material que pasa por el tamiz
3/8”	100
N°4	95 a 100
N°8	80 a 100
N°16	50 a 85
N°30	25 a 60
N°50	10 a 30
N°100	2 a 10

Fuente: Yapuchura Platero (2019)

“El agregado fino deberá tener no más de 45% retenido entre 2 tamices consecutivos de los indicados en la tabla anterior.” (Yapuchura Platero, 2019, p.27).

En la norma ASTM C33 se clasifica a la arena por su módulo de finura, el cual no deberá ser menor de 2.3 ni mayor de 3.1. Así mismo, si dicha arena varía más de 0.20 del valor asumido al ser seleccionado, deberá de ser rechazada. Los tipos de modulo de finura de la arena se muestra en la Tabla 5:

Tabla 5
Clasificación de la arena por su módulo de finura

Tipo	Módulo de Finura (gr.)
Gruesa	2.9 – 3.2
Media	2.2 – 2.9
Fina	1.5 – 2.2
Muy Fina	1.5

Fuente: Yapuchura Platero (2019)

b) Agregado grueso o Piedra

Yapuchura Platero (2019) indica que el agregado grueso es un conglomerante proveniente de la pulverización de las rocas en partículas más pequeñas por acción de fenómenos de la naturaleza y de materia artificial en las canteras.

Vega y Pareja (2021) afirma que el agregado grueso es aquel que queda retenido en el tamiz N°4. Existen tablas las cuales muestran los requisitos granulométricos del agregado grueso, clasificando los tamaños máximos nominales en relación con los porcentajes en peso que pasa por los tamices, tal como se muestra en la Tabla 6. Según el Ministerio de Vivienda (2020), en el caso que el agregado grueso no cumpla con los requisitos indicados por la Norma Técnica Peruana 400.012:2001, de ser necesario podrán ser utilizados si el constructor demuestra con ensayos de laboratorio la resistencia y durabilidad del concreto.

Tabla 6
Requisitos Granulométricos del Agregado Grueso

Tamaño Nominal (mm.)	Porcentaje que Pasa por los Tamices Normalizados												
	100	90	75	63	50	37.5	25	19	12.5	9.5	4.75	2.36	1.18
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
90.0 a 37.5													
(3 1/2" a 1 1/2")	100	90-100		25-60		0-15		0-5					
63.0 a 37.5													
(2 1/2" a 1 1/2")			100	90-100	35-70	0-15		0-5					
50.0 a 25.0													
(2" a 1")				100	90-100	35-70	0-15		0-5				
50.0 a 4.75													
(2" a #4)				100	95-100		37-70		10-30		0-5		
37.5 a 19.0													
(2 1/2" a 3/4")					100	90-100	20-55	0-15		0-5			
37.5 a 4.75													
(1 1/2" a #4)					100	95-100		35-70		10-30	0-5		
25.0 a 12.5													
(1" a 1 1/2")						100	90-100	20-55	0-10	0-5			
25.0 a 9.50													
(1" a 3/8")						100	90-100	40-85	10-40	0-15	0-5		
25.0 a 4.75													
(1" a #4)						100	95-100		25-60		0-10	0-5	
19.0 a 9.50													
(3/4" a 3/8")							100	90-100	20-55	0-15	0-5		
19.0 a 4.75													
(3/4" a #4)							100	90-100		20-55	0-10	0-5	
12.5 a 4.75													
(1/2" a #4)								100	90-100	40-70	0-15	0-15	
9.50 a 2.36													
(3/8" a #8)									100	85-100	10-30	0-10	0-5

Fuente: Yapuchura Platero (2019)

2.3.3 Agua

Sánchez de Guzmán (2001) define al agua como aquel componente del concreto que al reaccionar con el cemento experimenta reacciones químicas que le dan la propiedad de endurecer y formar un sólido. Según el Ministerio de Vivienda (2020) el agua empleada en la preparación y curado del concreto deberá ser de preferencia potable. No obstante, Torre (2004) menciona que algunas aguas no potables también pueden ser usadas si cumplen con ciertos requisitos. En el interior del país es frecuente trabajar con aguas no potables cuando se trata de obras fuera de las ciudades principales.

El agua y aire atrapado aproximado en el diseño de mezcla del hormigón se definen por el tipo de asentamiento que se requiere y los tamaños máximos nominales de piedra grande como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7
Requisitos aproximados del contenido de agua y aire de mezcla para diferentes asentamientos y tamaños máximos nominales de agregados.

Agua, pulgada por yarda de Concreto, para los tamaños de Agregados Indicados								
Revenimiento (pulg.)	3/8 pulg.	1/2 pulg.	3/4 pulg.	1 pulg.	1 1/2 pulg.	2 pulg.	3 pulg.	6 pulg.
Concreto sin Aire Incluido								
1 a 2	350	335	315	300	275	260	220	190
3 a 4	385	360	340	325	300	285	245	210
6 a 7	410	385	360	340	315	300	270	
Cantidad aproximada de aire atrapado en un concreto sin aire incluido, porcentaje.	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Concreto con Aire Incluido								
1 a 2	305	295	280	270	250	240	205	180
3 a 4	340	325	305	295	275	265	225	200
6 a 7	365	345	325	310	290	280	260	-
Promedio del contenido de aire total recomendado, para el nivel de exposición, porcentaje.	-	-	-	-	-	-	-	-

Exposición Blanda	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
Exposición Moderada	6.0	5.5	4.5	4.5	4.5	3.5	3.5	3.0
Exposición Severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

Fuente: American Concrete Institute 211.1-91 (2002)

En la Tabla 8 se muestra la relación agua/cemento siendo directamente proporcional a la resistencia a la compresión con o sin aire incorporado.

Tabla 8

Correspondencia entre la relación agua/cemento y la resistencia a la compresión.

Resistencia a la Compresión a los 28 días (kg/cm ²)	Relación agua/cemento	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
420	0.41	-
350	0.48	0.40
280	0.57	0.48
210	0.68	0.59
140	0.82	0.74

Fuente: Tabla 6.3.4 (a); American Concrete Institute 211.1-91 (2002)

2.3.4 Propiedades del Hormigón en Estado Endurecido

El hormigón en estado endurecido dispone de diferentes propiedades mecánicas.

a) Resistencia a la Compresión

Vega y Pareja (2021) definen a la resistencia a la compresión como la máxima medida de una probeta de concreto a carga axial. La NTP 339.034 (2008) es la norma usada en el Perú, la cual indica que las probetas cilíndricas serán puestas a prueba en una máquina de ensayo calibrada y equipada, la cual permitirá dar a conocer la máxima resistencia a compresión, generalmente se expresa en kg/cm² a una edad de curado de 28 días.

b) Resistencia a la Tracción

Sánchez de Guzmán (2001) menciona que la resistencia a la tracción es difícil de calcular de forma directa debido a la dificultad de colocación de las muestras en máquinas de ensayo. Harmsen (2002) afirma que la resistencia a la tracción del hormigón se encuentra aproximadamente entre un 8% a 15% de la resistencia a compresión. La norma que delimita el procedimiento de ensayo es la NTP 339.084 (2017).

c) Resistencia a la Flexión

Según Sánchez de Guzmán (2001) otra de las características mecánicas del concreto en estado endurecido es la resistencia a la flexión, la cual se determina ensayando vigas de sección cuadrada elaboradas de acuerdo a la NTP 339.078 (2012).

d) Durabilidad

Mariluz y Ulloa (2018) mencionan que la durabilidad del hormigón es la capacidad de resistir acciones provenientes de atacantes externos e internos, conservando sus propiedades físicas y químicas.

2.3.5 Norma E.060

El Ministerio de Vivienda (2020) nos menciona que la Norma E.060 nos establece las condiciones y exigencias requeridas para el análisis, diseño, materiales, construcción, control de calidad y supervisión de estructuras en las construcciones de obras civiles.

2.3.6 Norma ACI 318S-14

El reglamento ACI 318S-14 según el American Concrete Institute (2015) se utiliza para el diseño de estructuras de concreto simple o reforzado empleado para obras civiles, así como la aceptación del diseño de concreto por parte de autoridades competentes.

2.3.7 Ceniza volante

La norma ASTM C618-19 (2020) define a la ceniza volante como un residuo finamente dividido resultante de la combustión de carbón molido.

Mariluz y Ulloa (2018) mencionan que la planta termoeléctrica Ilo 21 es la única central termoeléctrica que utiliza el carbón en el país, la cual posee un campo de carbón para 200,000 toneladas. Una de las peculiaridades de esta planta es su fase de combustión de carbón que después se transforma en energía. La obtención de las cenizas volantes inicia con la llegada del carbón a un muelle. Esta es luego transportada en fajas para luego ser colocada en los silos de los calderos. Luego es llevada al pulverizador de carbón para ser aplastada y molida hasta formarse un polvo que logra pasar por la malla 200. Seguidamente, mediante tubos, es llevada a quemadores de caldero. Posteriormente, la ceniza volante es retenida por un precipitador electrostático, el cual tiene una eficacia del 99%. Finalmente, los gases de combustión se liberan mediante una chimenea.

En la Tabla 9, se muestra algunos estudios realizados en diferentes países.

Tabla 9
Estudios con Ceniza Volante

Año	Trabajo	Autor	País
2017	Aprovechamiento de subproductos de origen carbonatado en la industria del cemento y el concreto: Una revisión para evaluar su aplicación en el departamento del Huila	Fabara Hernández, Karen Viviana	Colombia
		Flóres Arias, Carlos Alberto	
		Callejas Reyes, Hanny Juliet	
2018	Effect of fly ash and silica fume on rheology, compressive strength and self-compacting in cement mixtures.	Correa Yepes, Jaime Arturo	Suiza
		Rojas Reyes, Néstor	
		I. Tobón, Jorge	
2022	Compressive strength estimation and CO ₂ reduction design of fly ash composite concrete	Yi Han	Corea del Sur
		Run-Sheng Lin	
		Xiao-Yong Wang	

2022	Comparative study on strength and durability of concrete upon partial substitution of fly ash and bagasse ash in conventional concrete.	P.J.R.L.P. Susmitha	India
		M. Kanta Rao	
2022	Effect of various fly ash and ground granulated blast furnace slag content on concrete properties: experiments and modelling.	Zhiwei Qu	Australia y Japón
		Zihao Liu	
		Ruizhe Si	
		Yingda Zhang	

Fuente: Elaboración Propia

2.3.8 Propiedades de la Ceniza Volante

En la composición química tenemos a la sílice (SiO_2), aluminio (Al_2O_3) y óxido de hierro (Fe_2O_3) en su mayoría, haciendo que este material cumpla con los requisitos de la norma ASTM C618-05 considerándola como una puzolana (Agudelo y Espinosa, 2017).

Los porcentajes mostrados en la Tabla 10 son resultados obtenidos por Bautista, Díaz & Martínez (2017).

Tabla 10
Componentes Químicos de la Ceniza Volante

Compuesto	%	Compuesto	%	Compuesto	%
SiO_2	64.87	TiO_2	1.2	SrO	0.11
Al_2O_3	24.62	P_2O_5	0.66	BaO	0.10
Fe_2O_3	4.51	Na_2O	0.52	CuO	0.09
K_2O	1.36	MgO	0.40	V_2O_5	0.05
CaO	1.33	SO_3	0.12	Zr_2O_2	0.03

Fuente: Tabla 1; Bautista, Díaz & Martínez (2017).

2.3.9 Ventajas y Desventajas

Actualmente la ceniza volante se encuentra como una de las puzolanas artificiales más usadas en el sector de la construcción. Gracias a este material puzolánico se ayuda a disminuir el uso de cemento dentro de las

mezclas, ayudando así a reciclar este desecho de las centrales termoeléctricas. La mayor desventaja que presenta este material artificial es la posible expansión reactiva alca-sílice, lo que produciría una baja potencial en las propiedades mecánicas (Mariluz y Ulloa, 2018).

2.4 Definición de Términos Básicos

2.4.1 Relación Agua/Cemento (a/c)

Según Torre (2004) la relación a/c se determina no solo por los requisitos del concreto si no por factores como la durabilidad y el acabado, siendo esta la relación del peso del agua y el peso del cemento en el diseño de mezcla del concreto.

2.4.2 Ceniza

La Norma Técnica Peruana 339.047-2006 (2016) define a la ceniza como un polvo fino subproducto de la combustión en las centrales termoeléctricas presentando propiedades similares a la del cemento como la puzolanidad.

2.4.3 Dosificación

Según la Norma Técnica Peruana 339.047-2006 (2016) la dosificación es el proceso de evaluación de pesos o volúmenes a usar en la mezcla de concreto.

2.4.4 Diseño de Mezcla

Según el American Concrete Institute ACI 318S-14 (2015) el diseño de mezcla consiste en aplicar conocimientos sobre los componentes requeridos por el concreto y por el proyecto a ejecutar, la cual dosifica y calcula las proporciones para obtener la resistencia estimada.

2.4.5 Resistencia

En las definiciones dadas por la Norma Técnica Peruana 339.047-2006 (2016) la resistencia es la capacidad máxima del concreto para soportar cargas externas, se mide llevando a cabo roturas de probetas en ensayos de laboratorio.

2.5 Fundamentos Teóricos que Sustentan la Hipótesis

Mejorar las propiedades mecánicas del concreto con la adición de nuevos materiales como la ceniza volante, tal como se aprecia en la Figura 2.

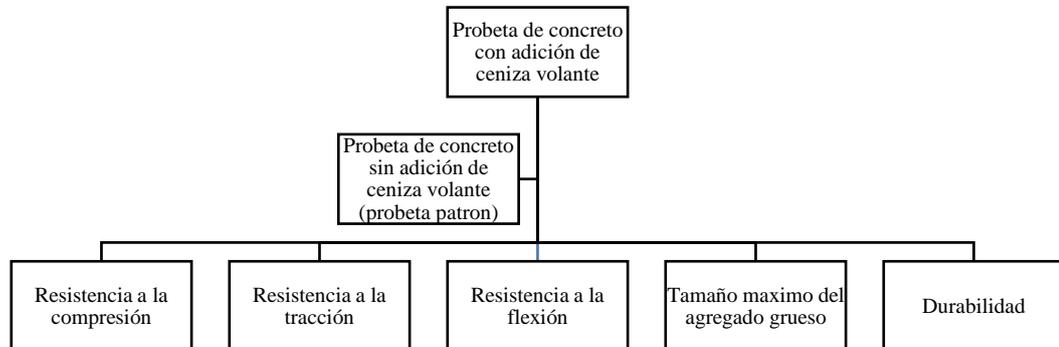


Figura 2: Fundamentos teóricos
Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS

3.1 Hipótesis

3.1.1 Hipótesis Principal

Al determinar el diseño de mezcla con adición de ceniza volante mejoran las propiedades mecánicas del hormigón estructural.

3.1.2 Hipótesis Secundarias

- a) Al determinar el óptimo porcentaje de ceniza volante se incrementa la resistencia a la compresión del hormigón estructural.
- b) Al determinar el óptimo porcentaje de ceniza volante se incrementa la resistencia a la tracción del hormigón estructural.
- c) Al determinar el óptimo porcentaje de ceniza volante se incrementa la resistencia a la flexión del hormigón estructural.
- d) Al determinar la relación agua/cemento con adición de ceniza volante se incrementa la durabilidad del hormigón estructural.
- e) Al determinar el tamaño máximo del agregado grueso incrementa la resistencia a la compresión del hormigón estructural.

3.2 Sistema de Variables

3.2.1 Definición Conceptual y Operacional

a) Variable Independiente:

Diseño de mezcla con adición de ceniza volante.

- Definición Conceptual: Es empleada en calderas a vapor en Centrales Térmicas mostrando un crecimiento en el empleo de carbón pulverizado, este desecho es utilizada como adición al cemento para la fabricación del concreto de las diferentes obras civiles, en tal sentido el objetivo del presente estudio fue la dosificación de mezclas de concreto adicionando ceniza volante de tal manera que no disminuya la resistencia y ayude a mitigar el medio ambiente (Mariluz y Ulloa, 2018).
- Definición Operacional: La ceniza volante se encuentra principalmente compuesta por óxidos como el Sílice (SiO_2) y Aluminio (Al_2O_3), cumpliendo con la norma ASTM C618 e

índice de puzolanidad teniendo una similitud con el cemento Portland (Yáñez, 2019).

Indicadores:

- Porcentaje de Ceniza Volante.
- Tamaño Máximo del Agregado grueso.
- Relación agua/cemento con adición de ceniza volante.

b) Variable Dependiente:

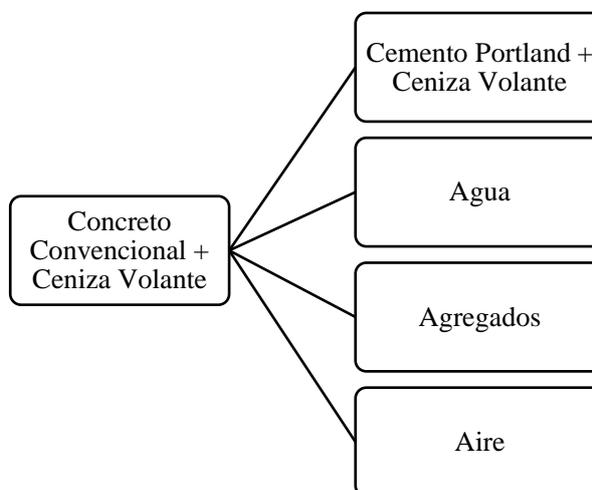
Propiedades mecánicas del concreto.

- Definición Conceptual: Están definidas por el módulo de elasticidad, resistencia a la compresión, resistencia a la tracción y resistencia a la flexión. (Quispe, 2017).
- Definición Operacional: El concreto luego de pasar al estado endurecido por unos días se procede con los ensayos de laboratorio siguiendo las Normas Técnicas Peruanas actuales. (Chuquihuaraca y Crisostomo, 2020).

Indicadores:

- Resistencia a la Compresión.
- Resistencia a la Tracción.
- Resistencia a la Flexión
- Durabilidad del Concreto.

En la Figura 3 se describe los pasos en los que se basó la investigación.



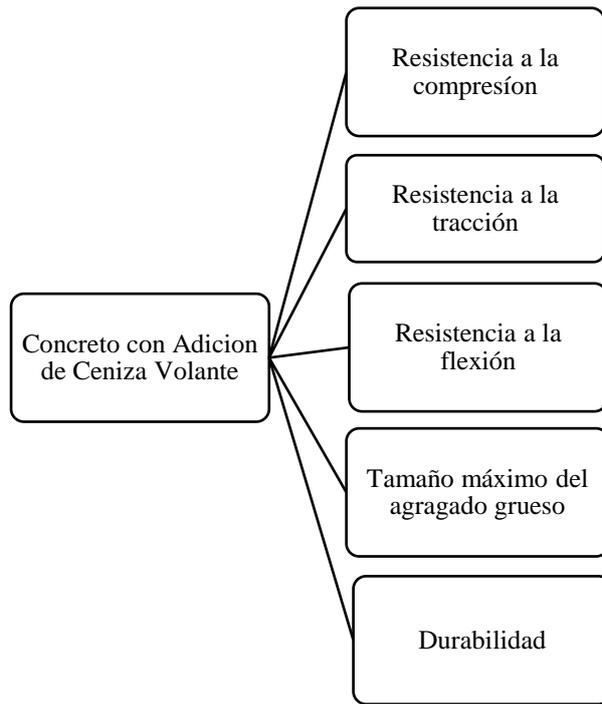


Figura 3: Diagrama de Flujo
Fuente: Elaboración Propia

3.2.2 Operalización de Variables

Tabla 11
Operalización de Variables

Variable Independiente	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicador	Índices	Unidad de Medida	Instrumento	Herramienta
Diseño de mezcla con adición de ceniza volante.	Es empleada en calderas a vapor en Centrales Térmicas mostrando un crecimiento en el empleo de carbón pulverizado, este desecho es utilizada como adición al cemento para la fabricación del concreto de las diferentes obras civiles (Mariluz y Ulloa, 2018).	La ceniza volante se encuentra principalmente compuesta por óxidos como el Sílice (SiO ₂) y Aluminio (Al ₂ O ₃), cumpliendo con la norma ASTM C618 e índice de puzolanidad teniendo una similitud con el cemento Portland (Yañez, 2019).	Técnicas	Porcentaje de ceniza volante	Porcentaje	%		
					Densidad	gr/cm ³		
					Temperatura	C°	Formato de Laboratorio de Concreto.	Especificaciones Técnicas, Norma NTP y ASTM
					Tamaño del agregado grueso	plg		
				Relación agua/cemento	Condiciones de exposición.	Clima		
Variable Dependiente	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicador	Índices	Unidad de Medida	Instrumento	Herramienta
Propiedades mecánicas del concreto.	Están definidas por el módulo de elasticidad, resistencia a la compresión, resistencia a la tracción y resistencia a la flexión. (Quispe, 2017).	El concreto luego de pasar al estado endurecido por unos días se procede con los ensayos de laboratorio siguiendo las Normas Técnicas Peruanas actuales. (Chuquihuaraca y Crisostomo, 2020).	Endurecido	Resistencia del concreto	Resistencia a la compresión	kg/cm ²		
					Resistencia a la tracción	kg/cm ²	Formato de Laboratorio de Concreto.	Especificaciones Técnicas, Norma NTP y ASTM
					Resistencia a la flexión	kg/cm ²		
					Durabilidad del concreto	Días		

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA

La presente investigación es un estudio documental, bibliográfico y descriptivo. La metodología de la investigación documental se apoya de información fundada en artículos científicos, tesis nacionales e internacionales y análisis de resultados en ensayos de laboratorios con respecto a la adición de porcentajes de cenizas volantes en el cemento siguiendo normativas vigentes para el concreto.

La investigación adopta la metodología efectuada por Chavarry, Chavarría, Valencia, Pereyra, Arieta y Rengifo (2020) quienes reforzaron un hormigón mediante la incorporación de vidrio molido para controlar la contracción plástica. El método empleado fue el deductivo, orientación aplicada, enfoque cuantitativo y como instrumento de recolección de datos retrolectivo, de tipo de investigación descriptivo, correlacional y explicativo. Utilizaron un diseño experimental, longitudinal, prospectivo y es una investigación causal dado que estudia la relación causa- efecto entre las variables dependiente e independiente revelando el efecto provechoso o desfavorable que se puede producir al variar alguna de ellas.

4.1 Método de la Investigación

El método de la investigación es el deductivo, con una orientación aplicada, con un enfoque cuantitativo, y como instrumento de recolección de datos retrolectivo por lo que se recogerá todos los datos que ensayaron los investigadores en los laboratorios de tecnología de concreto de cada institución para poder compararlos.

4.2 Tipo de la Investigación

El tipo de la investigación es descriptivo y explicativo. Es descriptivo porque detalla como la adición de la ceniza volante influye directamente a las propiedades mecánicas del hormigón estructural, explicativo porque se interpretó el comportamiento del concreto con adición de las cenizas volantes. En cuanto a las investigaciones consultadas podemos decir que son del tipo correlacional porque se propuso incrementar la resistencia mecánica del hormigón estructural utilizando un material puzolánico como lo es la ceniza volante teniendo relación entre ellos.

4.3 Nivel de la Investigación

El nivel de la investigación es descriptivo, ya que por medio de ella se busca recopilar y analizar la información obtenida de tesis de grado, artículos, libros, entre otros y llegar a un porcentaje óptimo de ceniza volantes con el que las propiedades mecánicas del hormigón estructural sean mejoradas.

4.4 Diseño de la Investigación

Según el propósito del estudio, la presente investigación es no experimental, debido a que se realiza la recolección de datos de diversas fuentes las cuales fueron obtenidas de forma experimental, ensayos donde se usa distintas dosificaciones de la variable independiente (Dosificación de ceniza volante) para observar y analizar su efecto y relación con una o más de las variables dependientes (Propiedades mecánicas del hormigón estructural). Según el número de mediciones, la presente investigación es longitudinal porque en el material bibliográfico en el cual nos basamos se realizan más de dos mediciones para poder encontrar la dosificación óptima de ceniza volante para obtener los mejores resultados en cuanto a las propiedades mecánicas del hormigón estructural. En cuanto a la cronología de las observaciones, la presente investigación es retrospectiva porque es información que ha sido recaudada de tesis y artículos ya realizados.

4.5 Población y Muestra

4.5.1 Población

La población de la investigación fue la cantidad de resultados de ensayos de laboratorios obtenidos en las tesis nacionales e internacionales y artículos de investigación, las muestras usadas de la población adoptada están hechas con normativas vigentes. Las características de dichos prototipos se pueden observar en la Figura 4.

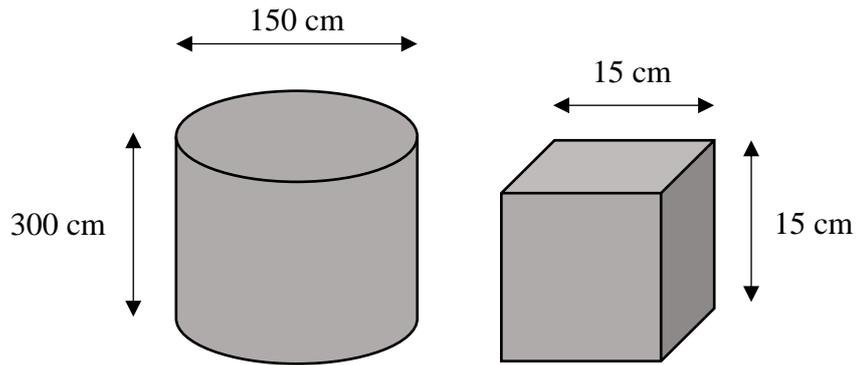


Figura 4: Características de los prototipos

Fuente: Elaboración Propia

4.5.2 Muestra

La muestra de la investigación es el conjunto de testigos con diferentes diseños de concreto y adición de ceniza volante a diferentes días de curado y rotura.

4.6 Técnicas e Instrumentación de recolección de datos

La presente investigación se apoya en recopilación de datos de diferentes tesis nacionales e internacionales y artículos científicos hallados en laboratorios de concreto, la información requerida por la investigación está haciendo uso de normativas y técnicas mediante la técnica de observación realizando una lista de chequeo.

4.6.1 Instrumento de recolección de datos

La recolección de datos para la investigación es retrolectivo ya que se obtuvo la información a futuro, es decir, después de realizar los ensayos de laboratorio.

4.6.2 Método y técnicas

- NTP 339.034:2008 CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas. 4ª Edición.
- NTP 339.084:2017 CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a tracción simple del hormigón, por compresión diametral de una probeta cilíndrica. 2ª Edición

- NTP 339.078:2012 CONCRETO. Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas en el centro del tramo.
- NTP 400.012:2001 AGREGADOS. Análisis Granulométrico del Agregado Fino, Grueso y global.
- ASTM C39/C39M-18 Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens.
- ASTM C136-96a Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates.
- ASTM C618-12 Historical Standard: Especificación normalizada para Ceniza Volante de Carbón y Puzolana Natural en Crudo o Calcinada para uso en Concreto

4.7 Descripción de procesamientos de análisis

Para el proceso de análisis se recolectaron datos de ensayos de laboratorios realizados en el pasado por los investigadores y se tomaron como muestra para la presente investigación, con el objetivo de obtener la resistencia del concreto patrón y la resistencia del concreto con adición de cenizas volantes. Para el procesamiento de los datos obtenidos se utilizó como herramienta el software Microsoft Excel, con el cual se realizaron cuadros comparativos y gráficos de barras para mostrar los diferentes resultados de las mezclas de concreto con y sin adición de cenizas volantes.

CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

5.1 Resultados de la investigación:

La adición porcentual de ceniza volante (CV) como elemento puzolánico para el hormigón presenta diferentes comportamientos en la mezcla dependiendo su estructura química, el tipo de cemento, la relación a/c, los materiales, los factores externos. Por ello, en esta investigación, se realiza una recopilación de artículos científicos, tesis nacionales e internacionales y ensayos de laboratorio que evidencian los diferentes comportamientos ante la variación porcentual de la CV.

Resultados de los óptimos porcentajes de ceniza de volante para incrementar de la resistencia a la compresión

Huaquisto y Belizario (2018)

- Sustituto parcial del cemento: El reemplazo del 2.5%, 5%, 10% y 15% de dosis de ceniza volante (CV) como sustituto parcial del cemento las cuales se utilizan en el mezclado para un diseño de concreto de 210 kg/cm².
- Contenido de la mezcla: Se llevó a cabo la preparación de la mezcla de concreto, en la cual se empleó cemento portland Tipo IP con peso específico de 3.15 gr/cm³, una relación a/c de 0.56, adicionalmente las dosis de CV en porcentajes de 2.5%, 5%, 10% y 15% al peso del cemento, el contenido de sílice (SiO₂) de la CV es de 54.32%.
- Método de ensayo: Se realizó el ensayo según el estándar nacional peruano “Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas” (N.T.P 339.034:2008).
- Resultado de ensayo experimental: Se observa en la Tabla 12 los resultados de las resistencias a la compresión con y sin adición de ceniza volante (CV), para un diseño de concreto de $f'c=210$ kg/cm², la resistencia de la mezcla patrón fue de 218 kg/cm², añadiendo 2.5%, 5%, 10% y 15% de CV, se obtienen las resistencias de 223 kg/cm², 231 kg/cm², 200 kg/cm² y 192 kg/cm² respectivamente.

Tabla 12

Resistencia a la compresión con adición de ceniza volante a los 28 días de curado

Resistencia diseño (kg/cm ²)	Ceniza volante (%)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)
210	0	218
	2.5	223
	5	231
	10	200
	15	192

Fuente: Huaquisto y Belizario (2018)

En la Figura 5 se observa que al reemplazar parcialmente la ceniza volante por el cemento al 5% da una resistencia máxima de 231 kg/cm² siendo el 5% de ceniza el porcentaje óptimo.

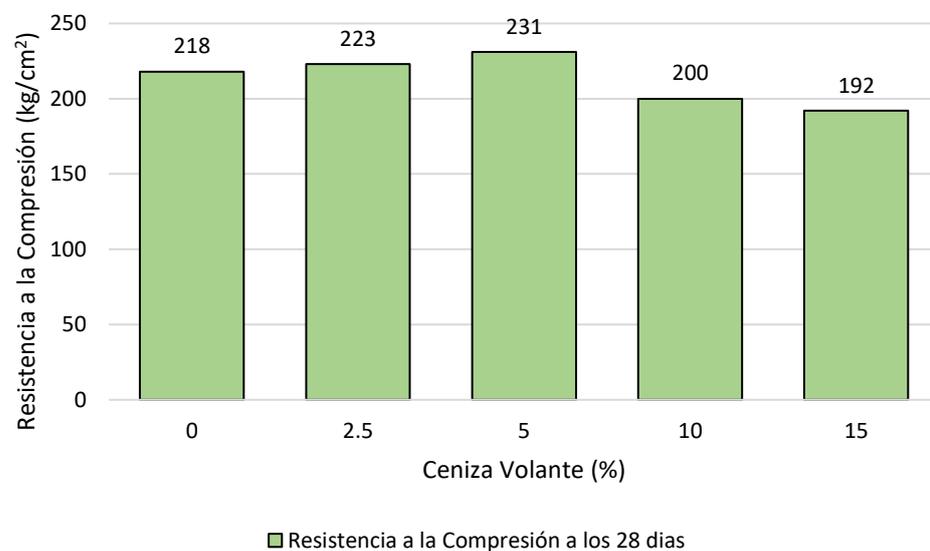


Figura 5: Resistencia a la compresión con adición de ceniza volante a los 28 días de curado.

Fuente: Huaquisto y Belizario (2018)

Yapuchura (2019)

- Sustituto parcial del cemento: El reemplazo del 2.5%, 5%, 10% y 15% de dosis de ceniza volante (CV) como sustituto parcial del cemento las cuales se utilizan en el mezclado para un diseño de concreto de 210 kg/cm².
- Contenido de la mezcla: Se llevó a cabo la preparación de la mezcla de concreto, en la cual se empleó cemento portland con peso específico de 2.85 gr/cm³, una relación a/c de 0.56, adicionalmente las dosis de CV en porcentajes de 2.5%, 5%, 10% y 15% al peso del cemento, el contenido de sílice (SiO₂) de la CV es de 57.73%.
- Método de ensayo: Se realizó el ensayo según el estándar nacional peruano “Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas” (N.T.P 339.034:2008).
- Resultado de ensayo experimental: Se observa en la Tabla 13 los resultados de las resistencias a la compresión con y sin adición de ceniza volante (CV), para un diseño de concreto de f'c=210 kg/cm², la resistencia de la mezcla patrón fue de 222 kg/cm², añadiendo 2.5%, 5%, 10% y 15% de CV se obtienen las resistencias de 236 kg/cm², 249 kg/cm², 230 kg/cm² y 194 kg/cm² respectivamente.

Tabla 13

Resistencia a la compresión con adición de ceniza volante a los 28 días de curado

Resistencia diseño (kg/cm ²)	Ceniza volante (%)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)
210	0	222
	2.5	236
	5	249
	10	230
	15	194

Fuente: Yapuchura (2019)

En la Figura 6 se observa que al reemplazar parcialmente la ceniza volante por el cemento al 5% da una resistencia máxima de 249 kg/cm² siendo el 5% de ceniza el porcentaje óptimo.

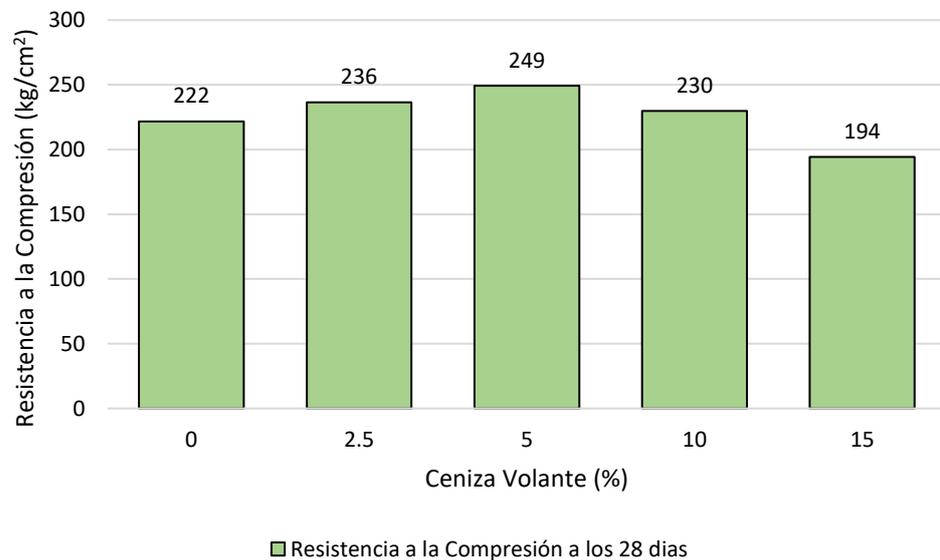


Figura 6: Resistencia a la compresión con adición de ceniza volante a los 28 días de curado.

Fuente: Yapuchura (2019)

Chuco (2021)

- Sustituto parcial del cemento: El reemplazo del 5%, 10% y 15% de dosis de ceniza volante (CV) como sustituto parcial del cemento las cuales se utilizan en el mezclado para un diseño de concreto de 280 kg/cm².
- Contenido de la mezcla: Se llevó a cabo la preparación de la mezcla de concreto, en la cual se empleó cemento portland Andino Tipo I, una relación a/c de 0.55, adicionalmente las dosis de CV en porcentajes de 5%, 10% y 15% al peso del cemento, el contenido de sílice (SiO₂) de la CV es de 52.85%.
- Método de ensayo: Se realizó el ensayo según el estándar nacional peruano “Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas” (N.T.P 339.034:2008).
- Resultado de ensayo experimental: Se observa en la Tabla 14 los resultados de las resistencias a la compresión con y sin adición de ceniza volante (CV), para un diseño de concreto de $f'c=280$ kg/cm², la resistencia de la mezcla

patrón fue de 368 kg/cm², añadiendo 5%, 10% y 15% de CV, se obtienen las resistencias de 380 kg/cm², 385 kg/cm² y 364 kg/cm² respectivamente.

Tabla 14

Resistencia a la compresión con adición de ceniza volante a los 28 días de curado

Resistencia diseño (kg/cm ²)	Ceniza volante (%)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)
280	0	368
	5	380
	10	385
	15	364

Fuente: Chuco (2021)

En la Figura 7 se observa que al reemplazar parcialmente la ceniza volante por el cemento al 10% da una resistencia máxima de 385 kg/cm² siendo el 10% de ceniza el porcentaje óptimo.

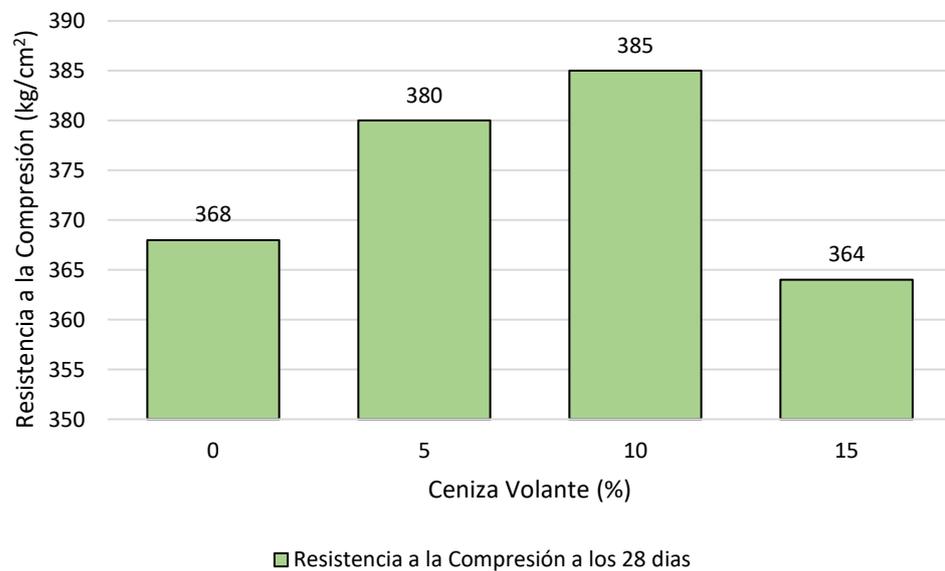


Figura 7: Resistencia a la compresión con adición de ceniza volante a los 28 días de curado.

Fuente: Chuco (2021)

Kanta & Naga (2022)

- Sustituto parcial del cemento: El reemplazo del 10%, 20%, 30%, 40%, 50% y 60% de dosis de ceniza volante (CV) como sustituto parcial del cemento las cuales se utilizan en el mezclado para un diseño de concreto de 350 kg/cm².
- Contenido de la mezcla: Se llevó a cabo la preparación de la mezcla de concreto, en la cual se empleó cemento portland de alta resistencia, una relación a/c de 0.50, adicionalmente las dosis de CV en porcentajes de 10%, 20%, 30%, 40%, 50% y 60% al peso del cemento de diferentes tamaños de partículas, el contenido de sílice (SiO₂) de la CV es mayor a 50%.
- Método de ensayo: Se realizó el ensayo según el “Standart test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens” (ASTM C39/C39M-18)
- Resultado de ensayo experimental: Se observa en la Tabla 15 los resultados de las resistencias a la compresión con y sin adición de ceniza volante (CV), para un diseño de concreto de f'c=350 kg/cm², la resistencia de la mezcla patrón fue de 466 kg/cm², añadiendo 10%, 20%, 30%, 40%, 50% y 60% de CV, se obtienen las resistencias de 488 kg/cm², 510 kg/cm², 536 kg/cm², 478 kg/cm², 390 kg/cm² y 307 kg/cm² respectivamente.

Tabla 15
Resistencia a la compresión con adición de ceniza volante a los 28 días de curado

Resistencia diseño (kg/cm ²)	Ceniza volante (%)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)
350	0	466
	10	488
	20	510
	30	536
	40	478
	50	390
	60	307

Fuente: Kanta & Naga (2022)

En la Figura 8 se observa que al reemplazar parcialmente la ceniza volante por el cemento al 30% da una resistencia máxima de 536 kg/cm² siendo el 30% de ceniza el porcentaje óptimo.

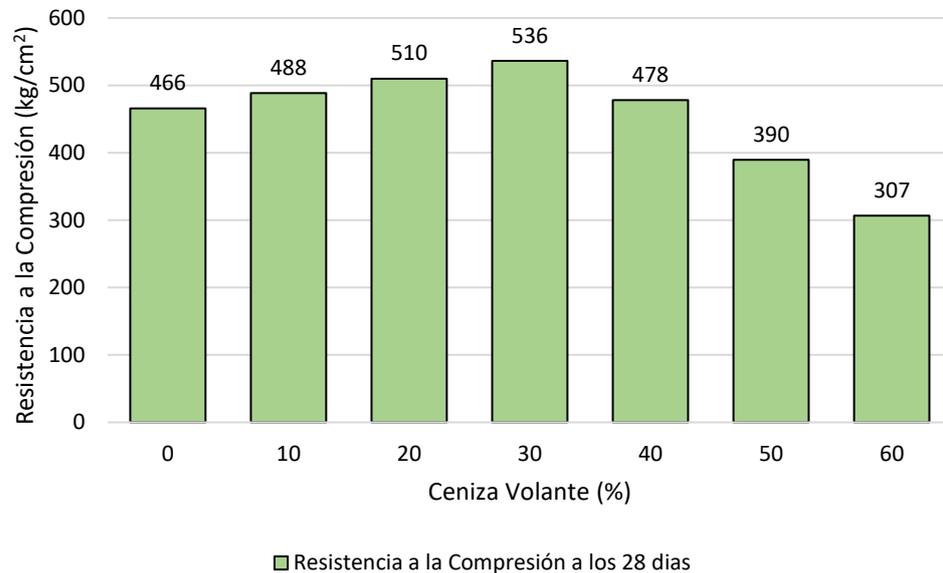


Figura 8: Resistencia a la compresión con adición de ceniza volante a los 28 días de curado.

Fuente: Kanta & Naga (2022)

Imrose; Sheikh; Md. Ferdous & Md. Shajib (2018)

- Sustituto parcial del cemento: El reemplazo del 5%, 15%, 25% y 35% de dosis de ceniza volante (CV) como sustituto parcial del cemento las cuales se utilizan en el mezclado para un diseño de concreto de 49.5Mpa o 505 kg/cm².
- Contenido de la mezcla: Se llevó a cabo la preparación de la mezcla de concreto, en la cual se empleó cemento portland de alta resistencia, una relación a/c de 0.40, adicionalmente las dosis de CV en porcentajes de del 5%, 15%, 25% y 35% al peso del cemento de diferentes tamaños de partículas, el contenido de sílice (SiO₂) de la CV es 55.1%.
- Método de ensayo: Se realizó el ensayo según el “Standart test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens” (ASTM C39/C39M-18)
- Resultado de ensayo experimental: Se observa en la Tabla 16 los resultados de las resistencias a la compresión con y sin adición de ceniza volante (CV), para un diseño de concreto de $f'c=505$ kg/cm², la resistencia de la mezcla patrón fue de 459 kg/cm², añadiendo 5%, 15%, 25% y 35% de CV, se obtienen las

resistencias de 500 kg/cm², 555 kg/cm², 589 kg/cm² y 444 kg/cm² respectivamente.

Tabla 16

Resistencia a la compresión con adición de ceniza volante a los 28 días de curado

Resistencia diseño (kg/cm ²)	Ceniza volante (%)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)
505	0	459
	5	500
	15	555
	25	489
	35	444

Fuente: Imrose; Sheikh; Md. Ferdous & Md. Shajib (2018)

En la Figura 9 se observa que al reemplazar parcialmente la ceniza volante por el cemento al 15% da una resistencia máxima de 555 kg/cm² siendo el 15% de ceniza el porcentaje óptimo.

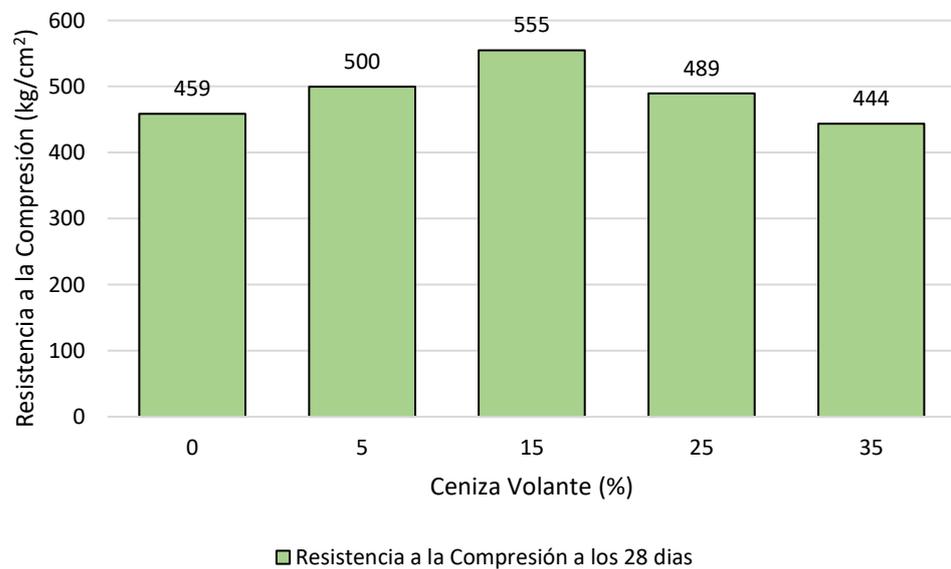


Figura 9: Resistencia a la compresión con adición de ceniza volante a los 28 días de curado.

Fuente: Imrose; Sheikh; Md. Ferdous & Md. Shajib (2018)

Resultados de los óptimos porcentajes de ceniza de volante para incrementar de la resistencia a la tracción

Kanta & Naga (2022)

- Sustituto parcial del cemento: El reemplazo del 10%, 20%, 30% y 40% de dosis de ceniza volante (CV) como sustituto parcial del cemento las cuales se utilizan en el mezclado para un diseño de concreto de 350 kg/cm².
- Contenido de la mezcla: Se llevó a cabo la preparación de la mezcla de concreto, en la cual se empleó cemento portland de alta resistencia, una relación a/c de 0.50, adicionalmente las dosis de CV en porcentajes de 10%, 20%, 30% y 40% al peso del cemento de diferentes tamaños de partículas, el contenido de sílice (SiO₂) de la CV es mayor a 50%.
- Método de ensayo: Se realizó el ensayo según el “Standart test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens” (ASTM C39/C39M-18)
- Resultado de ensayo experimental: Se observa en la Tabla 17 los resultados de las resistencias a la tracción con y sin adición de ceniza volante (CV), para un diseño de concreto de $f^c=350$ kg/cm², la resistencia de la mezcla patrón fue de 35 kg/cm², añadiendo 10%, 20%, 30% y 40% de CV, se obtienen las resistencias de 36 kg/cm², 37 kg/cm², 37 kg/cm² y 34 kg/cm² respectivamente.

Tabla 17

Resistencia a la tracción con adición de ceniza volante a los 28 días de curado

R a/c	Ceniza volante (%)	Resistencia a la Tracción (kg/cm ²)
0.50	0	35
	10	36
	20	37
	30	37
	40	34

Fuente: Kanta & Naga (2022)

En la Figura 10 se observa que al reemplazar parcialmente la ceniza volante por el cemento al 30% da una resistencia máxima de 37 kg/cm² siendo el 30% de ceniza el porcentaje óptimo.

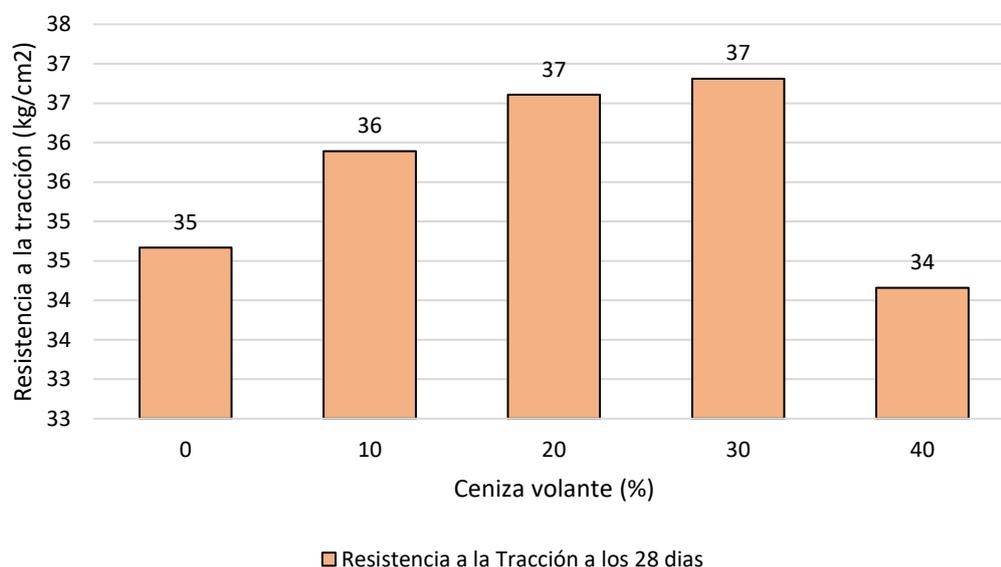


Figura 10: Resistencia a la tracción con adición de ceniza volante a los 28 días de curado.

Fuente: Kanta & Naga (2022)

Susmitha; P. J. & Rao, M. K. (2022)

- Sustituto parcial del cemento: El reemplazo del 10%, 20%, 30% y 40% de dosis de ceniza volante (CV) como sustituto parcial del cemento las cuales se utilizan en el mezclado para un diseño de concreto de 300 kg/cm².
- Contenido de la mezcla: Se llevó a cabo la preparación de la mezcla de concreto, en la cual se empleó cemento portland M53, una relación a/c de 0.40, adicionalmente las dosis de CV en porcentajes de 10%, 20%, 30% y 40% al peso del cemento, el contenido de sílice (SiO₂) de la CV es de 59.10%.
- Método de ensayo: Se realizó el ensayo según el “Standart test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens” (ASTM C39/C39M-18).
- Resultado de ensayo experimental: Se observa en la Tabla 18 los resultados de las resistencias a la tracción con y sin adición de ceniza volante (CV), para un diseño de concreto de $f^c=300$ kg/cm², la resistencia de la mezcla patrón fue de 35 kg/cm², añadiendo 10%, 20%, 30% y 40% de CV, se obtienen las resistencias de 36 kg/cm², 41 kg/cm², 44 kg/cm² y 36 kg/cm² respectivamente.

Tabla 18
Resistencia a la tracción con adición de ceniza volante a los 28 días de curado

R a/c	Ceniza volante (%)	Resistencia a la Tracción (kg/cm ²)
0.40	0	35
	10	36
	20	41
	30	44
	40	36

Fuente: Susmitha; P. J.; & Rao, M. K. (2022)

En la Figura 11 se observa que al reemplazar parcialmente la ceniza volante por el cemento al 30% da una resistencia máxima de 44 kg/cm² siendo el 30% de ceniza el porcentaje óptimo.

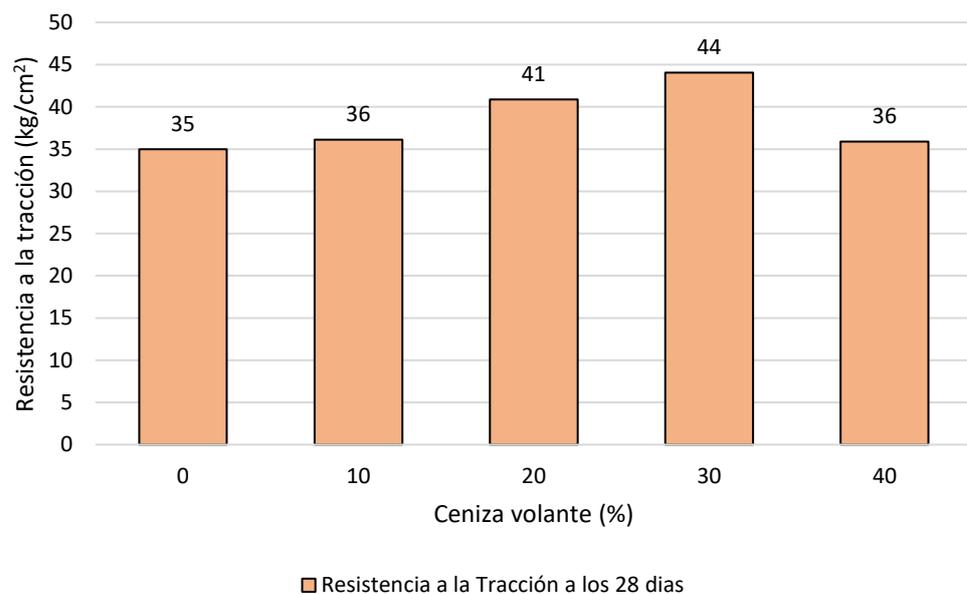


Figura 11: Resistencia a la tracción con adición de ceniza volante a los 28 días de curado.

Fuente: Susmitha; P. J.; & Rao, M. K. (2022)

Dr. K. Srinivasu et. al. (2022)

- Sustituto parcial del cemento: El reemplazo del 4%, 8%, 12% y 16% de dosis de ceniza volante (CV) como sustituto parcial del cemento las cuales se utilizan en el mezclado para un diseño de concreto de 400 kg/cm².

- Contenido de la mezcla: Se llevó a cabo la preparación de la mezcla de concreto, en la cual se empleó cemento portland M40, una relación a/c de 0.35, adicionalmente las dosis de CV en porcentajes de 4%, 8%, 12% y 16% al peso del cemento.
- Método de ensayo: Se realizó el ensayo según el “Standart test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens” (ASTM C39/C39M-18).
- Resultado de ensayo experimental: Se observa en la Tabla 19 los resultados de las resistencias a la tracción con y sin adición de ceniza volante (CV), para un diseño de concreto de $f^c=400 \text{ kg/cm}^2$, la resistencia de la mezcla patrón fue de 50 kg/cm^2 , añadiendo 4%, 8%, 12% y 16% de CV, se obtienen las resistencias de 51 kg/cm^2 , 52 kg/cm^2 , 55 kg/cm^2 y 54 kg/cm^2 respectivamente.

Tabla 19
Resistencia a la tracción con adición de ceniza volante a los 28 días de curado

R a/c	Ceniza volante (%)	Resistencia a la Tracción (kg/cm^2)
0.35	0	50
	4	51
	8	52
	12	55
	16	54

Fuente: Dr. K. Srinivasu et. al. (2022)

En la Figura 12 se observa que al reemplazar parcialmente la ceniza volante por el cemento al 12% da una resistencia máxima de 55 kg/cm^2 siendo el 12% de ceniza el porcentaje óptimo.

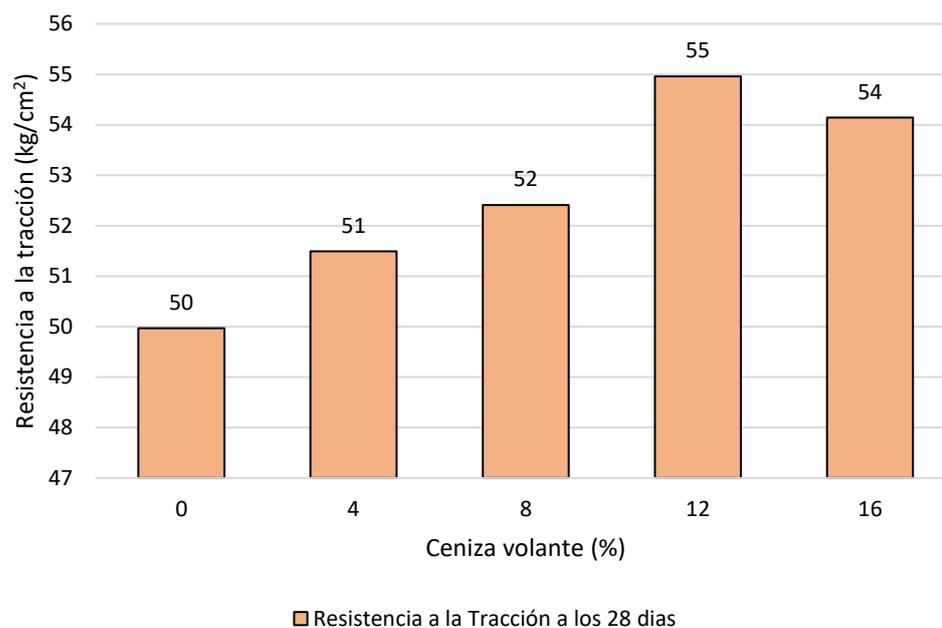


Figura 12: Resistencia a la tracción con adición de ceniza volante a los 28 días de curado.

Fuente: Dr. K. Srinivasu et. al. (2022)

Resultados de los óptimos porcentajes de ceniza de volante para incrementar de la resistencia a la flexión

Yapuchura (2019)

- Sustituto parcial del cemento: El reemplazo del 2.5%, 5%, 10% y 15% de dosis de ceniza volante (CV) como sustituto parcial del cemento las cuales se utilizan en el mezclado para un diseño de concreto de 210 kg/cm².
- Contenido de la mezcla: Se llevó a cabo la preparación de la mezcla de concreto, en la cual se empleó cemento portland con peso específico de 2.85 gr/cm³, una relación a/c de 0.56, adicionalmente las dosis de CV en porcentajes de 2.5%, 5%, 10% y 15% al peso del cemento, el contenido de sílice (SiO₂) de la CV es de 57.73%.
- Método de ensayo: Se realizó el ensayo según el estándar nacional peruano “Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas” (N.T.P 339.034:2008).
- Resultado de ensayo experimental: Se observa en la Tabla 20 los resultados de las resistencias a la flexión con y sin adición de ceniza volante (CV), para un diseño de concreto de f^c=210 kg/cm², la resistencia de la mezcla patrón

fue de 38 kg/cm², añadiendo 2.5%, 5%, 10% y 15% de CV, se obtienen las resistencias de 40 kg/cm², 41 kg/cm², 36 kg/cm² y 31 kg/cm² respectivamente.

Tabla 20
Resistencia a la flexión con adición de ceniza volante a los 28 días de curado

R a/c	Ceniza volante (%)	Resistencia a la flexión (kg/cm ²)
0.56	0	38
	2.5	40
	5	41
	10	36
	15	31

Fuente: Yapuchura (2019)

En la Figura 13 se observa que al reemplazar parcialmente la ceniza volante por el cemento al 5% da una resistencia máxima de 41 kg/cm² siendo el 5% de ceniza el porcentaje óptimo.

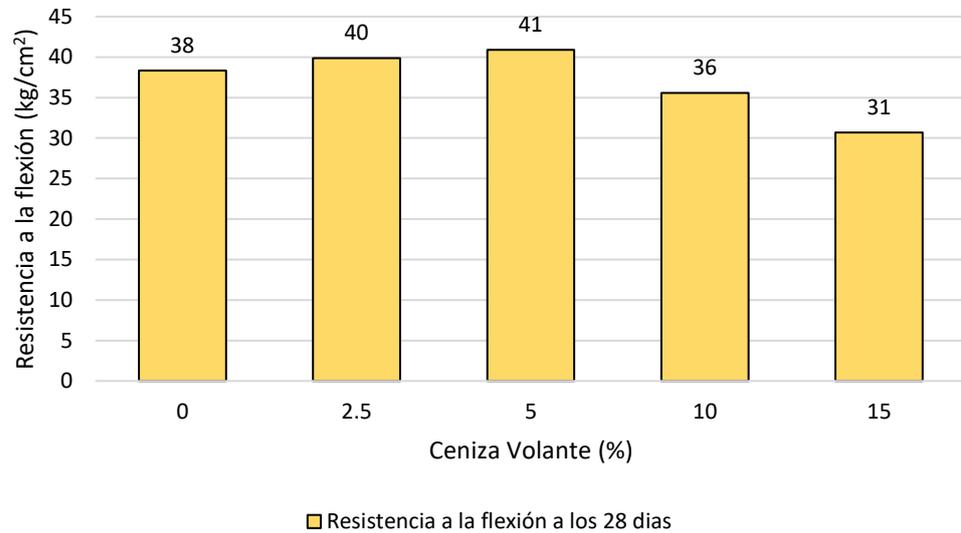


Figura 13: Resistencia a la flexión con adición de ceniza volante a los 28 días de curado.

Fuente: Yapuchura (2019)

Chuco (2021)

- Sustituto parcial del cemento: El reemplazo del 5%, 10% y 15% de dosis de ceniza volante (CV) como sustituto parcial del cemento las cuales se utilizan en el mezclado para un diseño de concreto de 280 kg/cm².
- Contenido de la mezcla: Se llevó a cabo la preparación de la mezcla de concreto, en la cual se empleó cemento portland Andino Tipo I, una relación a/c de 0.55, adicionalmente las dosis de CV en porcentajes de 5%, 10% y 15% al peso del cemento, el contenido de sílice (SiO₂) de la CV es de 52.85%.
- Método de ensayo: Se realizó el ensayo según el estándar nacional peruano “Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas” (N.T.P 339.034:2008).
- Resultado de ensayo experimental: Se observa en la Tabla 21 los resultados de las resistencias a la flexión con y sin adición de ceniza volante (CV), para un diseño de concreto de f^c=280 kg/cm², la resistencia de la mezcla patrón fue de 50 kg/cm², añadiendo 5%, 10% y 15% de CV, se obtienen las resistencias de 51 kg/cm², 52 kg/cm² y 49 kg/cm² respectivamente.

Tabla 21
Resistencia a la flexión con adición de ceniza volante a los 28 días de curado

R a/c	Ceniza volante (%)	Resistencia a la flexión (kg/cm ²)
0.55	0	50
	5	51
	10	52
	15	49

Fuente: Chuco (2021)

En la Figura 14 se observa que al reemplazar parcialmente la ceniza volante por el cemento al 10% da una resistencia máxima de 52 kg/cm² siendo el 10% de ceniza el porcentaje óptimo.

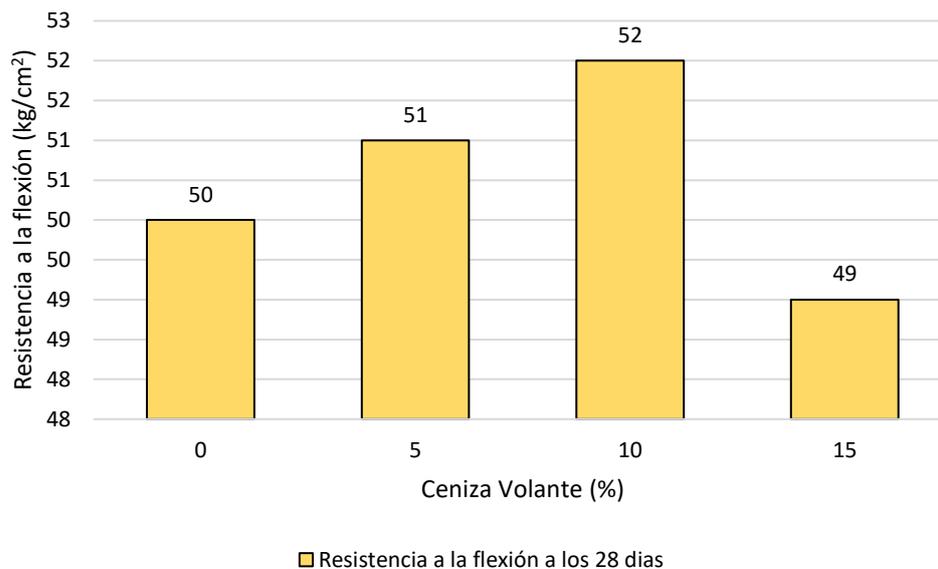


Figura 14: Resistencia a la flexión con adición de ceniza volante a los 28 días de curado.

Fuente: Chuco (2021)

Kanta & Naga (2022)

- Sustituto parcial del cemento: El reemplazo del 0%, 10%, 20%, 30% y 40 de dosis de ceniza volante (CV) como sustituto parcial del cemento las cuales se utilizan en el mezclado para un diseño de concreto de 350 kg/cm².
- Contenido de la mezcla: Se llevó a cabo la preparación de la mezcla de concreto, en la cual se empleó cemento portland de alta resistencia, una relación a/c de 0.50, adicionalmente las dosis de CV en porcentajes de del 0%, 10%, 20%, 30% y 40% al peso del cemento de diferentes tamaños de partículas, el contenido de sílice (SiO₂) de la CV es mayor a 50%.
- Método de ensayo: Se realizó el ensayo según el “Standart test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens” (ASTM C39/C39M-18)
- Resultado de ensayo experimental: Se observa en la Tabla 22 los resultados de las resistencias a la flexión con y sin adición de ceniza volante (CV), para un diseño de concreto de $f^c=350$ kg/cm², la resistencia de la mezcla patrón fue de 52 kg/cm², añadiendo 10%, 20%, 30% y 40% de CV, se obtienen las resistencias de 54 kg/cm², 55 kg/cm², 54 kg/cm² y 53 kg/cm² respectivamente.

Tabla 22

Resistencia a la flexión con adición de ceniza volante a los 28 días de curado

R a/c	Ceniza volante (%)	Resistencia a la flexión (kg/cm ²)
0.50	0	52
	10	54
	20	55
	30	54
	40	53

Fuente: Kanta & Naga (2022)

En la Figura 15 se observa que al reemplazar parcialmente la ceniza volante por el cemento al 20% da una resistencia máxima de 55 kg/cm² siendo el 20% de ceniza el porcentaje óptimo.

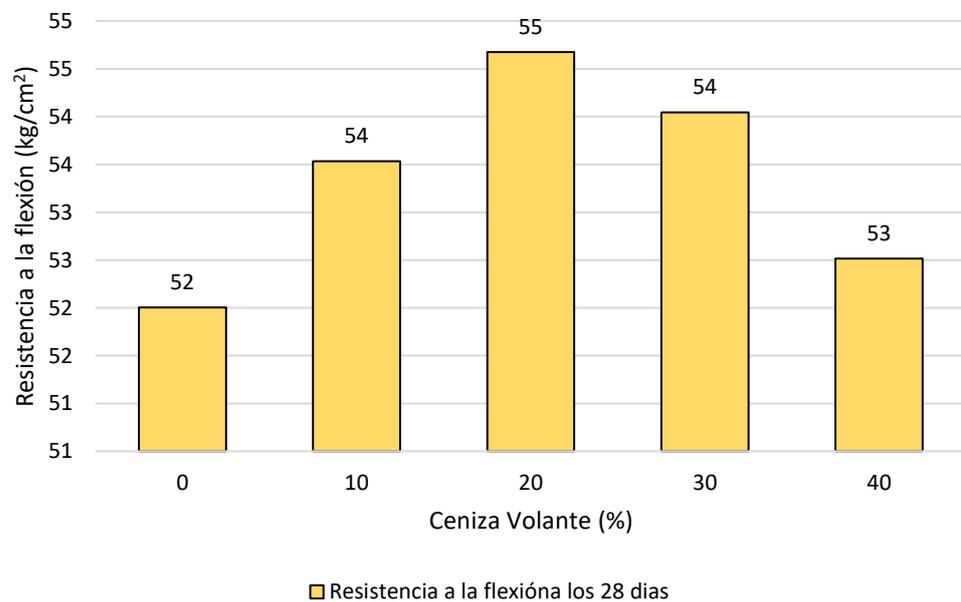


Figura 15: Resistencia a la flexión con adición de ceniza volante a los 28 días de curado.

Fuente: Kanta & Naga (2022)

Susmitha; P. J. & Rao, M. K. (2022)

- Sustituto parcial del cemento: El reemplazo del 10%, 20%, 30% y 40% de dosis de ceniza volante (CV) como sustituto parcial del cemento las cuales se utilizan en el mezclado para un diseño de concreto de 300 kg/cm².
- Contenido de la mezcla: Se llevó a cabo la preparación de la mezcla de concreto, en la cual se empleó cemento portland, una relación a/c de 0.40, adicionalmente las dosis de CV en porcentajes de 10%, 20%, 30% y 40% al peso del cemento, el contenido de sílice (SiO₂) de la CV es de 59.10%.
- Método de ensayo: Se realizó el ensayo según el “Standart test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens” (ASTM C39/C39M-18).
- Resultado de ensayo experimental: Se observa en la Tabla 23 los resultados de las resistencias a la flexión con y sin adición de ceniza volante (CV), para un diseño de concreto de $f^c=300$ kg/cm², la resistencia de la mezcla patrón fue de 54 kg/cm², añadiendo 10%, 20%, 30% y 40% de CV, se obtienen las resistencias de 56 kg/cm², 57 kg/cm², 64 kg/cm² y 55 kg/cm² respectivamente.

Tabla 23
Resistencia a la flexión con adición de ceniza volante a los 28 días de curado

R a/c	Ceniza volante (%)	Resistencia a la flexión (kg/cm ²)
0.40	0	54
	10	56
	20	57
	30	64
	40	55

Fuente: Susmitha; P. J.; & Rao, M. K. (2022)

En la Figura 16 se observa que al reemplazar parcialmente la ceniza volante por el cemento al 30% da una resistencia máxima de 64 kg/cm² siendo el 30% de ceniza el porcentaje óptimo.

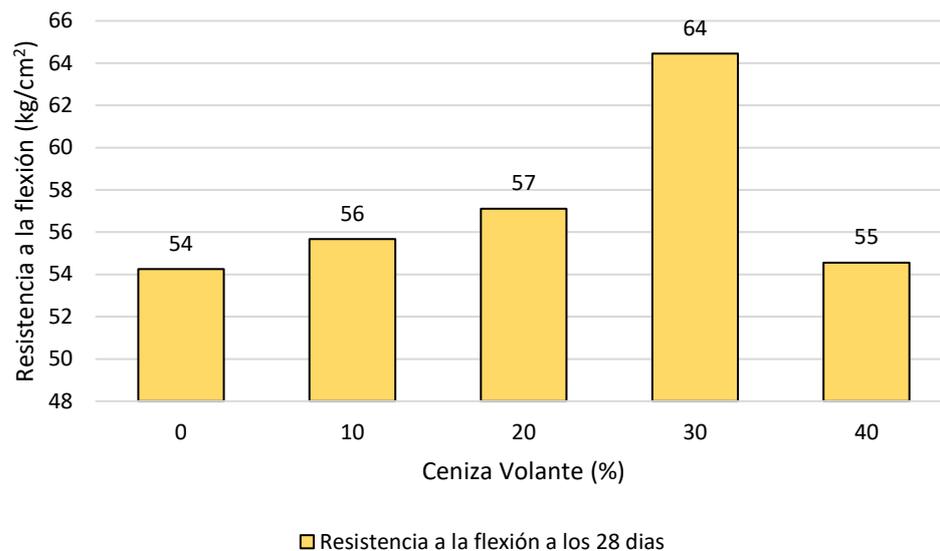


Figura 16: Resistencia a la flexión con adición de ceniza volante a los 28 días de curado.

Fuente: Susmitha; P. J.; & Rao, M. K. (2022)

Resultados al determinar la relación agua/cemento con adición de ceniza volante para incrementar la durabilidad del hormigón estructural

Huaquisto y Belizario (2018)

- Sustituto parcial del cemento: El reemplazo del 2.5%, 5%, 10% y 15% de dosis de ceniza volante (CV) como sustituto parcial del cemento las cuales se utilizan en el mezclado para un diseño de concreto de 210 kg/cm².
- Contenido de la mezcla: Se llevó a cabo la preparación de la mezcla de concreto, en la cual se empleó cemento portland Tipo IP con peso específico de 3.15 gr/cm³, una relación a/c de 0.56, adicionalmente las dosis de CV en porcentajes de 2.5%, 5%, 10% y 15% al peso del cemento, el contenido de sílice (SiO₂) de la CV es de 54.32%.
- Método de ensayo: Se realizó el ensayo según el estándar nacional peruano “Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas” (N.T.P 339.034:2008).
- Resultado de ensayo experimental: Se observa en la Tabla 24 los resultados de las resistencias a la compresión con y sin adición de ceniza volante (CV), para un diseño de concreto de f’c=210 kg/cm², la resistencia de la mezcla patrón fue de 218 kg/cm² añadiéndole 2.5%, 5%, 10% y 15% de CV, se

obtienen las resistencias de 223 kg/cm², 231 kg/cm², 200 kg/cm² y 192 kg/cm² respectivamente.

Tabla 24

Resistencia a la compresión con adición de ceniza volante con relación a/c de 0.56 a los 28 días de curado

R a/c	Ceniza volante (%)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)
0.56	0	218
	2.5	223
	5	231
	10	200
	15	192

Fuente: Huaquisto y Belizario (2018)

En la Figura 17 se observa que al reemplazar parcialmente la ceniza volante por el cemento al 5% da una resistencia máxima de 231 kg/cm² siendo el 5% de ceniza el porcentaje óptimo.

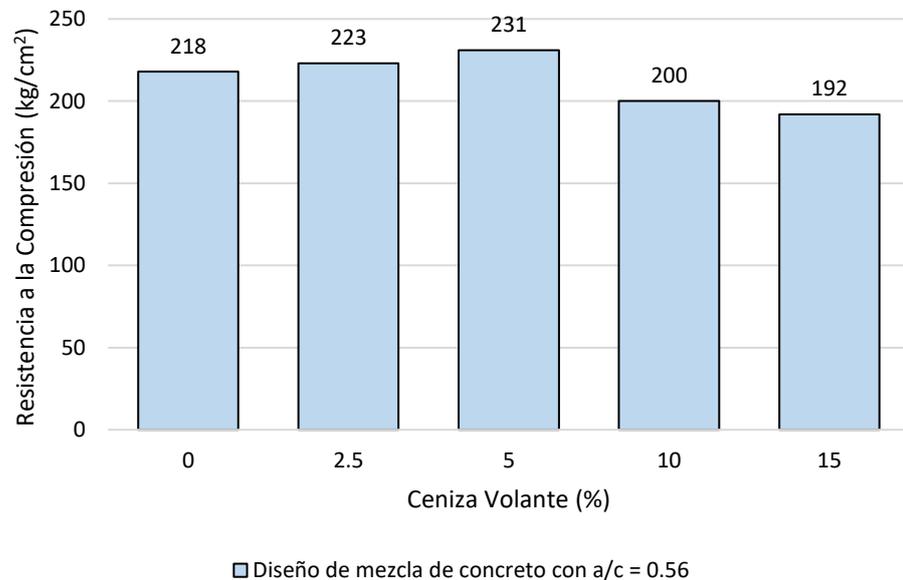


Figura 17: Resistencia a la compresión con adición de ceniza volante con relación a/c de 0.56 a los 28 días de curado.

Fuente: Huaquisto y Belizario (2018)

Yapuchura (2019)

- Sustituto parcial del cemento: El reemplazo del 2.5%, 5%, 10% y 15% de dosis de ceniza volante (CV) como sustituto parcial del cemento las cuales se utilizan en el mezclado para un diseño de concreto de 210 kg/cm².
- Contenido de la mezcla: Se llevó a cabo la preparación de la mezcla de concreto, en la cual se empleó cemento portland con peso específico de 2.85 gr/cm³, una relación a/c de 0.52, adicionalmente las dosis de CV en porcentajes de 2.5%, 5%, 10% y 15% al peso del cemento, el contenido de sílice (SiO₂) de la CV es de 57.73%.
- Método de ensayo: Se realizó el ensayo según el estándar nacional peruano “Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas” (N.T.P 339.034:2008).
- Resultado de ensayo experimental: Se observa en la Tabla 25 los resultados de las resistencias a la compresión con y sin adición de ceniza volante (CV), para un diseño de concreto de cuyo f'c=210 kg/cm², la resistencia de la mezcla patrón fue de 222 kg/cm², añadiendo 2.5%, 5%, 10% y 15% de CV, se obtienen las resistencias de 236 kg/cm², 249 kg/cm², 230 kg/cm² y 194 kg/cm² respectivamente.

Tabla 25

Resistencia a la compresión con adición de ceniza volante con relación a/c de 0.52 a los 28 días de curado

R a/c	Ceniza volante (%)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)
0.52	0	222
	2.5	236
	5	249
	10	230
	15	194

Fuente: Yapuchura (2019)

En la Figura 18 se observa que al reemplazar parcialmente la ceniza volante por el cemento al 5% da una resistencia máxima de 249 kg/cm² siendo el 5% de ceniza el porcentaje óptimo.

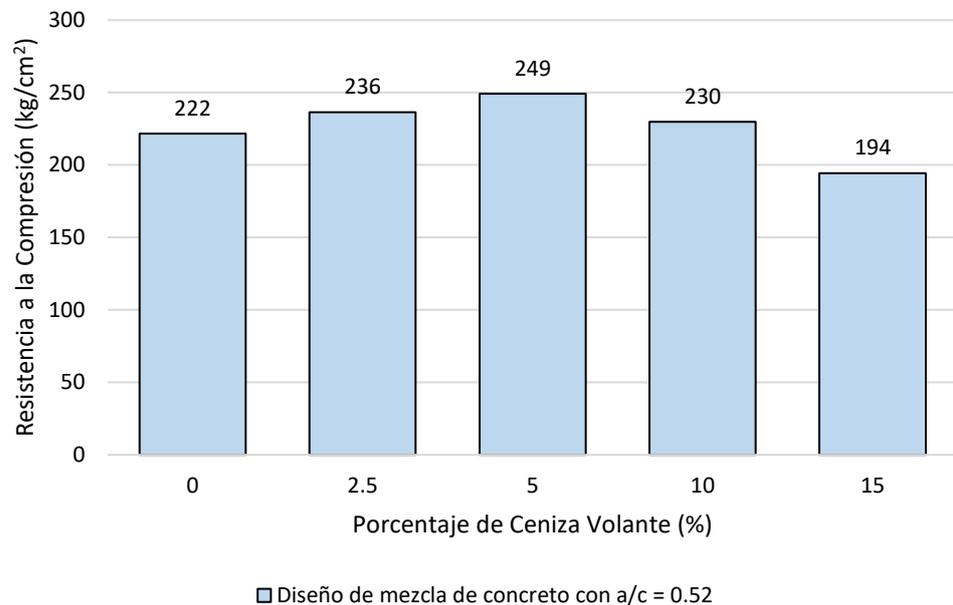


Figura 18: Resistencia a la compresión con adición de ceniza volante con relación a/c de 0.52 a los 28 días de curado.

Fuente: Yapuchura (2019)

Pérez (2019)

- Sustituto parcial del cemento: El reemplazo del 5%, 10%, 15%, 20% y 25% de dosis de ceniza volante (CV) como sustituto parcial del cemento las cuales se utilizan en el mezclado para un diseño de concreto de 210 kg/cm².
- Contenido de la mezcla: Se llevó a cabo la preparación de la mezcla de concreto, en la cual se empleó cemento portland con peso específico de 2.85 gr/cm³, una relación a/c de 0.60, adicionalmente las dosis de CV en porcentajes de 5%, 10%, 15%, 20% y 25% al peso del cemento, el contenido de sílice (SiO₂) de la CV es de 50.18%.
- Método de ensayo: Se realizó el ensayo según el estándar nacional peruano “Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas” (N.T.P 339.034:2008).

- Resultado de ensayo experimental: Se observa en la Tabla 26 los resultados de las resistencias a la compresión con y sin adición de ceniza volante (CV), para un diseño de concreto cuyo $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, la resistencia de la mezcla patrón fue de 217 kg/cm^2 , añadiendo el 5%, 10%, 15%, 20% y 25% de CV, se obtienen las resistencias de 233 kg/cm^2 , 230 kg/cm^2 , 214 kg/cm^2 , 197 kg/cm^2 y 181 kg/cm^2 respectivamente.

Tabla 26

Resistencia a la compresión con adición de ceniza volante con relación a/c de 0.60 a los 28 días de curado

R a/c	Ceniza volante (%)	Resistencia a la compresión (kg/cm^2)
0.60	0	217
	5	233
	10	230
	15	214
	20	197
	25	181

Fuente: Pérez (2019)

En la Figura 19 se observa que al reemplazar parcialmente la ceniza volante por el cemento al 5% da una resistencia máxima de 233 kg/cm^2 siendo el 5% de ceniza el porcentaje óptimo.

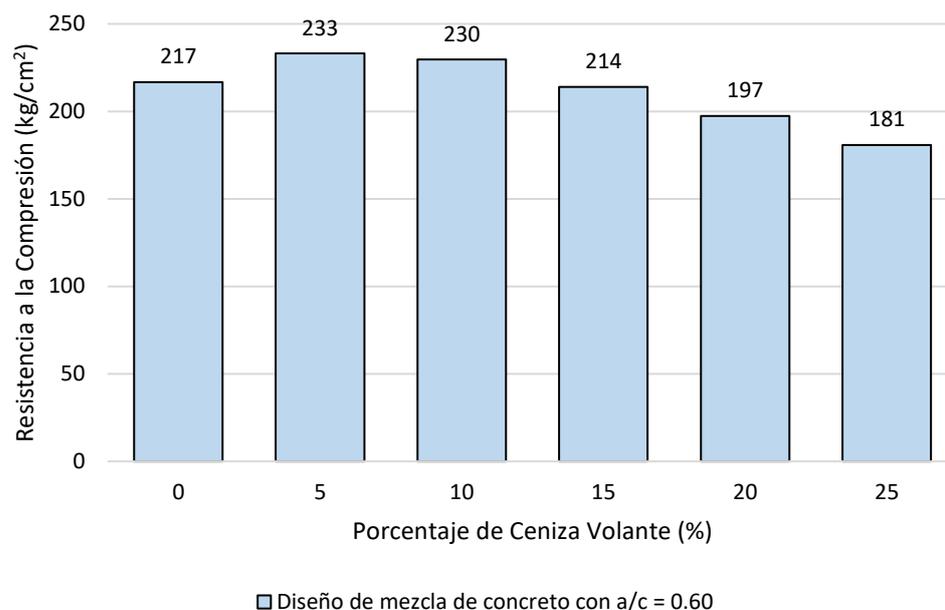


Figura 19: Resistencia a la compresión con adición de ceniza volante con relación a/c de 0.60 a los 28 días de curado.

Fuente: Pérez (2019)

Resultados al determinar el óptimo tamaño máximo del agregado grueso para incrementar la resistencia a la compresión del hormigón estructural

Huaquisto y Belizario (2018)

- Sustituto parcial del cemento: El reemplazo del 2.5%, 5%, 10% y 15% de dosis de ceniza volante (CV) como sustituto parcial del cemento las cuales se utilizan en el mezclado para un diseño de concreto de 210 kg/cm².
- Tamaño máximo: En la granulometría que realizaron en la investigación indica tener un tamaño máximo de 1 ½”.
- Contenido de la mezcla: Se llevó a cabo la preparación de la mezcla de concreto, en la cual se empleó cemento portland Tipo IP con peso específico de 3.15 gr/cm³, una relación a/c de 0.56, adicionalmente las dosis de CV en porcentajes de 2.5%, 5%, 10% y 15% al peso del cemento, el contenido de sílice (SiO₂) de la CV es de 54.32%.
- Método de ensayo: Se realizó el ensayo según el estándar nacional peruano “Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas” (N.T.P 339.034:2008).
- Resultado de ensayo experimental: Se observa en la Tabla 27 los resultados de las resistencias a la compresión con y sin adición de ceniza volante (CV),

para un diseño de concreto de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, la resistencia de mezcla patrón fue de 218 kg/cm^2 , añadiendo 2.5%, 5%, 10% y 15% de CV, se obtienen las resistencias de 223 kg/cm^2 , 231 kg/cm^2 , 200 kg/cm^2 y 192 kg/cm^2 respectivamente.

Tabla 27

Resistencia a la compresión con adición de ceniza volante con tamaño máximo $1 \frac{1}{2}$ " a los 28 días de curado

Tamaño máximo (pulg)	Ceniza volante (%)	Resistencia a la compresión (kg/cm^2)
$1 \frac{1}{2}$ "	0	218
	2.5	223
	5	231
	10	200
	15	192

Fuente: Huaquisto y Belizario (2018)

En la Figura 20 se observa que al reemplazar parcialmente la ceniza volante por el cemento al 5% da una resistencia máxima de 231 kg/cm^2 siendo el 5% de ceniza el porcentaje óptimo.

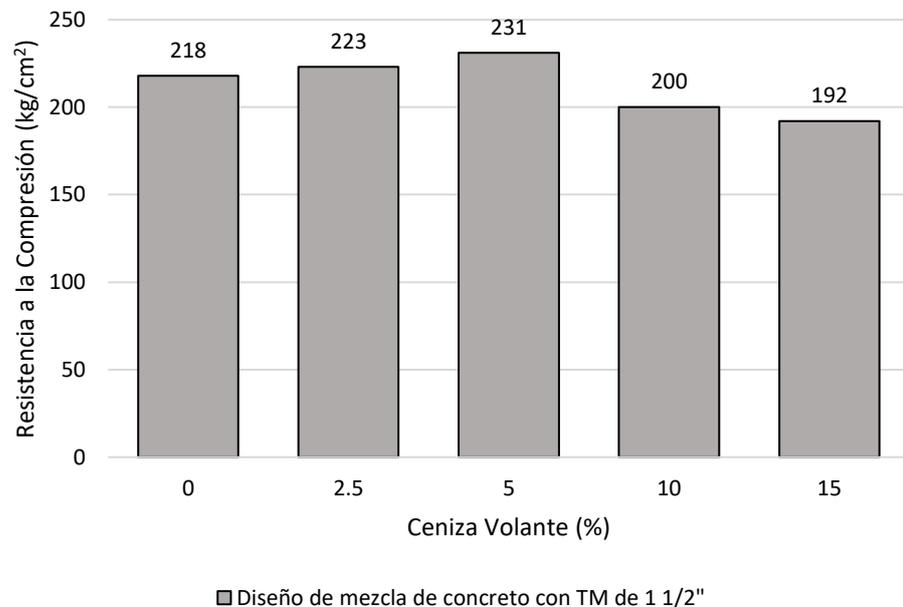


Figura 20: Resistencia a la compresión con adición de ceniza volante con tamaño máximo $1 \frac{1}{2}$ " a los 28 días de curado.

Fuente: Huaquisto y Belizario (2018)

Yapuchura (2019)

- Sustituto parcial del cemento: El reemplazo del 2.5%, 5%, 10% y 15% de dosis de ceniza volante (CV) como sustituto parcial del cemento las cuales se utilizan en el mezclado para un diseño de concreto de 210 kg/cm².
- Tamaño máximo: En la granulometría que realizaron en la investigación indica tener un tamaño máximo de 1”.
- Contenido de la mezcla: Se llevó a cabo la preparación de la mezcla de concreto, en la cual se empleó cemento portland con peso específico de 2.85 gr/cm³, una relación a/c de 0.52, adicionalmente las dosis de CV en porcentajes de 2.5%, 5%, 10% y 15% al peso del cemento, el contenido de sílice (SiO₂) de la CV es de 57.73%.
- Método de ensayo: Se realizó el ensayo según el estándar nacional peruano “Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas” (N.T.P 339.034:2008).
- Resultado de ensayo experimental: Se observa en la Tabla 28 los resultados de las resistencias a la compresión con y sin adición de ceniza volante (CV), para un diseño de concreto de f’c=210 kg/cm², la resistencia de la mezcla patrón fue de 222 kg/cm², añadiendo 2.5%, 5%, 10% y 15% de CV, se obtienen las resistencias de 236 kg/cm², 249 kg/cm², 230 kg/cm² y 194 kg/cm² respectivamente.

Tabla 28

Resistencia a la compresión con adición de ceniza volante con tamaño máximo 1” a los 28 días de curado

Tamaño máximo (pulg)	Ceniza volante (%)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)
1”	0	222
	2.5	236
	5	249
	10	230
	15	194

Fuente: Yapuchura (2019)

En la Figura 21 se observa que al reemplazar parcialmente la ceniza volante por el cemento al 5% da una resistencia máxima de 249 kg/cm² siendo el 5% de ceniza el porcentaje óptimo.

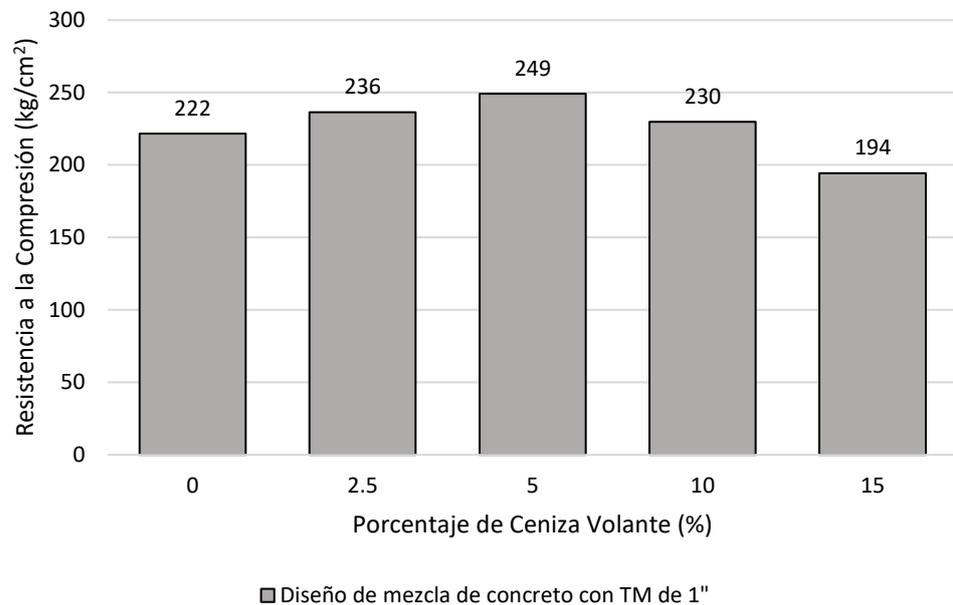


Figura 21: Resistencia a la compresión con adición de ceniza volante con tamaño máximo 1” a los 28 días de curado.
Fuente: Yapuchura (2019)

Pérez (2019)

- Sustituto parcial del cemento: El reemplazo del 5%, 10%, 15%, 20% y 25% de dosis de ceniza volante (CV) como sustituto parcial del cemento las cuales se utilizan en el mezclado para un diseño de concreto de 210 kg/cm².
- Tamaño máximo: En la granulometría que realizaron en la investigación indica tener un tamaño máximo de 1 ½”.
- Contenido de la mezcla: Se llevó a cabo la preparación de la mezcla de concreto, en la cual se empleó cemento portland con peso específico de 2.85 gr/cm³, una relación a/c de 0.60, adicionalmente las dosis de CV en porcentajes de 5%, 10%, 15%, 20% y 25% al peso del cemento, el contenido de sílice (SiO₂) de la CV es de 50.18%.
- Método de ensayo: Se realizó el ensayo según el estándar nacional peruano “Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas” (N.T.P 339.034:2008).

- Resultado de ensayo experimental: Se observa en la Tabla 29 los resultados de las resistencias a la compresión con y sin adición de ceniza volante (CV), para un diseño de concreto de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, la resistencia de la mezcla patrón fue de 217 kg/cm^2 , añadiendo 5%, 10%, 15%, 20% y 25% de CV se obtienen las resistencias de 233 kg/cm^2 , 230 kg/cm^2 , 214 kg/cm^2 , 197 kg/cm^2 y 181 kg/cm^2 respectivamente.

Tabla 29

Resistencia a la compresión con adición de ceniza volante con tamaño máximo $1 \frac{1}{2}$ " a los 28 días de curado

Tamaño máximo (pulg)	Ceniza volante (%)	Resistencia a la compresión (kg/cm^2)
1 $\frac{1}{2}$ "	0	217
	5	233
	10	230
	15	214
	20	197
	25	181

Fuente: Pérez (2019)

En la Figura 22 se observa que al reemplazar parcialmente la ceniza volante por el cemento al 5% da una resistencia máxima de 233 kg/cm^2 siendo el 5% de ceniza el óptimo porcentaje.

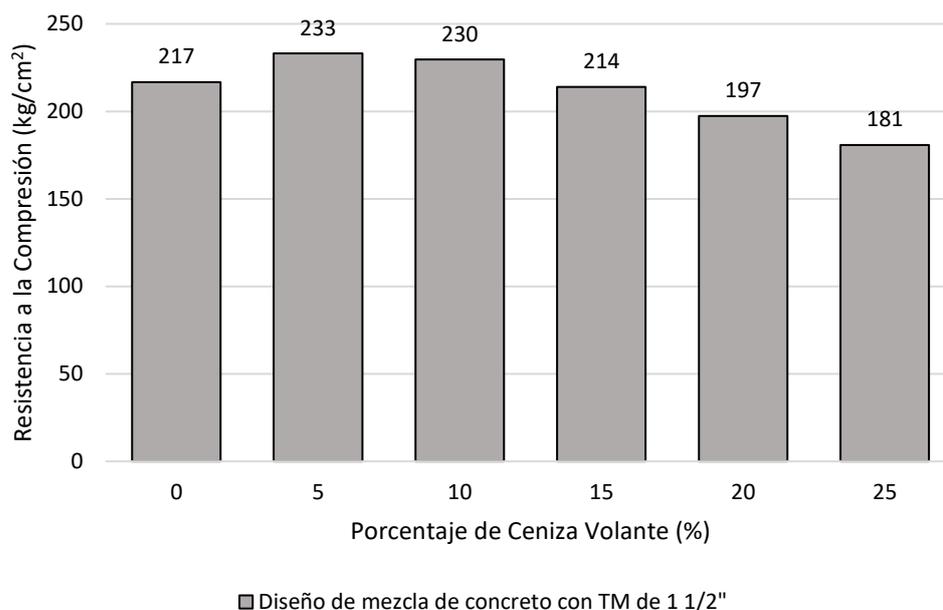


Figura 22: Resistencia a la compresión con adición de ceniza volante con tamaño máximo 1 ½” a los 28 días de curado.

Fuente: Pérez (2019)

5.2 Análisis e interpretación de los resultados

Analizando los resultados de los óptimos porcentajes de ceniza volante para incrementar la resistencia a la compresión

Huaquisto y Belizario (2018)

Analizamos la Figura 5 y observamos que el óptimo porcentaje de ceniza volante (CV) es de 5% por reemplazo del peso del cemento con un curado de 28 días, ya que presento una máxima resistencia a la compresión de 231 kg/cm² con un incremento del 6%, respecto a la probeta patrón. Además, el aumento del porcentaje de CV a partir del 5%, condujo a la reducción de la resistencia a la compresión. Se hace notorio que a partir del 10% de CV como reemplazo en peso del cemento la resistencia comienza a disminuir.

Yapuchura (2019)

Analizando los resultados de las resistencias a la compresión en la Figura 6 podemos interpretar que el óptimo porcentaje de ceniza volante (CV) es del 5% ya que presento una resistencia a la compresión máxima de 249 kg/cm² en comparación con las otras mezclas de concreto, teniendo un aumento de resistencia de 12% respecto a la probeta patrón, a partir del 10% la resistencia disminuye, no

obstante que hasta un 10% de adición de ceniza volante la resistencia supera a la probeta patrón en un 4%.

Chuco (2021)

En la Figura 7 los resultados demostraron que la muestra de concreto con 10% de ceniza volante (CV) presento la máxima resistencia de 385 kg/cm^2 asumiendo así que el óptimo porcentaje es del 10%, teniendo un aumento de resistencia de 5% respecto a la probeta patrón, a partir del 10% de CV la resistencia comienza a disminuir.

Kanta & Naga (2022)

Analizando los resultados de las resistencias a la compresión en la Figura 8 podemos interpretar que el óptimo porcentaje de ceniza volante (CV) es del 30% ya que presento una resistencia a la compresión máxima de 536 kg/cm^2 en comparación con las otras mezclas de concreto, teniendo un aumento de resistencia de 15% respecto a la probeta patrón, a partir del 40% la resistencia disminuye, no obstante que hasta un 40% de adición de ceniza volante la resistencia supera a la probeta patrón en un 3%.

Imrose; Sheikh; Md. Ferdous & Md. Shajib (2018)

Analizamos la Figura 9 y observamos que el óptimo porcentaje de ceniza volante (CV) es de 15% por reemplazo del peso del cemento con un curado de 28 días, ya que presento una máxima resistencia a la compresión de 555 kg/cm^2 con un incremento del 21%, respecto a la probeta patrón. Además, el aumento del porcentaje de CV a partir del 25%, condujo a la reducción de la resistencia a la compresión, no obstante que hasta un 25% de adición de ceniza volante la resistencia supera a la probeta patrón en un 7%.

Analizando los resultados de los óptimos porcentajes de ceniza volante para incrementar la resistencia a la tracción

Kanta Rao & Naga Satish (2022)

En la Figura 10 se puede observar que las resistencias a la tracción de los concretos con la adición de la ceniza volante (CV) pueden ser superiores que la resistencia a la tracción del concreto sin adición de CV a los 28 días de curado, los resultados mostraron que el óptimo porcentaje es de 30% de CV teniendo un aumento de

resistencia de 6% respecto a la probeta patrón sin adición de CV. También reveló que al aumentar la dosis de ceniza después del 30% ocurre un descenso en la resistencia.

Susmitha; P. J.; & Rao, M. K. (2022)

En la Figura 11 se muestran los resultados de la resistencia a la tracción a los 28 días de curado, se observa que el óptimo porcentaje de ceniza volante (CV) es de 30% con una máxima resistencia de 44 kg/cm², superando a la resistencia de la probeta patrón sin adición de CV en un 26%.

Dr. K. Srinivasu et. al. (2022)

Con los resultados de la resistencia a la tracción a los 28 días de curado que se muestran en la Figura 12 se observa que el óptimo porcentaje de ceniza volante (CV) es de 12% con una máxima resistencia de 55 kg/cm², superando a la resistencia de la probeta patrón sin adición de CV en un 10%. Se hace notorio que a partir del 5% de CV como reemplazo en peso del cemento la resistencia comienza a disminuir.

Analizando los resultados de los óptimos porcentajes de ceniza volante para incrementar la resistencia a la flexión

Yapuchura (2019)

Analizando los resultados de las resistencias a la flexión en la Figura 13 podemos interpretar que el óptimo porcentaje de ceniza volante (CV) es del 5% ya que presento una resistencia a la flexión máxima de 41 kg/cm² en comparación con las otras mezclas de concreto, teniendo un aumento de resistencia de 7% respecto a la probeta patrón, a partir del 10% la resistencia disminuye.

Chuco (2021)

En la Figura 14 los resultados demostraron que la muestra de concreto con 10% de ceniza volante (CV) presento la máxima resistencia de 52 kg/cm² asumiendo así que el óptimo porcentaje es del 10%, teniendo un aumento de resistencia de 4% respecto a la probeta patrón, a partir del 10% de CV la resistencia comienza a disminuir.

Kanta & Naga (2022)

Analizando los resultados de las resistencias a la flexión en la Figura 15 podemos interpretar que el óptimo porcentaje de ceniza volante (CV) es del 20% ya que presento una resistencia a la compresión máxima de 55 kg/cm^2 en comparación con las otras mezclas de concreto, teniendo un aumento de resistencia de 5% respecto a la probeta patrón, a partir del 30% la resistencia disminuye, no obstante que hasta un 30% de adición de ceniza volante la resistencia supera a la probeta patrón en un 4%.

Susmitha; P. J.; & Rao, M. K. (2022)

En la Figura 16 se muestran los resultados de la resistencia a la flexión a los 28 días de curado, se observa que el óptimo porcentaje de ceniza volante (CV) es de 30% con una máxima resistencia de 64 kg/cm^2 , superando a la resistencia de la probeta patrón sin adición de CV en un 19%.

Analizando los resultados al determinar la relación agua/cemento con adición de ceniza volante para incrementar la durabilidad del hormigón estructural

Huaquisto y Belizario (2018)

Analizando los resultados de la Figura 17 con una relación $a/c = 0.56$, igual para todos los diseños de mezcla con adición de ceniza volante (CV) se observa que al aumentar las dosis de CV tiene una tendencia a aumentar la resistencia a compresión de las muestras ensayadas. La resistencia máxima hallada fue de 231 kg/cm^2 superando en un 6% al diseño de la mezcla patrón incrementando la durabilidad.

Yapuchura (2019)

Los resultados de la Figura 18 mostraron que con una relación agua/cemento constante de 0.52 se incrementa la resistencia a la compresión del concreto con un 5% de adición de ceniza volante (CV) siendo esta la máxima resistencia obtenida en el estudio superando en un 12% respecto a la probeta patrón dando a conocer que la durabilidad también aumenta.

Pérez (2019)

En la investigación se mantiene constante la relación $a/c = 0.60$, con la ceniza volante (CV) como sustituyente parcial del cemento. Los resultados de las

resistencias mostradas en la Figura 19 nos dan una máxima resistencia de 233 kg/cm² superando a la prueba de mezcla patrón en un 8%, el óptimo porcentaje utilizado se ve beneficiada en la durabilidad por el aumento de la resistencia a la compresión.

Analizando los resultados al determinar el óptimo tamaño máximo del agregado grueso para mejorar la resistencia a la compresión del concreto

Huaquisto y Belizario (2018)

En la Figura 20 se observa los resultados de la resistencia a la compresión que se obtiene ante diferentes porcentajes de ceniza volante (CV) con un tamaño máximo de 1 ½" (37.5 mm) y un agua efectiva de 23.8 lt/m³, notando que al llegar al 5% de CV en reemplazo parcial del cemento su resistencia incrementa un 6% respecto a la de la probeta patrón siendo la resistencia máxima, al añadir 10% de CV la resistencia disminuye en un 8% respecto a la probeta patrón.

Yapuchura (2019)

En la Figura 21 se observa los resultados de la resistencia a la compresión que se obtiene ante diferentes porcentajes de ceniza volante (CV) con un tamaño máximo de 1" (25.0 mm) y un agua efectiva de 22.5 lt/m³, notando que al llegar al 5% de CV en reemplazo parcial del cemento su resistencia incrementa un 12% respecto a la de la probeta patrón siendo esta la resistencia máxima, al añadir 10% de CV la resistencia disminuye, no obstante, supera a la prueba patrón en un 4%.

Pérez (2019)

En la Figura 22 se observa los resultados de la resistencia a la compresión que se obtiene ante diferentes porcentajes de ceniza volante (CV) con un tamaño máximo de 1 ½" (37.5 mm) y un agua efectiva de 25.9 lt/m³, notando que al llegar al 5% de CV su resistencia incrementa en un 8% respecto a la probeta patrón, al añadir el 10% de ceniza la resistencia disminuye gradualmente.

5.3 Contrastación de hipótesis

Al determinar el óptimo porcentaje de ceniza volante incrementa la resistencia a la compresión del concreto.

- Hipótesis auxiliar:

H0: Al determinar el óptimo porcentaje de ceniza volante no incrementa la resistencia a la compresión del concreto.

H1: Al determinar el óptimo porcentaje de ceniza volante incrementa la resistencia a la compresión del concreto.

Se puede apreciar en la Tabla 30 y Figura 23, con respecto a Huaquisto y Belizario (2018) el óptimo porcentaje de ceniza volante (CV) se encuentra en 5% del peso del cemento dando una resistencia de 231 kg/cm² teniendo un incremento de 6% respecto a la probeta patrón. Para Yapuchura (2019) el óptimo porcentaje de CV se encuentra en 5% del peso del cemento da una resistencia de 249 kg/cm² teniendo un incremento de 12% respecto a la probeta patrón. Para Chuco (2021) el óptimo porcentaje de CV se encuentra en 10% del peso del cemento da una resistencia de 385 kg/cm² teniendo un incremento de 5% respecto a la probeta patrón. Para Kanta & Naga (2022) el óptimo porcentaje de CV se encuentra en 30% del peso del cemento da una resistencia de 510 kg/cm² teniendo un incremento de 9% respecto a la probeta patrón. Finalmente, para Imrose; Sheikh; Md. Ferdous & Md. Shajib (2018) el óptimo porcentaje de CV se encuentra en 15% del peso del cemento da una resistencia de 555 kg/cm² teniendo un incremento de 21% respecto a la probeta patrón.

Tabla 30
Resistencia a la compresión máxima con adición de ceniza volante a los 28 días de curado

Autores	Resistencia a la compresión máxima sin CV (kg/cm ²)	Resistencia a la compresión máxima con CV (kg/cm ²)	Óptimo de ceniza volante (%)
Huaquisto y Belizario (2018) f _c =210 kg/cm ²	218	231	5
Yapuchura (2019) f _c =210 kg/cm ²	222	249	5
Chuco (2021) f _c =280 kg/cm ²	368	385	10
Kanta & Naga (2022) f _c =350 kg/cm ²	466	510	30
Imrose; Sheikh; Md. Ferdous & Md. Shajib (2018) f _c =505 kg/cm ²	459	555	15

Fuente: Elaboración Propia

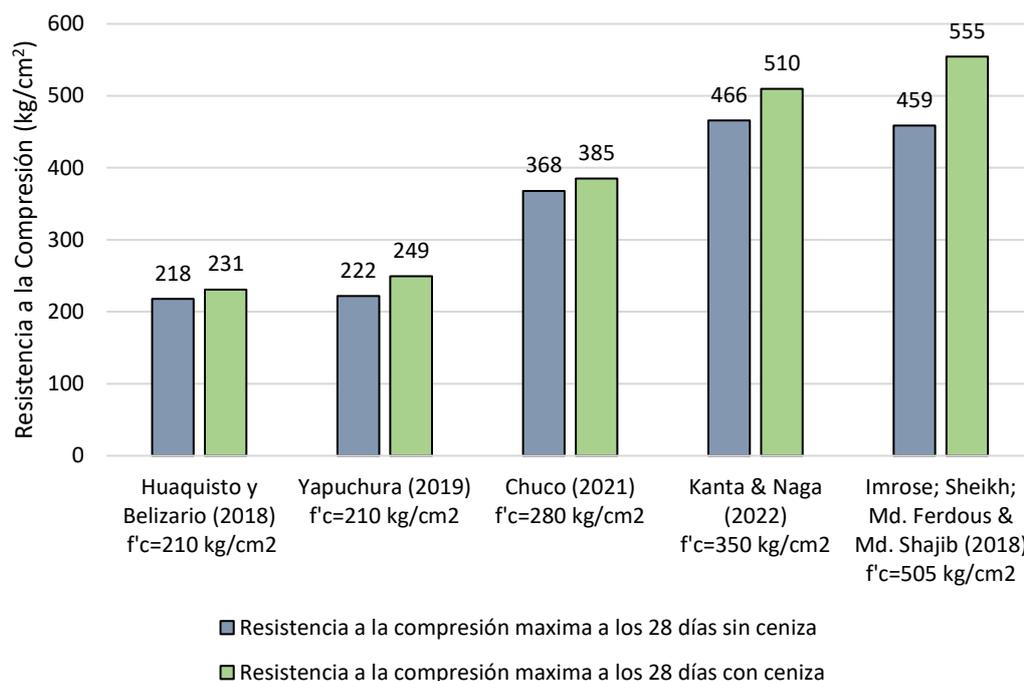


Figura 23: Resistencia a la compresión máxima con adición de ceniza volante a los 28 días de curado.

Fuente: Elaboración Propia

Para todos los casos al determinar el porcentaje óptimo de ceniza volante (CV) se incrementa la resistencia a compresión del concreto. Por lo tanto, la hipótesis nula (H0) es rechazada y la hipótesis alterna (H1) aceptada, ya que, al aumentar la dosis de ceniza volante en el hormigón (CV) hasta un límite máximo incrementa en la resistencia a la compresión del hormigón.

Al determinar el óptimo porcentaje de ceniza volante incrementa la resistencia a la tracción del concreto.

- Hipótesis auxiliar:
 H0: Al determinar el óptimo porcentaje de ceniza volante no incrementa la resistencia a la tracción del concreto.
 H1: Al determinar el óptimo porcentaje de ceniza volante incrementa la resistencia a la tracción del concreto.

Se puede apreciar en la Tabla 31 y Figura 24, con respecto a Kanta Rao & Naga Satish (2022) el óptimo porcentaje de ceniza volante (CV) se encuentra en 30% del peso del cemento dando una resistencia de 37 kg/cm² teniendo un incremento de 6% respecto a la probeta patrón. Para Susmitha; P. J.; & Rao, M. K. (2022) el

óptimo porcentaje de CV se encuentra en 30% del peso del cemento da una resistencia de 44 kg/cm² teniendo un incremento de 26% respecto a la probeta patrón. Finalmente, para Dr. K. Srinivasu et. al. (2022) el óptimo porcentaje de CV se encuentra en 12% del peso del cemento da una resistencia de 55 kg/cm² teniendo un incremento de 10% respecto a la probeta patrón.

Tabla 31
Resistencia a la tracción máxima con adición de ceniza volante a los 28 días de curado

Autores	Resistencia a la tracción máxima sin CV (kg/cm ²)	Resistencia a la tracción máxima con CV (kg/cm ²)	Óptimo de ceniza volante (%)
Kanta Rao & Naga			
Satish (2022) f _c =350 kg/cm ²	35	37	30
Susmitha; P. J.; & Rao, M. K. (2022) f _c =300 kg/cm ²	35	44	30
Dr. K. Srinivasu et. al. (2022) f _c =400 kg/cm ²	50	55	12

Fuente: Elaboración Propia

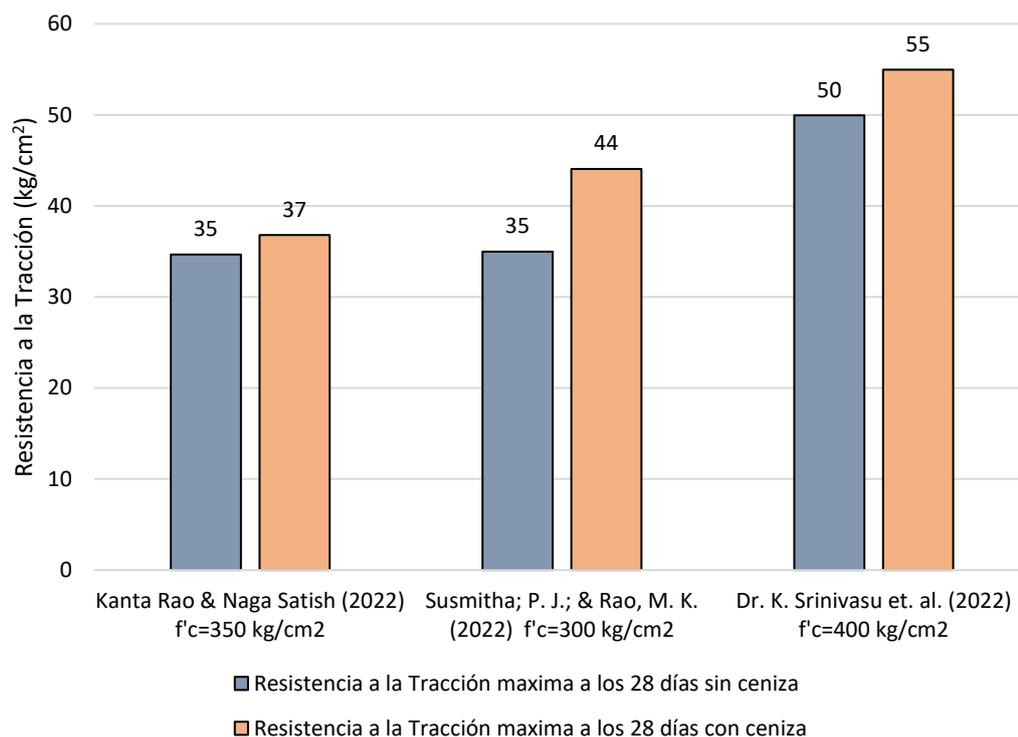


Figura 24: Resistencia a la tracción máxima con adición de ceniza volante a los 28 días de curado.

Fuente: Elaboración Propia

Para todos los casos al determinar el porcentaje óptimo de ceniza volante (CV) se incrementa la resistencia a tracción del concreto. Por lo tanto, la hipótesis nula (H0) es rechazada y la hipótesis alterna (H1) aceptada, ya que, al aumentar la dosis de ceniza volante en el hormigón (CV) hasta un límite máximo incrementa en la resistencia a la tracción del hormigón.

Al determinar el óptimo porcentaje de ceniza volante incrementa la resistencia a la flexión del concreto.

- Hipótesis auxiliar:
 H0: Al determinar el óptimo porcentaje de ceniza volante no incrementa la resistencia a la flexión del concreto.
 H1: Al determinar el óptimo porcentaje de ceniza volante incrementa la resistencia a la flexión del concreto.

Se puede apreciar en la Tabla 32 y Figura 25, con respecto a Yapuchura (2019) el óptimo porcentaje de CV se encuentra en 5% del peso del cemento da una resistencia de 41 kg/cm² teniendo un incremento de 7% respecto a la probeta patrón.

Para Chuco (2021) el óptimo porcentaje de CV se encuentra en 10% del peso del cemento da una resistencia de 52 kg/cm² teniendo un incremento de 4% respecto a la probeta patrón. Para Kanta & Naga (2022) el óptimo porcentaje de CV se encuentra en 20% del peso del cemento da una resistencia de 55 kg/cm² teniendo un incremento de 5% respecto a la probeta patrón. Finalmente, para Susmitha; P. J.; & Rao, M. K. (2022) el óptimo porcentaje de CV se encuentra en 30% del peso del cemento da una resistencia de 64 kg/cm² teniendo un incremento de 19% respecto a la probeta patrón.

Tabla 32

Resistencia a la flexión máxima con adición de ceniza volante a los 28 días de curado

Autores	Resistencia a la flexión máxima sin CV (kg/cm ²)	Resistencia a la flexión máxima con CV (kg/cm ²)	Óptimo de ceniza volante (%)
Yapuchura (2019) f _c =210 kg/cm ²	38	41	5
Chuco (2021) f _c =280 kg/cm ²	50	52	10
Kanta & Naga (2022) f _c =350 kg/cm ²	52	55	20
Susmitha; P. J.; & Rao, M. K. (2022) f _c =300 kg/cm ²	54	64	30

Fuente: Elaboración Propia

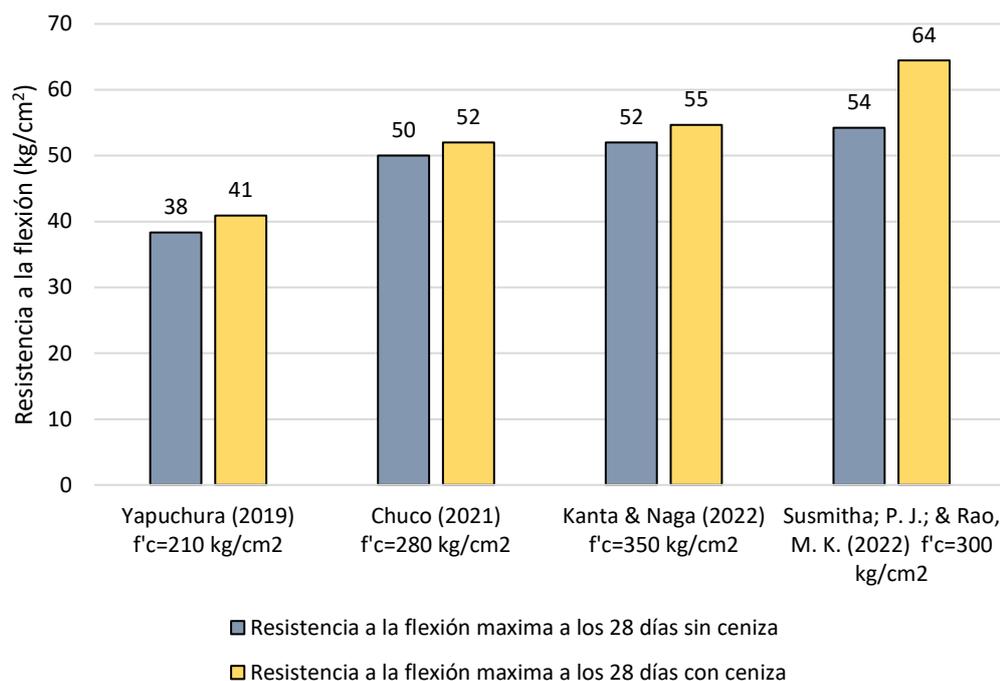


Figura 25: Resistencia a la flexión máxima con adición de ceniza volante a los 28 días de curado.

Fuente: Elaboración Propia

Para todos los casos al determinar el porcentaje óptimo de ceniza volante (CV) se incrementa la resistencia a flexión del concreto. Por lo tanto, la hipótesis nula (H0) es rechazada y la hipótesis alterna (H1) aceptada, ya que, al aumentar la dosis de ceniza volante en el hormigón (CV) hasta un límite máximo incrementa en la resistencia a la flexión del hormigón.

Al determinar la relación agua/cemento con adición de ceniza volante incrementa la durabilidad del hormigón estructural

- Hipótesis auxiliar:
 H0: Al determinar la relación agua/cemento con adición de ceniza volante no incrementa la durabilidad del concreto.
 H1: Al determinar la relación agua/cemento con adición de ceniza volante incrementa la durabilidad del concreto.

Se puede apreciar en la Tabla 33 y Figura 26, con respecto a Huaquisto y Belizario (2018) la relación agua/cemento con adición de ceniza volante (CV) tiene un valor de 0.56 teniendo una máxima resistencia a la compresión de 231 kg/cm² teniendo un incremento de 6% respecto a la probeta patrón. Para Yapuchura (2019) la

relación de agua/cemento con adición de ceniza volante (CV) es de 0.52 teniendo una máxima resistencia a la compresión de 249 kg/cm² teniendo un incremento de 12% respecto a la probeta patrón. Finalmente, para Pérez (2019) la relación de agua/cemento con adición de ceniza volante (CV) es de 0.60 teniendo una máxima resistencia a la compresión de 233 kg/cm² teniendo un incremento de 8% respecto a la probeta patrón.

Tabla 33
Resistencia a la compresión máxima con relación a/c definidos y adición de ceniza volante a los 28 días de curado

Autores	Óptimo de ceniza volante (%)	Relación (a/c)	Resistencia a compresión máxima (kg/cm ²)
Huaquisto y Belizario (2018)	5	0.56	231
Yapuchura (2019)	5	0.52	249
Pérez (2018)	5	0.60	233

Fuente: Elaboración Propia

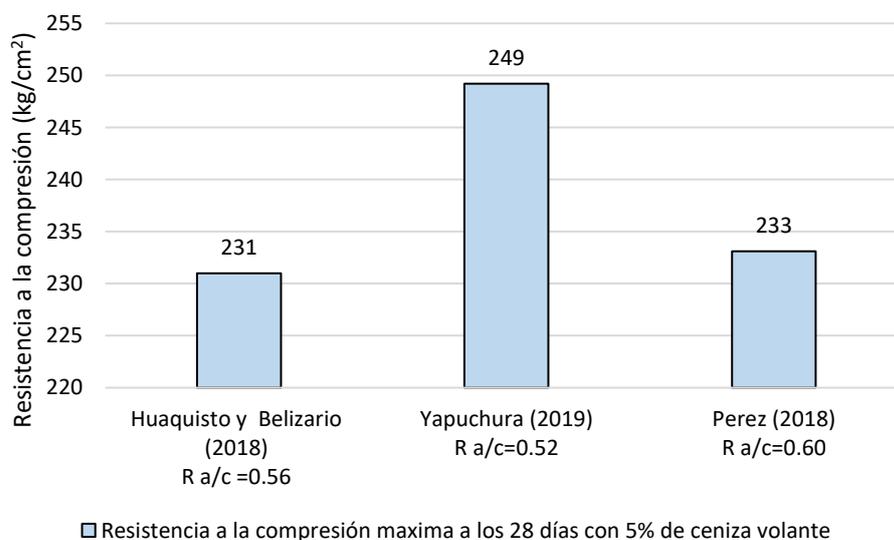


Figura 26: Resistencia a la compresión máxima con relación a/c definidos y adición de ceniza volante a los 28 días de curado.

Fuente: Elaboración Propia

Para todos los casos al determinar la relación agua/cemento con adición de ceniza volante influye en la resistencia a la compresión, por lo tanto, influye en la durabilidad del concreto. La hipótesis nula (H0) es rechazada y la hipótesis alterna (H1) es aceptada, ya que al determinar la relación agua/cemento con adición de ceniza volante incrementa la durabilidad.

Al determinar el óptimo tamaño máximo del agregado grueso incrementa la resistencia a la compresión del concreto

- Hipótesis auxiliar:
H0: Al determinar el óptimo tamaño máximo del agregado grueso no incrementa la resistencia a la compresión del concreto.
H1: Al determinar el óptimo tamaño máximo del agregado grueso incrementa la resistencia a la compresión del concreto.

Se puede apreciar en la Tabla 34 y Figura 27, con respecto a Huaquisto y Belizario (2018) el tamaño máximo es de 1 ½”, la relación agua/cemento con adición de ceniza volante (CV) tiene un valor de 0.56 teniendo una máxima resistencia a la compresión de 231 kg/cm² teniendo un incremento de 6% respecto a la probeta patrón. Para Yapuchura (2019) el tamaño máximo es de 1”, la relación de agua/cemento con adición de ceniza volante (CV) es de 0.52 teniendo una máxima resistencia a la compresión de 249 kg/cm² teniendo un incremento de 12% respecto a la probeta patrón. Finalmente, para Pérez (2019) el tamaño máximo es de 1 ½”, la relación de agua/cemento con adición de ceniza volante (CV) es de 0.60, teniendo una máxima resistencia a la compresión de 233 kg/cm² teniendo un incremento de 8% respecto a la probeta patrón.

Tabla 34
Resistencia a la compresión máxima con tamaños máximos definidos y adición de ceniza volante a los 28 días de curado

Autores	Óptimo de ceniza volante (%)	TM (pulg)	Resistencia a compresión máxima (kg/cm ²)
Huaquisto y Belizario (2018)	5	1 1/2	231
Yapuchura (2019)	5	1	249
Pérez (2018)	5	1 1/2	233

Fuente: Elaboración Propia

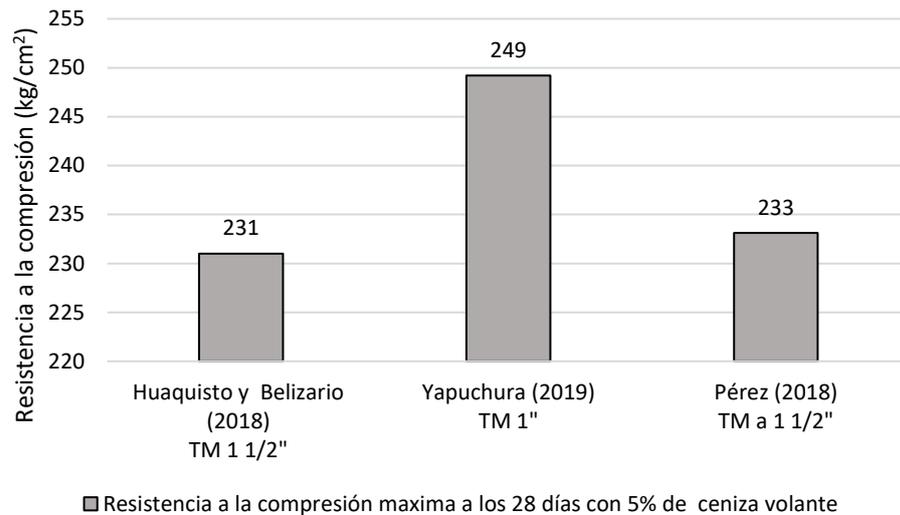


Figura 27: Resistencia a la compresión máxima con tamaños máximos definidos y adición de ceniza volante a los 28 días de curado.

Fuente: Elaboración Propia

Para todos los casos el tamaño máximo influye en la resistencia a la compresión. Por lo tanto, la hipótesis nula (H0) es rechazada y la hipótesis alterna (H1) aceptada, ya que, al aumentar el tamaño máximo la resistencia del concreto aumenta por necesitar menos agua de diseño.

DISCUSIÓN

Con los resultados de las resistencias a la compresión de los artículos y tesis relacionados con el tema de investigación se pudieron contrastar la hipótesis 1. Con respecto a los autores Huaquisto y Belizario (2018) y Yapuchura (2019) con una resistencia de diseño de 210 kg/cm^2 se encontró que las resistencias a la compresión de las muestras patrón a los 28 días de curado es de 218 kg/cm^2 y 222 kg/cm^2 , respectivamente. Al incluir ceniza volante en el diseño, se encontró que el óptimo porcentaje de ceniza volante de los autores es de 5%, aumentando la resistencia a la compresión en 231 kg/cm^2 y 249 kg/cm^2 , respectivamente. De igual manera el comportamiento de los resultados para el autor Chuco (2021) demostró que al realizar ensayos de resistencia a la compresión para la mezcla de control de 280 kg/cm^2 a los 28 días de curado, se obtuvo una resistencia a la compresión de 368 kg/cm^2 , y que al utilizar el porcentaje de ceniza volante de 10%, aumenta su resistencia a la compresión a 385 kg/cm^2 , demostrando que el 10 % es el porcentaje óptimo en este caso. El mismo comportamiento se vio reflejado en Imrose, Sheikh, Md. Ferdous & Md. Shajib (2018), donde desarrollan ensayos de resistencia a la compresión para la mezcla de control de 505 kg/cm^2 a los 28 días, obteniendo la resistencia de 459 kg/cm^2 para la muestra patrón; sin embargo, al utilizar el porcentaje de ceniza de 15%, aumentó su resistencia a la compresión inicial a 555 kg/cm^2 , demostrando que el 15% es el porcentaje óptimo de reemplazo de ceniza volante. Por último, respecto a los ensayos realizados por los autores Kanta & Naga (2022) con una resistencia de diseño de 350 kg/cm^2 se encontró que la resistencia a la compresión a los 28 días de curado de la muestra patrón fue de 466 kg/cm^2 , y que al utilizar el óptimo porcentaje de ceniza volante de 30%, se aumenta la resistencia a la compresión a 510 kg/cm^2 . Las variaciones existentes que figuran en la Tabla 30 referente a las resistencias máximas a la compresión se deben a los diferentes diseños de mezcla de los autores, por consiguiente, una relación a/c diferente para cada diseño y la presencia de sílice que posee cada tipo de ceniza volante. La resistencia más alta de 555 kg/cm^2 tiene una relación a/c de 0.40 y la menor resistencia de 231 kg/cm^2 posee una relación a/c de 0.56. Para cada autor, luego de llegar al porcentaje óptimo de ceniza volante, la resistencia tiende a disminuir por el exceso de sílice de la ceniza, debido a que la sílice supera la cantidad necesaria para ser combinada con la cal liberada durante el proceso de hidratación, lo que

causa que la sílice se filtre y cause una deficiencia en la resistencia mecánica del hormigón. No son recomendables las cenizas clase C, porque tienen exceso de cal y poco óxido de alúmina y óxido de hierro (Huaquisto y Belizario, 2018).

Según los resultados de la resistencia a la tracción de los artículos relacionados con el tema de investigación se pudo contrastar la hipótesis 2. Para los autores Kanta & Naga (2022) se encontró que la resistencia a la tracción para la mezcla de control de 350 kg/cm^2 a los 28 días es de 35 kg/cm^2 , y que con el óptimo porcentaje de ceniza volante de 30%, se aumenta su resistencia a la tracción a 37 kg/cm^2 . En el comportamiento de los resultados para los autores Susmitha; P. J.; & Rao, M. K. (2022) se encontró que la resistencia a la tracción para la mezcla de control de 300 kg/cm^2 a los 28 días es de 35 kg/cm^2 , el óptimo porcentaje de ceniza volante es de 30%, aumentando su resistencia a la tracción a 44 kg/cm^2 . Finalmente, para los autores Dr. K. Srinivasu et. al. (2022), donde desarrollan ensayos de resistencia a la tracción para la mezcla de control de 400 kg/cm^2 a los 28 días, obteniendo la resistencia a la tracción de 50 kg/cm^2 , obteniendo que el óptimo porcentaje de ceniza es de 12%, aumentando su resistencia a la tracción inicial a 55 kg/cm^2 . Las variaciones existentes que figuran en la Tabla 31 referente a las resistencias máximas a la tracción se deben a los diferentes diseños de mezcla y distintos grados en las resistencias de cementos. La resistencia más alta de 55 kg/cm^2 tiene una relación a/c de 0.35, con un cemento de alta resistencia y la menor resistencia de 37 kg/cm^2 posee una relación a/c de 0.50, con un cemento Portland M40, para cada autor luego de llegar al porcentaje óptimo de cenizas volantes la resistencia a la tracción tiende a disminuir.

Con las respuestas de las resistencias a la flexión de los artículos y tesis relacionados con el tema de investigación se pudieron contrastar la hipótesis 3. Con respecto al autor Yapuchura (2019) con una resistencia de diseño de 210 kg/cm^2 se encontró que la resistencia a la flexión a los 28 días de curado es de 38 kg/cm^2 , el óptimo porcentaje de ceniza volante del autor es de 5%, aumentando su resistencia a la flexión a 41 kg/cm^2 . De igual manera el comportamiento de los resultados para el autor Chuco (2021) para la mezcla de control de 280 kg/cm^2 a los 28 días de curado es de una resistencia a la flexión de 50 kg/cm^2 , el óptimo porcentaje de ceniza volante es de 10%, aumentando su resistencia a la flexión a 52 kg/cm^2 . El mismo comportamiento se vio reflejado en Kanta & Naga (2022) donde desarrollan

ensayos de resistencia a la flexión para la mezcla de control de 505 kg/cm² a los 28 días, obteniendo la resistencia a la flexión de 52 kg/cm², obteniendo que el óptimo porcentaje de ceniza es de 20%, aumentando su resistencia a la flexión inicial a 55 kg/cm². Por último, respecto a los ensayos realizados por los autores Susmitha; P. J.; & Rao, M. K. (2022) con una resistencia de diseño de 300 kg/cm² se encontró que la resistencia a la flexión a los 28 días de curado es de 54 kg/cm², el óptimo porcentaje de ceniza volante es de 30%, aumentando su resistencia a la flexión a 64 kg/cm². Las variaciones existentes que figuran en la Tabla 32 referente a las resistencias máximas a la flexión se deben a los diferentes diseños de mezcla de los autores, una relación a/c diferente para cada diseño y la presencia de sílice que posee cada tipo de ceniza volante. La resistencia más alta de 64 kg/cm² tiene una relación a/c de 0.40 y la menor resistencia de 41 kg/cm² posee una relación a/c de 0.56. Para cada autor luego de llegar al porcentaje óptimo de ceniza volante la resistencia tiende a disminuir por el exceso de sílice de la ceniza volante.

Con los resultados expuestos sobre las resistencias a la compresión de los artículos y tesis relacionados con el tema de investigación se pudo contrastar la hipótesis 4. Con respecto a Huaquisto y Belizario (2018) con una resistencia de diseño de 210 kg/cm² se tiene una relación a/c de 0.56 con adición de ceniza volante al 5% y una resistencia a la compresión máxima de 231 kg/cm². Para Yapuchura (2019) con una resistencia de diseño de 210 kg/cm² se tiene una relación a/c de 0.52 con adición de ceniza volante al 5% y una resistencia a la compresión máxima de 249 kg/cm². Finalmente, para Pérez (2018) con una resistencia de diseño de 210 kg/cm² se tiene una relación a/c de 0.60 con adición de ceniza volante al 5% y una resistencia a la compresión máxima de 233 kg/cm². Las variaciones de resistencia se dan por la relación agua/cemento puesto que, la mayor resistencia de 249 kg/cm² tiene menor relación de agua/cemento de 0.52 y la menor resistencia de 231 kg/cm² tiene mayor relación agua/cemento de 0.56 como se muestra en la Tabla 33, dando por hecho que a menor relación agua/cemento mayor resistencia (Tabla 6.1, American Concrete Institute 211.1-91, 2002). En relación a la Tabla 6.1 de la norma ACI se deduce que las partículas de cemento y ceniza están más cercanas permitiendo que el hormigón tenga alta durabilidad y una baja permeabilidad.

Con los resultados expuestos sobre las resistencias a la compresión de los artículos y tesis relacionados con el tema de investigación se pudo contrastar la hipótesis 5.

Con respecto a Huaquisto y Belizario (2018) con una resistencia de diseño de 210 kg/cm² se tiene un tamaño máximo de 1 ½” con adición de ceniza volante al 5% y una resistencia a la compresión máxima de 231 kg/cm². Para Yapuchura (2019) con una resistencia de diseño de 210 kg/cm² se tiene un tamaño máximo de 1” con adición de ceniza volante al 5% con una resistencia a la compresión máxima de 249 kg/cm². Finalmente, para Pérez (2018) con una resistencia de diseño de 210 kg/cm² se tiene un tamaño máximo de 1 ½” con adición de ceniza volante al 5% con una resistencia a la compresión máxima de 233 kg/cm². Las variaciones de resistencia se dan por los tamaños máximos puesto que, la mayor resistencia de 249 kg/cm² tiene un tamaño máximo de 1” y la menor resistencia de 231 kg/cm² tiene un tamaño máximo de 1 ½” como se muestra en la Tabla 34, se deduce que a mayor tamaño máximo del agregado grueso los requerimientos aproximados de agua de mezclado aumentaran lo que hará que tenga una relación a/c mayor por lo que se tendrá una resistencia baja (Tabla 5.1, American Concrete Institute 211.1-91, 2002).

CONCLUSIONES

1. Al reemplazar la ceniza volante en porcentaje de 5% a 30% en peso del cemento, incrementan las propiedades mecánicas del hormigón estructural, consiguiendo resistencias elevadas respecto a la mezcla patrón. Sin embargo, al exceder el 30% de ceniza volante los resultados de los ensayos a compresión, tracción y flexión disminuyeron significativamente; esto se debe a múltiples factores como el tipo de cemento, relación agua/cemento, contenido de sílice y tamaño de partícula de la ceniza volante. Los aumentos de resistencia respecto a las probetas patrones incrementaron tal que dieron sustento a que la ceniza volante puede ser usada como material puzolánico en la mezcla de hormigón estructural, en las pruebas de resistencia a la compresión se obtuvo un incremento del 21%, para la resistencia a la tracción se obtuvo un incremento del 26% y para la flexión un incremento del 19%, mejorando las propiedades mecánicas del hormigón estructural. Para obtener un efectivo aumento en las propiedades mecánicas del hormigón estructural es necesario utilizar ceniza volante entre los porcentajes mencionados, obteniendo mayor eficiencia en obras civiles, en resistencia y costo de elaboración.
2. Los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia a la compresión del hormigón, se tiene que para los ensayos de resistencia con un diseño de 210 kg/cm² la mezcla patrón obtiene una resistencia de 218 kg/cm² y 222 kg/cm², al añadirle el 5% de ceniza volante se obtiene una resistencia de 231 kg/cm² y 249 kg/cm². Además, con un diseño de mezcla de 280 kg/cm² la mezcla patrón obtiene una resistencia de 368 kg/cm², al añadirle el 10% de ceniza volante se obtiene una resistencia de 385 kg/cm². Así mismo con un diseño de mezcla de 350 kg/cm² la mezcla patrón obtiene una resistencia de 466 kg/cm², al añadirle el 30% de ceniza volante se obtiene una resistencia de 510 kg/cm². Finalmente, con un diseño de mezcla de 505 kg/cm² la mezcla patrón obtiene una resistencia de 459 kg/cm², al añadirle el 15% de ceniza volante se obtiene una resistencia de 555 kg/cm². De esta manera concluimos que la ceniza volante incrementa la resistencia a la compresión en un rango de 5% al 30%.

3. Al sustituir porcentualmente el cemento por ceniza volante en los ensayos de resistencia a la tracción para un diseño de 350 kg/cm^2 la mezcla patrón obtiene una resistencia de 35 kg/cm^2 , al añadirle 30% de ceniza volante se obtiene una resistencia de 37 kg/cm^2 . Además, con un diseño de mezcla de 300 kg/cm^2 la mezcla patrón obtiene una resistencia de 35 kg/cm^2 , al añadirle el 30% de ceniza volante se obtiene una resistencia de 44 kg/cm^2 . Finalmente, con un diseño de mezcla de 400 kg/cm^2 la mezcla patrón obtiene una resistencia de 50 kg/cm^2 , al añadirle el 12% de ceniza volante se obtiene una resistencia de 55 kg/cm^2 . De esta manera concluimos que la ceniza volante incrementa la resistencia a la tracción en un rango de 12% al 30%.

4. Al añadir ceniza volante a la mezcla del hormigón se observa que, para el ensayo de resistencia a la flexión para un diseño de 210 kg/cm^2 la mezcla patrón obtiene una resistencia de 38 kg/cm^2 , al añadirle 5% de ceniza volante se obtiene una resistencia de 41 kg/cm^2 . Además, con un diseño de mezcla de 280 kg/cm^2 la mezcla patrón obtiene una resistencia de 50 kg/cm^2 , al añadirle el 10% de ceniza volante se obtiene una resistencia de 52 kg/cm^2 . Así mismo, con un diseño de mezcla de 350 kg/cm^2 la mezcla patrón obtiene una resistencia de 52 kg/cm^2 , al añadirle el 20% de ceniza volante se obtiene una resistencia de 55 kg/cm^2 . Finalmente, con un diseño de mezcla de 300 kg/cm^2 la mezcla patrón obtiene una resistencia de 54 kg/cm^2 , al añadirle el 30% de ceniza volante se obtiene una resistencia de 64 kg/cm^2 . De esta manera concluimos que la ceniza volante incrementa la resistencia a la flexión en un rango de 5% al 30%.

5. Los resultados al sustituir el cemento por ceniza volante en pequeñas porciones para la mezcla de hormigón, se observa que para el ensayo a compresión de un diseño de 210 kg/cm^2 , con una relación agua/cemento de 0.56, la mezcla patrón obtiene una resistencia de 218 kg/cm^2 , y que añadiéndole 5% de ceniza volante se obtiene una resistencia de 231 kg/cm^2 . Del mismo modo, para el ensayo a compresión de un diseño de 210 kg/cm^2 , con una relación agua/cemento de 0.52, la mezcla patrón obtiene una resistencia de 222 kg/cm^2 , y que añadiéndole 5% de ceniza volante se obtiene una resistencia de 249 kg/cm^2 . Finalmente, para el ensayo a compresión de un diseño de 210 kg/cm^2 , con una relación agua/cemento de 0.60, la mezcla patrón obtiene una resistencia de 217 kg/cm^2 , y que

añadiéndole 5% de ceniza volante se obtiene una resistencia de 233 kg/cm². De esta manera concluimos que la relación agua/cemento de 0.52 con adición de ceniza volante de 5% incrementa la resistencia a la compresión y que, en consecuencia, incrementa la durabilidad del hormigón estructural.

6. Los datos obtenidos en el ensayo de compresión en busca de un óptimo tamaño máximo de agregado grueso, se observa que para un diseño de mezcla de 210 kg/cm² con un tamaño máximo de 1 ½", la mezcla patrón es de 218 kg/cm² y 217 kg/cm². Así mismo para un diseño de 210 kg/cm² con un tamaño máximo de 1" la mezcla patrón es de 222 kg/cm². Se busca incrementar las propiedades mecánicas del hormigón estructural sustituyendo parcialmente el cemento con ceniza volante, el tamaño máximo influye en el comportamiento mecánico siendo uno de los factores sobre el aumento de resistencia obteniendo así 231 kg/cm² y 233 kg/cm² con un tamaño máximo de 1 ½" y 249 kg/cm² con un tamaño máximo de 1". De esta manera se concluye que, a mayor tamaño máximo con reemplazo de ceniza volante, se incrementa la resistencia a la compresión, siendo el tamaño máximo óptimo el de 1".

RECOMENDACIONES

1. Los resultados de la resistencia a la compresión del hormigón estructural en los ensayos de laboratorio es la medida más frecuente que se utiliza para medir la calidad y desempeño del hormigón para obras civiles, se plantea utilizar para futuras investigaciones la ceniza volante como reemplazo parcial del cemento en un rango de 5% al 30%, sabiendo por medio de esa investigación que la resistencia a la compresión incrementa hasta un 12%. Se recomienda analizar la ceniza volante de manera meticulosa, estudiando sus características físicas y químicas mediante ensayos de Fluorescencia de Rayos X (FRX), Difracción de Rayos X (DRX) y Espectroscopia Infrarroja (FTIR), ya que estas pueden influir de forma no beneficiosa en la resistencia a la compresión del hormigón estructural.
2. Los resultados de la resistencia a la tracción del hormigón estructural es una forma de comportamiento analizada en laboratorios de tecnología del concreto para el diseño y control de calidad en los distintos tipos de obras civiles, esta característica del hormigón funciona especialmente en estructuras hidráulicas y de pavimentación, por consiguiente, se plantea utilizar para futuras investigaciones la ceniza volante como reemplazo parcial del cemento en un rango de 12% al 30%, sabiendo por medio de esta investigación que la resistencia a la tracción incrementa hasta un 26%. A partir del 30% de ceniza volante no es recomendable el uso, ya que reduce la resistencia a la tracción, por el exceso de sílice del hormigón. El principal componente de la ceniza según estudios de FRX, DRX y FTIR es la sílice, este componente al integrarse a la mezcla de diseño reacciona con el calcio y el hidrógeno de la pasta de cemento, esta reacción forma una pasta de silicato de calcio hidratado, la cual actúa como aglutinante en la mezcla del concreto y esto da un efecto positivo en su resistencia a la tracción. Se recomienda analizar las porciones de ceniza volante en el diseño para no alterar la resistencia.
3. La resistencia a la flexión es la falla por momento de una viga o losa de hormigón, este comportamiento es analizado en laboratorios de ingeniería para dar un mejor control de calidad y efectividad en obras civiles. Se plantea utilizar

para futuras investigaciones la ceniza volante como reemplazo parcial del cemento en un rango de 5% al 30%, sabiendo por medio de esta investigación que la resistencia a la tracción incrementa hasta un 19%. No son recomendables las cenizas Clase C (American Society for Testing and Materials C618-19, 2020) porque tienen un exceso de cal y poco de óxido de alúmina y óxido de hierro.

4. La vida útil del hormigón se determina cuando se ven sometidas a pruebas de durabilidad alterando sus condiciones físicas y químicas. Esta información es muy escasa, se plantea que para probar la durabilidad del concreto con ceniza volante de forma directa se realicen ensayos de Ingreso de Cloruros, Carbonatación del Concreto y Penetración de Agua con el fin de obtener resultados y saber cómo influye en forma directa la ceniza volante dentro del diseño de mezcla.
5. Analizar de manera cuidadosa el tamaño máximo del diseño de mezcla con adición de ceniza volante debido al agua que se va a requerir. Si no se llega a determinar el tamaño máximo requerido podría provocar una baja potencial en las propiedades mecánicas del concreto lo que conllevaría a tener problemas futuros afectando la vida útil de la estructura.
6. Como consecuencia de la emergencia sanitaria que estamos afrontando (Covid-19) no se pudo realizar los ensayos correspondientes en laboratorios por lo que la tesis es no experimental. Por consiguiente, esta investigación queda como antecedente para investigaciones futuras relacionadas a este tema. En un contexto de grado académico se promueve la investigación y aplicación del uso de materiales poco convencionales como la ceniza volante en la elaboración de concretos, teniendo beneficios ambientales, estructurales y económicos. Los datos de la presente investigación se tendrán que corroborar en el laboratorio de tecnología del concreto, además se podría plantear hacer prácticas para usarlo en construcciones de presas o reservorios.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A. Fuzail Hashmi; M. Shariq; A. Baqi. (2021). An investigation into age-dependent strength, elastic modulus and deflection of low calcium fly ash concrete for sustainable construction. *Construction and Building Materials*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122772>
- Abualrous, Y. (2017). *Characterization of Indian and Canadian Fly Ash for Use in Concrete*. Obtenido de <https://tspace.library.utoronto.ca/handle/1807/77666>
- Agudelo Moreno, A. A., & Espinosa Torres, B. G. (2017). *Análisis de la resistencia a la compresión de mezclas de concreto con adición de ceniza volante de Termopaipa*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10983/14479>
- American Concrete Institute (ACI 318S-14). (2015). *Requisitos de reglamento para concreto estructural (ACI 318S-14)*. Obtenido de https://civilshare.files.wordpress.com/2016/07/aci_318s_14_en_espanol.pdf
- American Concrete Institute 211.1-91 . (2002). *Standard practice for selecting proportions for normal, heavyweight, and mass concrete*. Obtenido de https://kashanu.ac.ir/Files/aci%20211_1_91.pdf
- American Society for Testing and Materials (ASTM C39/C39M-18). (2016). *Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens*. Obtenido de <https://www.astm.org/astm-tpt-781.html>
- American Society for Testing and Materials C618-19. (2020). *Ceniza volante de carbón y puzolana natural cruda o calcinada para su uso en hormigón*. Obtenido de <https://www.astm.org/c0618-19.html>
- Anamika Agnihotri; P.V. Ramana. (2022). GGBS: Fly-Ash evaluation and mechanical properties within. *Materials Today: Proceedings*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.10.257>
- Bautista Ruiz, W. A., Díaz Lagos, M., & Martínez Ovalle, S. A. (2017). Characterization of flying ashes of a thermoelectric plant for its possible use as an additive in the manufacture of cement. *Magazine of Research, Development and Innovation*.

- BLN Sai Srinath; Venkata Ramesh; Chandan Kumar Patnaikuni; V. Soujanya Vani; Potharaju M. (2021). Effect of Curing Methods on Fly Ash based Concrete. *IOP Publishing*. doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/822/1/012023>
- Brian H. Ortiz-Salcedo; Jerry M. Paris; Christopher C. Ferraro; Rafic Minkara; Kyle A. Riding. (2022). Evaluation of chlorides in fly ash for use in concrete. *Cleaner Materials*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.clema.2022.100098>
- Chavarry Vallejos, C. M., Chavarría Reyes, L. J., Valencia Gutiérrez, A. A., Pereyra Salardi, E., Arieta Padilla, J. P., & Rengifo Salazar, C. A. (2020). Hormigón reforzado con vidrio molido para controlar grietas y fisuras por contracción plástica. *Pro Science*, 4(31). doi:<http://dx.doi.org/10.29018/issn.2588-1000vol4iss31.2020pp31-41>
- Chelberg, M. (2019). *The Effect of Fly Ash Chemical Composition on Compressive Strength of Fly Ash Portland Cement Concrete*. Obtenido de https://etd.ohiolink.edu/apexprod/rws_olink/r/1501/10?clear=10&p10_accession_num=osu1555611247091087
- Chuco Arroyo, R. M. (2021). *Adición de cenizas volantes como sustitución del cemento en 5,10,15 por ciento en $F'c=280\text{KG}/\text{CM}^2$ para pavimentos rígidos Paucartambo Pasco 2021*. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/78099>
- Chuquihuaraca Concha, C. M., & Crisostomo Paucar, J. (2020). *Sustitución de cemento por ceniza volante y su efecto en la permeabilidad del concreto 280 kg/cm² para estructuras hidráulicas, Lima – 2020*. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/57335>
- Contreras Cueva, K. N., & Peña Villalobos, J. S. (2017). *Análisis de la resistencia a la compresión y permeabilidad en el concreto adicionando dosificaciones de cenizas volantes de carbón en la mezcla*. Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/10778>
- Correa Yepes, J. A., Rojas Reyes, N., & Tobón, J. I. (2018). Effect of fly ash and silica fume on rheology, compressive strength and self-compacting in cement mixtures. *DYNA*. doi:<https://doi.org/10.15446/dyna.v85n206.68960>

- Diaz Jimenez, P. A. (2020). *Efectividad del uso de la ceniza de la Termopaipa como sustituto del cemento en la fabricación del concreto*. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/22345>
- E.R. Teixeira, A. Camoes, F.G. Branco. (2022). Synergetic effect of biomass fly ash on improvement of high-volume coal fly ash concrete properties. *Construction and Building Materials*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125680>
- Espada Mayta, M. F., & Morales Andrade, L. J. (2020). *Influencia de la adición de la ceniza volante de carbón en las propiedades del concreto, en muros portuarios, Lima, sector Balneario de Ancón, 2018*. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11537/23949>
- Fabara Hernández, K. V., Flórez Arias, C. A., Callejas Reyes, H. J., & Cajas Daza, P. C. (2017). Use of carbonate rock mining by-products in the cement and concrete industry to assess its application in the Department of Huila: A review. *Informador Técnico*. doi:<https://doi.org/10.23850/22565035.880>
- Han, Y., Lin, R.-S., & Wang, X.-Y. (2022). Compressive Strength Estimation and CO2 Reduction Design of Fly Ash Composite Concrete. *Publisher of Open Access Journals*. doi:<https://doi.org/10.3390/buildings12020139>
- Harmsen E., T. (2002). *Diseño de estructuras de concreto armado*. . Pontificia Universidad Católica del Perú.
- How-Ji Chen; Neng-Hao Shih; Chung-Hao Wu; Shu-Ken Lin. (2019). Effects of the Loss on Ignition of Fly Ash on the Properties of High-Volume Fly Ash Concrete. *MDPI*. doi: <https://doi.org/10.3390/su11092704>
- Huaquisto Cáceres, S., & Belisario Quispe, G. (2018). Use of the flying ash in the dosing of the concrete as a substitute for the cement. *Journal of High Andean Research*. doi:<http://dx.doi.org/10.18271/ria.2018.366>
- Imrose, B. M., Sheikh, S. A., Md. Ferdous, Z., & Md. Shajib, U. (2018). Effects of Multiple Supplementary Cementitious Materials on Workability and Strength of Lightweight Aggregate Concrete. *Jordan Journal of Civil Engineering*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/322592562_Effects_of_Multiple_Supp

lementary_Cementitious_Materials_on_Workability_and_Strength_of_Lightweight_Aggregate_Concrete

- Jinliang Liu; Yao Wang. (2022). Predicting the chloride diffusion in concrete incorporating fly ash by a multi-scale model. *Journal of Cleaner Production*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129767>
- Kanta Rao M.; Naga Satish Kumar. (2022). Evaluation of Strength Properties of the Concrete Prepared from Class F Fly Ash. *IOP Publishing*. doi:<https://doi.org/10.1088/1755-1315/982/1/012012>
- Khuito Murumi; Supratic Gupta. (2019). Experimental Investigation on Viable Limit of Fly Ash Utilization in Concrete. *Jordan Journal of Civil Engineering*. Obtenido de <https://jjce.just.edu.jo/issues/paper.php?p=4646.pdf>
- Lei Wang; Zhiqiang Yu; Bo Liu; Feng Zhao; Shengwen Tang; Minmin Jin. (2022). Effects of Fly Ash Dosage on Shrinkage, Crack Resistance and Fractal Characteristics of Face Slab Concrete. *Fractal and fractional*. doi:<https://doi.org/10.3390/fractalfract6060335>
- M.J. McCarthy; H.I. Yakub; L.J. Csetenyi. (2022). Impact of fly ash production and sourcing changes on chemical and physical aspects of concrete durability. *Construction and Building Materials*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127313>
- Mariluz Pajuelo, M. V., & Ulloa Ponce, J. J. (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*. Obtenido de <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/UNS/3288>
- Ministerio de Vivienda, C. y. (2020). *Norma de Concreto Armado E060*. Obtenido de <https://drive.google.com/file/d/19EYUVMgwvm6rDs47GV374avco2ylU5Kz/view>
- Norma Técnica Peruana 339.047-2006. (2016). *Hormigón (Concreto). Definiciones y terminología relativas al hormigón y agregados*. Obtenido de <https://dokumen.tips/documents/ntp-339047-2006.html>

- NTP 339.034. (2008). *Concreto: Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas*. Obtenido de <https://www.inacal.gob.pe/cid/categoria/normas-tecnicas-peruanas>
- NTP 339.078. (2012). *CONCRETO. Determinación de la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios de la distancia entre apoyos*. Obtenido de <https://www.inacal.gob.pe/cid/categoria/normas-tecnicas-peruanas>
- NTP 339.079. (2012). *CONCRETO. Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas en el centro del tramo*. Obtenido de <https://www.inacal.gob.pe/cid/categoria/normas-tecnicas-peruanas>
- NTP 339.084. (2017). *Concreto: Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a tracción simple del concreto, por compresión diametral de una prueba cilíndrica*. Obtenido de <https://www.inacal.gob.pe/cid/categoria/normas-tecnicas-peruanas>
- P. Laxman Kudva; Gopinatha Nayak; Kiran K. Shetty; H.K. Sugandhini. (2022). A sustainable approach to designing high volume fly ash concretes. *Materials Today: Proceedings*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.165>
- Pérez Atoche, J. M. (2018). *Influencia de la ceniza volante "fly ash" como sustituto parcial del cemento portland IP en las propiedades del concreto $f_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$* . Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12840/1294>
- Qu, Z., Liu, Z., Si, R., & Zhang, Y. (2022). Effect of Various Fly Ash and Ground Granulated Blast Furnace Slag Content on Concrete Properties: Experiments and Modelling. *Publisher of Open Access Journals*. doi:<https://doi.org/10.3390/ma15093016>
- Quispe Galindo, E. (2017). *Efectos de la ceniza volante en la elaboración de los concretos en la localidad de Ñuloa provincia de Melgar - Puno*. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12990/3639>
- Rubaiya Rumman; Meraj Rubayat Kamal; Tanvir Manzur; Munaz Ahmed Noor. (2022). Optimum proportion of fly ash or slag for resisting concrete deterioration due to

carbonation and chloride ingress. *Structures*.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.04.087>

Sánchez de Guzmán, D. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero*. Biblioteca de construcción .

Srinivasu, D. K., Sree, J., Hymavathi, G., Sri, A. M., & Harsha, N. (2022). Strength studies on partial replacement on cement with fly ash and recycled aggregates in concrete. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*. Obtenido de https://www.irjmets.com/uploadedfiles/paper//issue_6_june_2022/27345/final/final_irjmets1657012443.pdf

Susmitha, P. J., & Rao, M. K. (2022). Comparative study on strength and durability of concrete upon partial substitution of fly ash and bagasse ash in conventional concrete. *IOP SCIENCE*. Obtenido de <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/982/1/012011>

Tagle Delgado, C. (2019). *Análisis comparativo de las propiedades físico – mecánicas de un mortero patrón; y un mortero sustituyendo el peso del cemento con ceniza volante en porcentajes de 5%, 10 % y 15%, elaborado con agregados de Cunyac y Pisac – Cusco 2017*. Obtenido de https://repositorio.uandina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12557/2859/Claudia_Tesis_bachiller_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Torre C., A. (2004). *Curso básico de tecnología del concreto*. Universidad Nacional de Ingeniería .

Vega Romero, B. A., & Pareja Marquina, Y. (2021). *Cenizas volantes de carbón para mejorar la resistencia a la compresión y permeabilidad del concreto*. Obtenido de <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/4871>

Vishal Behl; Vinay Singh; Vijay Dahiya; Ajay Kumar. (2022). Characterization of physico-chemical and functional properties of fly ash concrete mix. *Materials Today: Proceedings*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.06.353>

Xinkai Yu; Jinyang Li. (2019). Properties of concrete containing fly ash and temperature control measures used during construction. *IOP Publishing*. doi:<https://doi.org/10.1088/1755-1315/304/5/052003>

- 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*. Obtenido de <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/171796>
- Yapuchura Platero, R. J. (2019). *Influencia de la ceniza volante en el incremento de la resistencia a la compresion y flexion para losas de concreto de $f'c=210$ kg/cm² utilizando agregado de la cantera Arunta - Tacna*. Obtenido de <https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/812>
- Yunjiao Chen; Xuyun Tan; Cai Xing; Jiaren Zheng. (2021). How healthcare workers respond to COVID-19: The role of vulnerability and social support in a close relationships defense mechanism. *Acta Psychologica*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2021.103442>
- Yunpeng Cui; Licheng Wang ; Jun Liu; Runqing Liu; Bo Pang. (2022). Impact of particle size of fly ash on the early compressive strength of concrete: Experimental investigation and modelling. *Construction and Building Materials*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126444>
- Zhenzhao Ding; Nguyen Xuan Quy; Jihoon Kim; Yukio Hama. (2022). Evaluations of frost and scaling resistance of fly ash concrete in terms of changes in water absorption and pore structure under the accelerated carbonation conditions. *Construction and Building Materials*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128273>

ANEXOS

Anexo 1 - Matriz de consistencia - Ceniza volante para mejorar las propiedades mecánicas del hormigón estructural

Problema Principal	Objetivos	Hipótesis	Variables	Indicadores	Método
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Independiente		
¿En qué medida el diseño de mezcla con adición de cenizas volantes mejora las propiedades mecánicas del hormigón estructural?	Determinar el diseño de mezcla con adición de ceniza volante para mejorar las propiedades mecánicas del hormigón estructural	Al determinar el diseño de mezcla con adición de ceniza volante mejoran las propiedades mecánicas del hormigón estructural.	Diseño de mezcla con adición de ceniza volante.	Porcentaje de Ceniza Volante. Relación Agua/Cemento Tamaño Máximo del Agregado grueso.	El método de la investigación es deductivo con una orientación aplicada de enfoque cuantitativo ya que usaron cálculos para obtener el porcentaje óptimo que requiere el concreto.
Problema Especifico	Objetivos Específicos	Hipótesis Especificas	Dependiente	Indicadores	Método
1. ¿En qué medida el óptimo porcentaje de ceniza volante incrementa la resistencia a la compresión del hormigón estructural?	1. Determinar el óptimo porcentaje de ceniza volante para incrementar la resistencia a la compresión del hormigón estructural.	1. Al determinar el óptimo porcentaje de ceniza volante se incrementa la resistencia a la compresión del hormigón estructural.		Resistencia a la compresión.	
2. ¿En qué medida el óptimo porcentaje de ceniza volante incrementa la resistencia a la tracción de hormigón estructural?	2. Determinar el óptimo porcentaje de ceniza volante para incrementar la resistencia a la tracción del hormigón estructural.	2. Al determinar el óptimo porcentaje de ceniza volante se incrementa la resistencia a la tracción del hormigón estructural.		Resistencia a la tracción.	
3. ¿En qué medida el óptimo porcentaje de ceniza volante incrementa la resistencia a la flexión de hormigón estructural?	3. Determinar el óptimo porcentaje de ceniza volante para incrementar la resistencia a la flexión del hormigón estructural.	3. Al determinar el óptimo porcentaje de ceniza volante se incrementa la resistencia a la flexión del hormigón estructural.	Propiedades mecánicas del concreto.	Resistencia a la flexión	El método de la investigación es deductivo con una orientación aplicada de enfoque cuantitativo ya que usaron normas, reglamentos para mejorar la resistencia del concreto.
4. ¿En qué medida la relación agua/cemento con adición de ceniza volante incrementa la durabilidad del hormigón estructural?	4. Determinar la relación agua/cemento con adición de ceniza volante para incrementar la durabilidad del hormigón estructural.	4. Al determinar la relación agua/cemento con adición de ceniza volante se incrementa la durabilidad del hormigón estructural.		Durabilidad.	
5. ¿Cuál es el óptimo tamaño máximo del agregado grueso para incrementar la resistencia a la compresión del hormigón estructural?	5. Determinar el óptimo tamaño máximo del agregado grueso para incrementar la resistencia a la compresión del hormigón estructural.	5. Al determinar el óptimo tamaño máximo del agregado grueso se incrementa la resistencia a la compresión del hormigón estructural.			

Fuente: Elaboración propia

Anexo 2 – Revisión Bibliográfica

Autor	Titulo	Cita Bibliográfica
M.J. McCarthy; H.I. Yakub L.J.; Csetenyi	Impact of fly ash production and sourcing changes on chemical and physical aspects of concrete durability	M.J. McCarthy; H.I. Yakub; L.J. Csetenyi. (2022). Impact of fly ash production and sourcing changes on chemical and physical aspects of concrete durability. <i>Construction and Building Materials</i> . doi: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127313
A. Fuzail Hashmi; M. Shariq; A. Baqi	An investigation into age-dependent strength, elastic modulus and deflection of low calcium fly ash concrete for sustainable construction	A. Fuzail Hashmi; M. Shariq; A. Baqi. (2021). An investigation into age-dependent strength, elastic modulus and deflection of low calcium fly ash concrete for sustainable construction. <i>Construction and Building Materials</i> . doi: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122772
E.R. Teixeira; A. Camoes; F.G. Branco	Synergetic effect of biomass fly ash on improvement of high-volume coal fly ash concrete properties	E.R. Teixeira, A. Camoes, F.G. Branco. (2022). Synergetic effect of biomass fly ash on improvement of high-volume coal fly ash concrete properties. <i>Construction and Building Materials</i> . doi: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125680
Yunpeng Cui; Licheng Wang ; Jun Liu; Runqing Liu; Bo Pang	Impact of particle size of fly ash on the early compressive strength of concrete: Experimental investigation and modelling	Yunpeng Cui; Licheng Wang; Jun Liu; Runqing Liu; Bo Pang. (2022). Impact of particle size of fly ash on the early compressive strength of concrete: Experimental investigation and modelling. <i>Construction and Building Materials</i> . doi: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126444
Zhenzhao Ding; Nguyen Xuan Quy; Jihoon Kim; Yukio Hama	Evaluations of frost and scaling resistance of fly ash concrete in terms of changes in water absorption and pore structure under the accelerated carbonation conditions	Zhenzhao Ding; Nguyen Xuan Quy; Jihoon Kim; Yukio Hama. (2022). Evaluations of frost and scaling resistance of fly ash concrete in terms of changes in water absorption and pore structure under the accelerated carbonation conditions. <i>Construction and Building Materials</i> . doi: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128273

Fuente: Elaboración propia

Autor	Titulo	Cita Bibliográfica
Jinliang Liu; Yao Wang	Predicting the chloride diffusion in concrete incorporating fly ash by a multi-scale model	Jinliang Liu; Yao Wang. (2022). Predicting the chloride diffusion in concrete incorporating fly ash by a multi-scale model. <i>Journal of Cleaner Production</i> . doi: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129767
Vishal Behl; Vinay Singh; Vijay Dahiya; Ajay Kumar	Characterization of physico-chemical and functional properties of fly ash concrete mix	Vishal Behl; Vinay Singh; Vijay Dahiya; Ajay Kumar. (2022). Characterization of physico-chemical and functional properties of fly ash concrete mix. <i>Materials Today: Proceedings</i> . doi: https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.06.353
Anamika Agnihotri; P.V. Ramana	GGBS: Fly-Ash evaluation and mechanical properties within high strength concrete	Anamika Agnihotri; P.V. Ramana. (2022). GGBS: Fly-Ash evaluation and mechanical properties within. <i>Materials Today: Proceedings</i> . doi: https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.10.257
P. Laxman Kudva; Gopinatha Nayak; Kiran K. Shetty; H.K. Sugandhini	A sustainable approach to designing high volume fly ash concretes	P. Laxman Kudva; Gopinatha Nayak; Kiran K. Shetty; H.K. Sugandhini. (2022). A sustainable approach to designing high volume fly ash concretes. <i>Materials Today: Proceedings</i> . doi: https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.165
Rubaiya Rumman; Meraj Rubayat Kamal; Tanvir Manzur; Munaz Ahmed Noor	Optimum proportion of fly ash or slag for resisting concrete deterioration due to carbonation and chloride ingress	Rubaiya Rumman; Meraj Rubayat Kamal; Tanvir Manzur; Munaz Ahmed Noor. (2022). Optimum proportion of fly ash or slag for resisting concrete deterioration due to carbonation and chloride ingress. <i>Structures</i> . doi: https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.04.087

Fuente: Elaboración propia

Autor	Titulo	Cita Bibliográfica
Brian H. Ortiz-Salcedo; Jerry M. Paris; Christopher C. Ferraro; Rafic Minkara; Kyle A. Riding	Evaluation of chlorides in fly ash for use in concrete	Brian H. Ortiz-Salcedo; Jerry M. Paris; Christopher C. Ferraro; Rafic Minkara; Kyle A. Riding. (2022). Evaluation of chlorides in fly ash for use in concrete. Cleaner Materials. doi:https://doi.org/10.1016/j.clema.2022.100098
BLN Sai Srinath; Venkata Ramesh; Chandan Kumar Patnaikuni; V. Soujanya Vani; Potharaju M.	Effect of Curing Methods on Fly Ash based Concrete	BLN Sai Srinath; Venkata Ramesh; Chandan Kumar Patnaikuni; V. Soujanya Vani; Potharaju M. (2021). Effect of Curing Methods on Fly Ash based Concrete. IOP Publishing. doi:doi:10.1088/1755-1315/822/1/012023
How-Ji Chen; Neng-Hao Shih; Chung-Hao Wu; Shu-Ken Lin	Effects of the Loss on Ignition of Fly Ash on the Properties of High-Volume Fly Ash Concrete	How-Ji Chen; Neng-Hao Shih; Chung-Hao Wu; Shu-Ken Lin. (2019). Effects of the Loss on Ignition of Fly Ash on the Properties of High-Volume Fly Ash Concrete. MDPI. doi:doi:10.3390/su11092704
Khuito Murumi; Supratic Gupta	Experimental Investigation on Viable Limit of Fly Ash Utilization in Concrete	Khuito Murumi; Supratic Gupta. (2019). Experimental Investigation on Viable Limit of Fly Ash Utilization in Concrete. Jordan Journal of Civil Engineering. Obtenido de https://jjce.just.edu.jo/issues/paper.php?p=4646.pdf
Lei Wang; Zhiqiang Yu; Bo Liu; Feng Zhao; Shengwen Tang; Minmin Jin	Effects of Fly Ash Dosage on Shrinkage, Crack Resistance and Fractal Characteristics of Face Slab Concrete	Lei Wang; Zhiqiang Yu; Bo Liu; Feng Zhao; Shengwen Tang; Minmin Jin. (2022). Effects of Fly Ash Dosage on Shrinkage, Crack Resistance and Fractal Characteristics of Face Slab Concrete. Fractal and fractional. doi:https://doi.org/10.3390/fractalfract6060335

Fuente: Elaboración propia

Autor	Titulo	Cita Bibliográfica
Xinkai Yu; Jinyang Li	Properties of concrete containing fly ash and temperature control measures used during construction	Xinkai Yu; Jinyang Li. (2019). Properties of concrete containing fly ash and temperature control measures used during construction. IOP Publishing. doi:10.1088/1755-1315/304/5/052003
Fabara Hernández, K. V., Flórez Arias, C. A., Callejas Reyes, H. J., & Cajas Daza, P. C.	Use of carbonate rock mining by-products in the cement and concrete industry to assess its application in the Department of Huila: A review	Fabara Hernández, K. V., Flórez Arias, C. A., Callejas Reyes, H. J., & Cajas Daza, P. C. (2017). Use of carbonate rock mining by-products in the cement and concrete industry to assess its application in the Department of Huila: A review. Informador Técnico. doi:https://doi.org/10.23850/22565035.880
Qu, Z., Liu, Z., Si, R., & Zhang, Y.	Effect of Various Fly Ash and Ground Granulated Blast Furnace Slag Content on Concrete Properties: Experiments and Modelling.	Qu, Z., Liu, Z., Si, R., & Zhang, Y. (2022). Effect of Various Fly Ash and Ground Granulated Blast Furnace Slag Content on Concrete Properties: Experiments and Modelling. Publisher of Open Access Journals. doi:https://doi.org/10.3390/ma15093016
Correa Yepes, J. A., Rojas Reyes, N., & Tobón, J. I.	Effect of fly ash and silica fume on rheology, compressive strength and self-compacting in cement mixtures	Correa Yepes, J. A., Rojas Reyes, N., & Tobón, J. I. (2018). Effect of fly ash and silica fume on rheology, compressive strength and self-compacting in cement mixtures. DYNA. doi:https://doi.org/10.15446/dyna.v85n206.68960
Han, Y., Lin, R.-S., & Wang, X.-Y.	Compressive Strength Estimation and CO ₂ Reduction Design of Fly Ash Composite Concrete	Han, Y., Lin, R.-S., & Wang, X.-Y. (2022). Compressive Strength Estimation and CO ₂ Reduction Design of Fly Ash Composite Concrete. Publisher of Open Access Journals. doi:https://doi.org/10.3390/buildings12020139

Fuente: Elaboración propia

Autor	Titulo	Cita Bibliográfica
Susmitha, P. J., & Rao, M. K.	Comparative study on strength and durability of concrete upon partial substitution of fly ash and bagasse ash in conventional concrete	Susmitha, P. J., & Rao, M. K. (2022). Comparative study on strength and durability of concrete upon partial substitution of fly ash and bagasse ash in conventional concrete. IOP SCIENCE. Obtenido de https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/982/1/012011
Agudelo Moreno, A. A., & Espinosa Torres, B. G.	Análisis de la resistencia a la compresión de mezclas de concreto con adición de ceniza volante de Termopaipa	Agudelo Moreno, A. A., & Espinosa Torres, B. G. (2017). Análisis de la resistencia a la compresión de mezclas de concreto con adición de ceniza volante de Termopaipa. Obtenido de http://hdl.handle.net/10983/14479
Abualrous, Y.	Characterization of Indian and Canadian Fly Ash for Use in Concrete	Abualrous, Y. (2017). Characterization of Indian and Canadian Fly Ash for Use in Concrete. Obtenido de https://tspace.library.utoronto.ca/handle/1807/77666
Diaz Jimenez, P. A.	Efectividad del uso de la ceniza de la Termopaipa como sustituto del cemento en la fabricación del concreto	Diaz Jimenez, P. A. (2020). Efectividad del uso de la ceniza de la Termopaipa como sustituto del cemento en la fabricación del concreto. Obtenido de https://repository.usta.edu.co/handle/11634/22345
Yáñez Valdés, L. A.	Tecnologías de mejoramiento de la ceniza volante con altos contenidos de carbón y sus beneficios al utilizar ceniza mejorada como adición al cemento portland	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. Obtenido de https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/171796

Fuente: Elaboración propia

Autor	Titulo	Cita Bibliográfica
Chelberg, M.	The Effect of Fly Ash Chemical Composition on Compressive Strength of Fly Ash Portland Cement Concrete	Chelberg, M. (2019). The Effect of Fly Ash Chemical Composition on Compressive Strength of Fly Ash Portland Cement Concrete. Obtenido de https://etd.ohiolink.edu/apexprod/rws_olink/r/1501/10?clear=10&p10_accession_num=osu1555611247091087
Contreras Cueva, K. N., & Peña Villalobos, J. S.	Análisis de la resistencia a la compresión y permeabilidad en el concreto adicionando dosificaciones de cenizas volantes de carbón en la mezcla	Contreras Cueva, K. N., & Peña Villalobos, J. S. (2017). Análisis de la resistencia a la compresión y permeabilidad en el concreto adicionando dosificaciones de cenizas volantes de carbón en la mezcla. Obtenido de https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/10778
Vega Romero, B. A., & Pareja Marquina, Y.	Cenizas volantes de carbón para mejorar la resistencia a la compresión y permeabilidad del concreto	Vega Romero, B. A., & Pareja Marquina, Y. (2021). Cenizas volantes de carbón para mejorar la resistencia a la compresión y permeabilidad del concreto. Obtenido de https://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/4871
Espada Mayta, M. F., & Morales Andrade, L. J.	Influencia de la adición de la ceniza volante de carbón en las propiedades del concreto, en muros portuarios, Lima, sector Balneario de Ancón, 2018	Espada Mayta, M. F., & Morales Andrade, L. J. (2020). Influencia de la adición de la ceniza volante de carbón en las propiedades del concreto, en muros portuarios, Lima, sector Balneario de Ancón, 2018. Obtenido de https://hdl.handle.net/11537/23949
Yapuchura Platero, R. J.	Influencia de la ceniza volante en el incremento de la resistencia a la compresión y flexión para losas de concreto de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ utilizando agregado de la cantera Arunta - Tacna	Yapuchura Platero, R. J. (2019). Influencia de la ceniza volante en el incremento de la resistencia a la compresión y flexión para losas de concreto de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ utilizando agregado de la cantera Arunta - Tacna. Obtenido de https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/812

Fuente: Elaboración propia

Autor	Titulo	Cita Bibliográfica
Mariluz Pajuelo, M. V., & Ulloa Ponce, J. J.	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	Mariluz Pajuelo, M. V., & Ulloa Ponce, J. J. (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. Obtenido de http://repositorio.uns.edu.pe/handle/UNS/3288
Samuel Huaquisto Cáceres, Germán Belizario Quispe	Utilización de la Ceniza Volante en la Dosificación del Concreto como sustituto del Cemento	Huaquisto Cáceres, S., & Belisario Quispe, G. (2018). Use of the flying ash in the dosing of the concrete as a substitute for the cement. <i>Journal of High Andean Research</i> . doi: http://dx.doi.org/10.18271/ria.2018.366
Kanta Rao, Naga Satish Kumar Ch.	Evaluation of Strength Properties of the Concrete Prepared from Class F Fly Ash	Kanta Rao M.; Naga Satish Kumar. (2022). Evaluation of Strength Properties of the Concrete Prepared from Class F Fly Ash. IOP Publishing. doi: doi:10.1088/1755-1315/982/1/012012
Imrose Bin Muhit, Sheikh Sharif Ahmed, Md. Ferdous Zaman and Md. Shajib Ullah	Effects of Multiple Supplementary Cementitious Materials on Workability and Strength of Lightweight Aggregate Concrete	Imrose, B. M., Sheikh, S. A., Md. Ferdous, Z., & Md. Shajib, U. (2018). Effects of Multiple Supplementary Cementitious Materials on Workability and Strength of Lightweight Aggregate Concrete. <i>Jordan Journal of Civil Engineering</i> . Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/322592562_Effects_of_Multiple_Supplementary_Cementitious_Materials_on_Workability_and_Strength_of_Lightweight_Aggregate_Concrete

Fuente: Elaboración propia

Autor	Titulo	Cita Bibliográfica
Chuco Arroyo, Ronaldo Mario	Adición de cenizas volantes como sustitución del cemento en 5,10,15 por ciento en $F'c=280\text{kg/cm}^2$ para pavimentos rígidos Paucartambo Pasco 2021	Chuco Arroyo, R. M. (2021). Adición de cenizas volantes como sustitución del cemento en 5, 10, 15 por ciento en $F'c=280\text{kg/cm}^2$ para pavimentos rígidos Paucartambo Pasco 2021. Obtenido de https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/78099
I. L. K. Wong	Effect compressive strength and split tensile strength of concrete using aggregate from Tana Toraja district with fly ash substitution	Wong, I. L. K. (2021). Effect compressive strength and split tensile strength of concrete using aggregate from tana toraja district with fly ash substitution. IOP Conference Series.Earth and Environmental Science, 921(1) doi: https://doi.org/10.1088/1755-1315/921/1/012066
Dr. K. Srinivasu, J. Sree Naga Chaitanya, G. Hymavathi, A. Medha Sri, N. Harsha	Strength Studies On Partial Replacement on Cement with Fly Ash and recycled aggregates in Concrete	Srinivasu, D. K., Sree, J., Hymavathi, G., Sri, A. M., & Harsha, N. (2022). Strength studies on partial replacement on cement ith fly ash and recycled aggregates in concrete. International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science. Obtenido de https://www.irjmets.com/uploadedfiles/paper//issue_6_june_2022/27345/final/fin_irjmets1657012443.pdf
Jafet Mánfred Pérez Atoche	Influencia de la ceniza volante "fly ash" como sustituto parcial del cemento portland IP en las propiedades del concreto $f'c=210\text{ Kg/cm}^2$	Pérez Atoche, J. M. (2018). Influencia de la ceniza volante "fly ash" como sustituto parcial del cemento portland IP en las propiedades del concreto $fc=210\text{ Kg/cm}^2$. Obtenido de http://hdl.handle.net/20.500.12840/1294

Fuente: Elaboración propia

Anexo 3 – Selección Documental: Referencias – Resúmenes – Subtemas Identificados

Título	Refer. (cita)	Resumen	Ideas Principales	Subtemas	Conclusiones	Link	DOI	Año
Impact of fly ash production and sourcing changes on chemical and physical aspects of concrete durability	M.J. McCarthy; H.I. Yakub; L.J. Csetenyi. (2022). Impact of fly ash production and sourcing changes on chemical and physical aspects of concrete durability. Construction and Building Materials. doi:https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127313	Los autores nos comentan sobre las diversas formas de obtener la ceniza volante como sustituto parcial de cemento dando a entender que esta adición influye en la resistencia mecánica del hormigón armado, nos dan alcances con las nomenclaturas químicas y porcentajes en su contenido de las cenizas las cuales en su mayoría contiene oxido de silicio, oxido de calcio y oxido de alúmina. El procedimiento tomado por los autores en cuando a la mezcla de cenizas se tomó en cuenta las características según su combustión, categoría procesamiento por lo que se catalogó a varias cenizas en estos ensayos según lo indicado en la norma de las cenizas. Se siguieron los métodos de prueba como los ataques a los sulfatos, reacción álcali-agregado y abrasión para dar una respuesta hacia la interferencia de la ceniza en la vida útil del concreto modificado, las conclusiones dadas fueron que al incluir las cenizas en una mezcla de concreto aumentaría su resistencia porque aumentaría su durabilidad.	Contenido principal de cenizas volantes: óxido de silicio, óxido de calcio y óxido de alúmina. Cenizas volantes incrementan la durabilidad y por lo tanto la resistencia a la compresión.	Ex	Las cenizas volantes incrementan la durabilidad y por lo tanto la resistencia a la compresión.	https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095006182200993X?via%3Dihub	https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127313	2022

Fuente: Elaboración propia

Título	Refer. (cita)	Resumen	Ideas Principales	Subtemas	Método	Conclusiones	Link	DOI	Año
Synergetic effect of biomass fly ash on improvement of high-volume coal fly ash concrete properties	E.R. Teixeira, A. Camoes, F.G. Branco. (2022). Synergetic effect of biomass fly ash on improvement of high-volume coal fly ash concrete Construction and Building Materials. doi:https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125680	La investigación presentada por los autores nos comenta sobre la utilización de productos sostenibles que pueden ser sustituidos como agregado en el cemento reduciendo costos y mejorando sus propiedades físicas y mecánicas, el objetivo de los autores es determinar el desempeño de las cenizas volantes de biomasa cuando se utiliza como reemplazo parcial de cemento y como material de reserva de alcalinidad en concreto de alto volumen de cenizas volantes, se hicieron ensayos de resistencia a la compresión a los 90 y 180 días de curado con cubos de 100mm por lado y prismas de 100x100x855mm determinando que estas nuevas mezclas de hormigón mostraron una contribución positiva a la calidad, durabilidad y sostenibilidad del concreto.	Cenizas volantes incrementan la resistencia a la compresión y la durabilidad del concreto	Resistencia a la compresión Durabilidad	Experimento	Las cenizas volantes incrementan la resistencia a la compresión y la durabilidad.	https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061821034140?via%3Dihub	https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125680	2022

Fuente: Elaboración propia

Título	Refer. (cita)	Resumen	Ideas Principales	Subtemas	Método	Conclusiones	Link	DOI	Año
Impact of particle size of fly ash on the early compressive strength of concrete: Experimental investigation and modelling	Yunpeng Cui; Licheng Wang; Jun Liu; Runqing Liu; Bo Pang. (2022). Impact of particle size of fly ash on the early compressive strength of concrete: Experimental investigation and modelling. Construction and Building Materials. doi:https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126444	En el artículo de investigación se menciona a las cenizas como un aditivo que cambia la durabilidad la trabajabilidad del concreto debido a su efecto de dilución y reacción puzolánico mejorada, la efectividad de este material se ve reflejada en el tamaño de la partícula las cuales fueron tamizadas para luego realizar la mezcla de concreto. Se estudiaron la resistencia a la compresión y la estructura de poros del hormigón se estudió mediante calorimetría isotérmica a edades de curado de 7 días, para mejorar la precisión de los resultados se utilizaron coeficientes de corrección de la teoría de Neville.	Cenizas volantes incrementan la resistencia a la compresión y la durabilidad del concreto	Resistencia a la compresión Durabilidad	Experimental	Las cenizas volantes incrementan la resistencia a la compresión y la durabilidad.	https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095006182001374?via%3Dihub	https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126444	2022

Fuente: Elaboración propia

Título	Refer. (cita)	Resumen	Ideas Principales	Subtemas	Método	Conclusiones	Link	DOI	Año
Evaluations of frost and scaling resistance of fly ash concrete in terms of changes in water absorption and pore structure under the accelerated carbonation conditions	Zhenzhao Ding; Nguyen Xuan Quy; Jihoon Kim; Yukio Hama. (2022). Evaluations of frost and scaling resistance of fly ash concrete in terms of changes in water absorption and pore structure under the accelerated carbonation conditions. Construction and Building Materials. doi:https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128273	En el presente estudio experimental se investigó la resistencia a las heladas y el descascamiento del concreto con un reemplazo parcial del cemento con cenizas volantes midiendo su exposición al aire y las condiciones de carbonatación acelerada, se hicieron pruebas en la absorción con una prueba llamada RILEM/CIF y los poros de la mezcla se midieron con el método de Arquímedes y el método de porosimetría de intrusión de mercurio. Los resultados que arrojaron estas pruebas de durabilidad nos dieron a saber el comportamiento de la ceniza volante en el diseño de mezcla con un clima helado, las cenizas ayudan en reducir los poros en la estructura por la cual la resistencia a las heladas no se ve afectada por la carbonatación del hormigón. La resistencia a la descamación tiende a aumentar como resultado del aumento del volumen de poro por encima de 75 nm que se produce como resultado de carbonatación.	Las cenizas volantes ayudan a reducir los poros en la estructura por lo cual la resistencia a las heladas no se ve afectada por la carbonatación del hormigón	Durabilidad	Estructura	Las cenizas volantes incrementa la durabilidad del concreto.	https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061822019341?via%3Dihub	https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128273	2022

Fuente: Elaboración propia

Título	Refer. (cita)	Resumen	Ideas Principales	Conclusiones	Link	DOI	Año
Predicting the chloride diffusion in concrete incorporating fly ash by a multi-scale model	Jinliang Yao (2022). Predicting the chloride diffusion in concrete incorporating fly ash by a multi-scale model. Journal of Cleaner Production. doi: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129767	En el presente artículo, los investigadores desarrollan un modelo de predicción para cuantificar el efecto que la adición de ceniza volante origina en el proceso de difusión del cloruro en muestras de concreto. Para jerarquizar los constituyentes utilizaron el Método Autoconsistente Generalizado (GSC) para calcular la difusividad efectiva de los cloruros en las muestra de concreto con adición de ceniza volante. Además del modelado teórico, también se llevaron a cabo pruebas de Migración Rápida de Cloruro (RCM) y la Prueba Rápida de Penetración de Cloruro (RCPT) en muestras de concreto con diferentes proporciones de adición de ceniza volante (10%, 20% y 30%), cuyos resultados validaron el modelo propuesto. Concluyen los autores que la reacción puzolánica y efecto de relleno como micro agregado son las principales razones por las que la adición de ceniza volante mejora la resistencia al ingreso de cloruros al concreto. Los resultados demostraron el efecto positivo de las cenizas volantes en el retardo de la penetración de cloruro en el hormigón. La muestra con 30% de cenizas volantes el reemplazo redujo la profundidad alrededor del 31% en comparación con la muestra de control. Por otro lado, el análisis de sensibilidad paramétrica de las predicciones del modelo y la observación experimental prueban que existe el valor umbral de las cenizas volantes en porcentaje de reemplazo que rondan el 30%-40%, esto debido a que el exceso de partículas de cenizas volantes sin reaccionar puede causar el fenómeno de aglomeración y aumentar la porosidad del hormigón, siendo desfavorable. Finalmente, las comparaciones de la difusividad del cloruro entre los datos experimentales y los cálculos del modelo obtuvieron un buen acuerdo, cuya máxima diferencia es de aproximadamente 9,6% y el coeficiente de correlación es igual a 0.965.	La reacción puzolánica y efecto de relleno como micro agregado son las principales razones por las que la adición de ceniza volante mejora la resistencia al ingreso de cloruros al concreto.	La adición de ceniza volante como reemplazo del cemento mejora la resistencia al ingreso de cloruros al concreto.	https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652621039433?via%3Dihub	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129767	2022

Fuente: Elaboración propia

Título	Refer. (cita)	Resumen	Ideas Principales	Subtemas	Método	Conclusiones	Link	DOI	Año
Characterization of physico-chemical and functional properties of fly ash concrete mix	Vishal Behl; Vinay Singh; Vijay Dahiya; Ajay Kumar. (2022). Characterization of physico-chemical and functional properties of fly ash concrete mix. Materials Today: Proceedings. doi:https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.06.353	El presente trabajo trata de la sustitución parcial del peso de cemento por 5-20% de cenizas volantes. En el presente estudio, se usó el concreto grado M20 y una relación agua/cemento de 0.5. Se comparó las muestras base con mezcla convencional de concreto con las muestras con adición de cenizas volantes, y se analizaron las propiedades como la trabajabilidad, demanda de agua, calor de hidratación para el concreto fresco, y por otro lado la resistencia a la compresión, la permeabilidad y la durabilidad del concreto endurecido. Se concluye que para el concreto fresco, la adición de ceniza volante mejora la trabajabilidad, baja la demanda de agua (en concreto con 20% de reemplazo de ceniza volante, la demanda de agua baja en un 10%) y reducción del calor de hidratación. En cuanto al concreto endurecido, la resistencia a la compresión de la mezcla de concreto y fraguado temprano fue más alto con 5% de cenizas volantes. Asimismo, la mezcla de hormigón de cemento arena con un 20% de cenizas volantes reveló propiedades aceptables de resistencia.	Para el concreto fresco, la adición de ceniza volante mejora la trabajabilidad, baja la demanda de agua y reduce el calor de hidratación. Para el concreto endurecido, la resistencia a la compresión de la mezcla de concreto y fraguado temprano fue más alto con 5% de cenizas volantes	Resistencia a la compresión Durabilidad		Las cenizas volantes incrementan la resistencia a la compresión y la durabilidad, siendo un porcentaje óptimo de 5%	https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S214785321047477?via%3Dihub	https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.06.353	2022

Fuente: Elaboración propia

Título	Refer. (cita)	Resumen	Ideas Principales	Subtemas	Método	Conclusiones	Link	DOI	Año
GGBS: Fly-Ash evaluation and mechanical properties within high strength concrete.	Anamika Agnihotri; P.V. Ramana. (2022). GGBS: Fly-Ash evaluation and mechanical properties within. Materials Today: Proceedings. doi: https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.10.257	Los investigadores comparan los resultados de una mezcla de concreto con cemento Portland Ordinario (OPC) con mezclas de concreto con cemento Portland con puzolánico (PPC) como la escoria de alto horno granulada molida (GGBS) y las cenizas volantes. Concluyen que, comparado con el concreto convencional, la mezcla con 60% de escoria de alto horno granulada molida y 40% de ceniza volante tiene una más alta resistencia a la compresión que las otras mezclas. Así mismo, indican que el uso de estos materiales produce excelentes resultados en cuanto a resistencia y durabilidad.	- La mezcla con 60% de escoria de alto horno granulada molida y 40% de ceniza volante tiene una más alta resistencia a la compresión que las otras mezclas, comparado con el concreto convencional	Resistencia a la compresión Durabilidad	E	Las mezclas de concreto con cemento Portland con puzolánico (PPC) como la escoria de alto horno granulada molida (GGBS) y las cenizas volantes (FA), afecta a la resistencia a la compresión y durabilidad.	https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S214785321067651?via%3Dihub	https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.10.257	2022

Fuente: Elaboración propia

Título	Refer. (cita)	Resumen	Ideas Principales	Subtemas	Método	Conclusiones	Link	DOI	Año
A sustainable approach to designing high volume fly ash concretes	P. Laxman Kudva; Gopinatha Nayak; Kiran K. Shetty; H.K. Sugandhini. (2022). A sustainable approach to designing high volume fly ash concretes. Materials Today: Proceedings. doi:https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.165	El estudio presenta el diseño y los resultados de las pruebas de edad temprana de hormigón autocompactante (SCC) y hormigón sin agregados (NAC). Mientras que el SCC utiliza piedras de granito trituradas y arena de río como agregados y reemplaza el 60 % del cemento Portland ordinario (OPC) con cenizas volantes, el NAC reemplaza el 80 % del OPC con cenizas volantes y no tiene agregados. El presente estudio utiliza cenizas volantes de clase F provenientes de un campo de precipitador electrostático (ESP) específico. Las pruebas físicas, a saber, el análisis de tamiz húmedo, la gravedad específica y el índice de actividad puzolánico (PAI), junto con el análisis químico, demuestran la calidad de las cenizas volantes. El SCC alcanza una resistencia a la compresión de 34,72 MPa a los siete días de curado y logra una mejora de más del doble a los 56 días. El NAC muestra una resistencia a la flexión y a la compresión equivalente, mientras que la resistencia a la tracción no es comparable con la del SCC.	- El SCC alcanza una resistencia a la compresión de 34,72 MPa a los siete días de curado y logra una mejora de más del doble a los 56 días. El NAC muestra una resistencia a la flexión y a la compresión equivalente, mientras que la resistencia a la tracción no es comparable con la del SCC.	Resistencia a la compresión Resistencia a la Flexión Resistencia a la Tracción	E x p e r i m e n t a l	A más días de curado, la resistencia a la compresión del SCC mejor en más del doble	https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785322022994?via%3Dihub	https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.165	2022

Fuente: Elaboración propia

Título	Refer. (cita)	Resumen	Ideas Principales	Conclusiones	Link	DOI	Año
Optimum proportion of fly ash or slag for resisting concrete deterioration due to carbonation and chloride ingress	Rubaiya Rumman; Meraj Rubayat Kamal; Tanvir Manzur; Munaz Ahmed Noor. (2022). Optimum proportion of fly ash or slag for resisting concrete deterioration due to carbonation and chloride ingress. Structures. doi:https://doi.org/10.1016/j.i struc.2022.04.087	Los investigadores de este estudio se basan en los resultados obtenidos de las Pruebas Rápidas de Permeabilidad al Cloruro (RCPT) y las pruebas de carbonatación de 108 mezclas con diferentes relaciones de agua/cemento (0.4, 0.5 y 0.6), contenido de cemento, gradaciones de agregados (uno con mayor cantidad de finos que el otro), porcentajes de cenizas volantes (20% y 30%) y porcentajes de escoria (20%, 65% y 90%). Concluyen que, en general, se observa que la carbonatación en el hormigón disminuyó con el aumento de la cantidad de contenido de aglutinante y la disminución de la relación agua/aglutinante (w/b). Se encontró que el concreto con cenizas volantes, a un nivel de reemplazo del 20 %, era más sensible al contenido de aglutinante en términos de carbonatación. También se encontró que se puede usar un contenido de agua más bajo (no superior a la relación w/b de 0,40) y una cantidad más alta de aglutinante (no inferior a 425 kg/m3) con un nivel de reemplazo del 65 % de escoria o un nivel de reemplazo del 35 % de ceniza volante para producir concreto con relativamente menos carbonatación.	La carbonatación en el hormigón disminuyó con el aumento de la cantidad de contenido de aglutinante y la disminución de la relación agua/aglutinante.	Se encontró que se puede usar un contenido de agua más bajo (no superior a la relación w/b de 0,40) y una cantidad más alta de aglutinante (no inferior a 425 kg/m3) con un nivel de reemplazo del 65 % de escoria o un nivel de reemplazo del 35 % de ceniza volante para producir concreto con relativamente menos carbonatación.	https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352012422003484?via%3Dihub	https://doi.org/10.1016/j.i struc.2022.04.087	2022

Fuente: Elaboración propia

Título	Refer. (cita)	Resumen	Ideas Principales	Conclusiones	Link	DOI	Año
Evaluation of chlorides in fly ash for use in concrete	Brian H. Ortiz-Salcedo; Jerry M. Paris; Christopher C. Ferraro; Rafic Minkara; Kyle A. Riding. (2022). Evaluation of chlorides in fly ash for use in concrete. Cleaner Materials. doi: https://doi.org/10.1016/j.clema.2022.10098	El presente artículo investiga el uso de cenizas volantes con diferentes niveles de cloruros, usadas como material cementico suplementario en mezclas de concreto con cemento Portland. Se midieron tres concentraciones de cloruros en las cenizas volantes, aproximadamente 0.20%, 0.10% y 0.01%. A su vez se incorporaron dichas cenizas volantes al concreto en un 25% y 50%. Las muestras fueron curadas por 7 días en una cámara de niebla a 23°C al 100% de humedad relativa, seguidos de 21 días sumergidos en agua de cal en una cámara ambiental a 38°C. Esto se realizó para emular un concreto curado en condiciones ambientales durante 1 año. Se realizaron pruebas de resistividad superficial, resistencia a la penetración de iones de cloruro y corriente impresa para evaluar el rendimiento y la durabilidad. Se determinó el contenido de ácido y cloruro soluble en agua para dilucidar la capacidad de unión de las cenizas volantes en el concreto con diferentes contenidos de cloruro. La investigación indica claramente que la incorporación de cenizas volantes con niveles variables de cloruros no reduce la durabilidad, es más, supera el rendimiento en comparación con hormigón sin cenizas volantes. Además, aumentar el reemplazo de cenizas volantes del 25% al 50% resultó en hormigones exhibiendo mayores propiedades de durabilidad.	- Las muestras fueron curadas por 7 días en una cámara de niebla a 23°C al 100% de humedad relativa, seguidos de 21 días sumergidos en agua de cal en una cámara ambiental a 38°C. - La incorporación de cenizas volantes con niveles variables de cloruros no reducen la durabilidad	Aumentar el reemplazo de cenizas volantes del 25% al 50% resultó en hormigones exhibiendo mayores propiedades de durabilidad.	https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772397622000582?via%3Dihub	https://doi.org/10.1016/j.clema.2022.10098	2022

Fuente: Elaboración propia

Título	Refer. (cita)	Resumen	Ideas Principales	Conclusiones	Link	DOI	Año
Effects of Fly Ash Dosage on Shrinkage, Crack Resistance and Fractal Characteristics of Face Slab Concrete	Lei Wang; Zhiqiang Yu; Bo Liu; Feng Zhao; Shengwen Tang; Minmin Jin. (2022). Effects of Fly Ash Dosage on Shrinkage, Crack Resistance and Fractal Characteristics of Face Slab Concrete. Fractal and fractional. doi:https://doi.org/10.3390/fractalfract6060335	En el presente estudio se evalúan los efectos de 4 porcentajes de cenizas volantes en el concreto (10%, 20%, 30% y 40%) sobre la contracción por secado, contracción autógena y resistencia al agrietamiento en el concreto caravista. Se demuestra que la adición de cenizas volantes en porcentajes entre 10% y 40%, disminuyen la contracción por secado sólo en un 2.2% a 13.5% después de 14 días de hidratación, y bajo 180 días de hidratación sólo se reduce entre 5.1% a 23.2%. Por lo contrario, la adición de cenizas volantes, tanto a edades tempranas, medias y largas puede reducir marcadamente la contracción autógena. Por otro lado, aumentando el porcentaje de cenizas volantes entre 0% y 40% mejora la resistencia al agrietamiento del concreto a una contracción plástica. Finalmente, se indica que, la dosificación de cenizas volantes de alrededor del 30% es óptima para hormigones de losas cara vista en términos de reducción de la contracción y refinamiento de las estructuras porosas, sin comprometer mucho las propiedades mecánicas. Sin embargo, los hormigones de losa cara vista con una gran dosis de cenizas volantes deben curarse bien en condiciones restringidas y de evaporación a una edad de hidratación inicial.	- 4 porcentajes de cenizas volantes en el concreto (10%, 20%, 30% y 40%) - Se demuestra que la adición de cenizas volantes en porcentajes entre 10% y 40%, disminuyen la contracción por secado sólo en un 2.2% a 13.5% después de 14 días de hidratación, y bajo 180 días de hidratación sólo se reduce entre 5.1% a 23.2%.	Aumentando el porcentaje de cenizas volantes entre 0% y 40% mejora la resistencia al agrietamiento del concreto a una contracción plástica. La adición de cenizas volantes, tanto a edades tempranas, medias y largas puede reducir marcadamente la contracción autógena.	https://www.mdpi.com/2504-3110/6/6/335	https://doi.org/10.3390/fractalfract6060335	2022

Fuente: Elaboración propia

Título	Refer. (cita)	Resumen	Ideas Principales	Subtemas	Método	Conclusiones	Link	DOI	Año
Effect of Various Fly Ash and Ground Granulated Blast Furnace Slag Content on Concrete Properties: Experiments and Modelling.	Qu, Z., Liu, Z., Si, R., & Zhang, Y. (2022). Effect of Various Fly Ash and Ground Granulated Blast Furnace Slag Content on Concrete Properties: Experiments and Modelling. Publisher of Open Access Journals. doi:https://doi.org/10.3390/m15093016	Los presentes investigadores realizan muestras con cuatro diferentes niveles de reemplazo de cemento por ceniza volante y escoria de alto horno, siendo este 0%, 20%, 30%, y 40%. Para ellos se midieron la resistencia a la compresión, la resistencia a la tracción, la resistencia a la flexión y el módulo de elasticidad del hormigón a los 28 días. Como parte del estudio se concluye que la ceniza volante y la escoria de alto horno reducen las propiedades tempranas del hormigón, sin embargo, la resistencia a la compresión y a la tracción a los 28 días fue similar en las mezclas con cemento Portland puro y las mezclas considerando cenizas volantes. Por otro lado, tanto la ceniza volante como la escoria de alto horno, redujeron la resistencia a la flexión y el módulo de elasticidad. Un punto a resaltar es que indican que el modelo realizado con las normas existentes sobreestimó la edad temprana de la resistencia a la compresión y, por otro lado, subestimó la resistencia a la tracción por hendimiento del hormigón, lo que condujo a un poco fiable cálculo. Finalmente, nos indican que hace falta una base de datos más amplia para mejorar y establecer parámetros óptimos en las mezclas con ceniza volante y escoria de alto horno.	<ul style="list-style-type: none"> - Realizan muestras con cuatro diferentes niveles de reemplazo de cemento por ceniza volante y escoria de alto horno, siendo este 0%, 20%, 30%, y 40%. - El modelo realizado con las normas existentes sobreestimó la edad temprana de la resistencia a la compresión y, por otro lado, subestimó la resistencia a la tracción por hendimiento del hormigón, lo que condujo a un poco fiable cálculo 	Resistencia a la Compresión Resistencia a la Tracción Resistencia a la flexión	E x p e r i m e n t a l	Se concluye que la ceniza volante y la escoria de alto horno reducen las propiedades tempranas del hormigón, sin embargo, la resistencia a la compresión y a la tracción a los 28 días fue similar en las mezclas con cemento Portland puro y las mezclas considerando cenizas volantes. Por otro lado, tanto la ceniza volante como la escoria de alto horno, redujeron la resistencia a la flexión y el módulo de elasticidad.	https://www.mdpi.com/1996-1944/15/9/3016	https://doi.org/10.3390/m15093016	2022

Fuente: Elaboración propia

Título	Refer. (cita)	Resumen	Ideas Principales	Conclusiones	Link	DOI	Año
Compressive Strength Estimation and CO2 Reduction Design of Fly Ash Composite Concrete	Han, Y., Lin, R.-S., & Wang, X.-Y. (2022). Compressive Strength Estimation and CO2 Reduction Design of Fly Ash Composite Concrete. Publisher of Open Access Journals. doi:https://doi.org/10.3390/buildings12020139	Los autores realizan un estudio en el cual presentan un modelo de estimación de resistencia y un método de diseño de reducción de CO2 para el hormigón con ceniza volante. Proponen un modelo de resistencia basado en la hidratación (HBS) para la evaluación del desarrollo de la resistencia a diferentes edades del hormigón compuesto de cenizas volantes con diferentes proporciones de mezcla. Asimismo, evalúan las emisiones de CO2 para una fuerza de 1 MPa, resultando que, a medida que aumentaba la relación ceniza volante-aglutinante, disminuían las emisiones de CO2 para una fuerza de 1 MPa. Para hormigones con una baja relación agua-aglutinante (A/B), la adición de un alto contenido de cenizas volantes tuvo un efecto de dilución, lo que aumentó el grado de reacción del cemento y redujo las emisiones de CO2 para una fuerza de 1 MPa. Por otro lado, mayor edad de la mezcla podría reducir las emisiones de CO2 en 1 MPa. Los resultados del análisis muestran que, a medida que el contenido de agua aumentó de 160 a 170 kg/m3, para obtener la misma resistencia, la masa de cemento y la masa de cenizas volantes aumentaron, mientras que la relación agua/aglutinante y la relación ceniza volantes/aglutinante no cambiaron. Esto significa que la reducción del agua mezclada es una forma factible de reducir las emisiones de CO2. Concluyen que el método de análisis integrado resistencia-emisión propuesto es útil para diseñar hormigón compuesto de cenizas volantes sostenible con la resistencia deseada y bajos niveles de emisiones de CO2.	Evalúan las emisiones de CO2 para una fuerza de 1 MPa, resultando que, a medida que aumentaba la relación ceniza volante-aglutinante, disminuían las emisiones de CO2 para una fuerza de 1 MPa. Los resultados del análisis muestran que, a medida que el contenido de agua aumentó de 160 a 170 kg/m3, para obtener la misma resistencia, la masa de cemento y la masa de cenizas volantes aumentaron, mientras que la relación agua/aglutinante y la relación ceniza volante-aglutinante no cambiaron.	Concluyen que el método de análisis integrado resistencia-emisión propuesto es útil para diseñar hormigón compuesto de cenizas volantes sostenible con la resistencia deseada y bajos niveles de emisiones de CO2.	https://www.mdpi.com/2075-5309/12/2/139	https://doi.org/10.3390/buildings12020139	2022

Fuente: Elaboración propia

Título	Refer. (cita)	Resumen	Ideas Principales	Subtemas	Método	Conclusiones	Link	Año
Comparative study on strength and durability of concrete upon partial substitution of fly ash and bagasse ash in conventional concrete	Susmitha, P. J., & Rao, M. K. (2022). Comparative study on strength and durability of concrete upon partial substitution of fly ash and bagasse ash in conventional concrete. IOP SCIENCE. Obtenido de https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/982/1/012011	Los presentes investigadores indican que debido a la gran demanda del cemento se aumenta día a día las emisiones del dióxido de carbono (CO2), el cual representa el 65% del calentamiento global, siendo esta la razón de su estudio del hormigón con sustitución del cemento por cenizas volantes clase F y cenizas de bagazo quemadas a 1000°C. Para este estudio realizan mezclas de hormigón con ceniza volante y otras con ceniza de bagazo, en ambos casos, reemplazado de 0% a 40% a intervalos de 5% por peso de cemento en el concreto y curados por 28, 56 y 90 días. Así también, determinaron parámetros mecánicos como la resistencia a la compresión, la resistencia a la tracción, la resistencia a la flexión y aspectos de durabilidad como, la resistencia a la permeabilidad de cloruros, etc. Concluyen que las cenizas volantes se pueden reemplazar hasta en un 40 % y las cenizas de bagazo hasta en un 15 % en el concreto en términos de resistencia y durabilidad. El reemplazo de las cenizas volantes resultó en el logro de una resistencia máxima última de 74 MPa con un reemplazo del 30%, mientras que la incorporación de cenizas de bagazo resultó en el logro de una resistencia inicial máxima de 61,9 MPa con un reemplazo del 15%, indicando estos resultados que la mezcla óptima debería de incluir ambos tipos de ceniza, ya que la ceniza de bagazo ayudaría a que el concreto logre una resistencia mayor con más rapidez. Otro punto a resaltar de la investigación es que concluyen que, las cenizas volantes y las cenizas de bagazo actúan como micro rellenos los cuales llenan los vacíos entre las partículas de cemento y agregados, logrando como resultado un concreto denso que puede resistir a ambientes agresivos.	<ul style="list-style-type: none"> - Realizan mezclas de hormigón con ceniza volante y otras con ceniza de bagazo, en ambos casos, reemplazado de 0% a 40% a intervalos de 5% por peso de cemento en el concreto y curados por 28, 56 y 90 días. - La mezcla óptima debería de incluir ambos tipos de ceniza, ya que la ceniza de bagazo ayudaría a que el concreto logre una resistencia mayor con más rapidez 	Resistencia a la Compresión Resistencia a la tracción Resistencia a la Flexión Durabilidad	Experiencia	Concluyen que las cenizas volantes se pueden reemplazar hasta en un 40 % y las cenizas de bagazo hasta en un 15 % en el concreto en términos de resistencia y durabilidad. La mezcla óptima debería de incluir ambos tipos de ceniza, ya que la ceniza de bagazo ayudaría a que el concreto logre una resistencia mayor con más rapidez	https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/982/1/012011	2022

Fuente: Elaboración propia

Título	Refer. (cita)	Resumen	Ideas Principales	Subtemas	Método	Conclusiones	Link	DOI	Año
Evaluation of Strength Properties of the Concrete Prepared from Class F Fly Ash	Kanta Rao M.; Naga Satish Kumar. (2022). Evaluation of Strength Properties of the Concrete Prepared from Class F Fly Ash. IOP Publishing. doi:doi:10.1088/1755-1315/982/1/012012	En el presente artículo los investigadores utilizan muestras de concreto con reemplazo de cenizas volantes en porcentajes del 10%, 20%, 30%, 40%, 50% y 60% para estudiar el comportamiento de la resistencia a la compresión, resistencia a la tracción por división y resistencia a la flexión. En la parte experimental concluyen que la resistencia del concreto con cenizas volantes se mejora efectivamente con un reemplazo del 30% del cemento por cenizas volantes en la composición de 450 kg/m ³ de material cementoso y una relación a/c de 0,4. En esta investigación, el hormigón de cenizas volantes obtuvo una resistencia máxima a la compresión de 83,5 N/mm ² , una resistencia a la tracción por división de 4,9N/mm ² y una resistencia a la flexión de 6,6 N/mm ² en un período de curado de 180 días.	- Muestras de concreto con reemplazo de cenizas volantes en porcentajes del 10%, 20%, 30%, 40%, 50% y 60%	Resistencia a la Compresión Resistencia a la Tracción Resistencia a la Flexión	Experimentación	Se concluye que la resistencia del concreto con cenizas volantes se mejora efectivamente con un reemplazo del 30% del cemento por cenizas volantes en la composición de 450 kg/m ³ de material cementoso y una relación a/c de 0,4.	https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/982/1/012012	10.1088/1755-1315/982/1/012012	2022

Fuente: Elaboración propia

Título	Refer. (cita)	Resumen	Ideas Principales	Subtemas	Método	Conclusiones	Link	Año
Strength Studies On Partial Replacement on Cement with Fly Ash and recycled aggregates in Concrete	Srinivasu, D. K., Sree, J., Hymavathi, G., Sri, A. M., & Harsha, N. (2022). Strength studies on partial replacement on cement with fly ash and recycled aggregates in concrete. International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science. Obtenido de https://www.irjmets.com/uploadedfiles/paper/issue_6_june_2022/27345/final/final_in_irjmets1657012443.pdf	En el presente trabajo se discute el uso de agregados reciclados así como el impacto de las cenizas volantes en la resistencia del concreto. En la parte experimental, es reemplazado el cemento en porcentajes de 0%, 4%, 8%, 11% y 16% por cenizas volantes. La mezcla de concreto es un M40. Por otro lado, se determina la resistencia a la compresión y a la resistencia a la tracción dividida. En cuanto a la resistencia a la compresión a los 28 días el mejor resultado es arrojado por el reemplazo al 12% con 54.64 N/mm2. En cuanto a la resistencia a la tracción dividida el porcentaje óptimo es el 12% también a los 28 días, arrojando un resultado del 5.39 N/mm2. Se concluye que para ambos caso, a los 28 días, el porcentaje óptimo es el 12% de sustitución por cenizas volantes.	Es reemplazado el cemento en porcentajes de 0%, 4%, 8%, 11% y 16% por cenizas volantes. La mezcla de concreto es un M40	Resistencia a la Compresión Resistencia a la Tracción		En cuanto a la resistencia a la compresión a los 28 días el mejor resultado es arrojado por el reemplazo al 12% con 54.64 N/mm2. En cuanto a la resistencia a la tracción dividida el porcentaje óptimo es el 12% también a los 28 días, arrojando un resultado del 5.39 N/mm2. Se concluye que para ambos caso, a los 28 días, el porcentaje óptimo es el 12% de sustitución por cenizas volantes.	https://www.irjmets.com/uploadedfiles/paper/issue_6_june_2022/27345/final/final_in_irjmets1657012443.pdf	2022

Fuente: Elaboración propia

Título	Refer. (cita)	Resumen	Ideas Principales	Subtemas	Método	Conclusiones	Link	DOI	Año
An investigation into age-dependent strength, elastic modulus and deflection of low calcium fly ash concrete for sustainable construction	A. Fuzail Hashmi; M. Shariq; A. Baqi. (2021). An investigation into age-dependent strength, elastic modulus and deflection of low calcium fly ash concrete for sustainable construction. Construction and Building Materials. doi: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122772	En el presente estudio experimental se realizó el reemplazo parcial en el cemento con cenizas volantes clase F para determinar el comportamiento de este material en la mezcla de concreto, se estudió la resistencia a la compresión, módulo de elasticidad y el comportamiento a largo plazo de las cenizas volantes clase F estipuladas en la norma C618, se reemplazó entre el 25% y el 60% en peso equivalente al cemento usado en el diseño, las edades de saqueado fueron más de 28 días las cuales demostraron una gran eficacia en la resistencia dando como conclusión que la adición de cenizas volantes ayuda a las propiedades mecánicas a aumentar debido a su comportamiento puzolánico.	Cenizas volantes incrementan la resistencia a la compresión.	Resistencia a la compresión	Experimental	Las cenizas volantes incrementan la resistencia a la compresión.	https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061821005328?via%3Dihub	https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122772	2021

Fuente: Elaboración propia

Título	Refer. (cita)	Resumen	Ideas Principales	Subtemas	Método	Conclusiones	Link	DOI	Año
Effect of Curing Methods on Fly Ash based Concrete	BLN Srinath; Venkata Ramesh; Chandan Kumar Patnaikuni; V. Soujanya Vani; Potharaju M. (2021). Effect of Curing Methods on Fly Ash based Concrete. IOP Publishing. doi:doi:10.1088/1755-1315/822/1/012023	En la presente investigación se efectúan el reemplazo del cemento por cenizas volantes en un porcentaje entre 0% y 50% en mezclas de concreto, las cuales son sometidas a esfuerzos de compresión. Se han tomado en cuenta diferentes métodos de curado, como la completa inmersión de la muestra, curado de 3 días de inmersión, curado con arpilleras húmedas, curados compuestos, y curado al aire libre. Las muestras fueron sometidas a la compresión a los 3 días, 7 días y 28 días. Se concluye que para todas los tiempos de curado, el 20% de reemplazo por cenizas volantes es el óptimo. Asimismo, el curado por inmersión total resultó el más favorable en términos de resistencia a la compresión, seguida por el curado con arpilleras húmedas, el curado de 3 días de inmersión, el curado compuesto, y finalmente por el curado al aire libre.	- Se efectúa el reemplazo del cemento por cenizas volantes en un porcentaje entre 0% y 50%. - Las muestras fueron sometidas a la compresión a los 3 días, 7 días y 28 días.	Resistencia a la Compresión	E x p e r i m e n t a l	Se concluye que para todas los tiempos de curado, el 20% de reemplazo por cenizas volantes es el óptimo.	https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/822/1/012023/meta	doi:10.1088/1755-1315/822/1/012023	2023

Fuente: Elaboración propia

Título	Refer. (cita)	Resumen	Ideas Principales	Subtemas	Método	Conclusiones	Link	Año
Cenizas volantes de carbón para mejorar la resistencia a la compresión y permeabilidad del concreto	Vega Romero, B. A., & Pareja Marquina, Y. (2021). Cenizas volantes de carbón para mejorar la resistencia a la compresión y permeabilidad del concreto. Obtenido de https://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/4871	Los autores tienen como objetivo evaluar los aportes que el uso de cenizas volantes puede dar a la mezcla de concreto en cuanto a la resistencia a la compresión como a la permeabilidad. En el presente estudio no se realizan ensayos, sólo se toma como referencia material bibliográfica y documental. Se menciona que, debido a la gran variedad de tipos de agregados y cementos de diferentes procedencias los resultados fueron variables. Sin embargo, se logra concluir que los porcentajes más favorables de ceniza volante para mejorar la resistencia a la compresión están entre 2.5% a 17%, obteniendo resultados entre 2.3% y 28.8% superiores al concreto que no contiene cenizas volantes. Sin embargo, en la mayoría de casos se encuentra que el porcentaje óptimo de ceniza volante es el 5%. Asimismo, se indica que, en cuanto a la permeabilidad, esta disminuye proporcionalmente a la adición de ceniza volante. Para la resistencia a la flexión se recomienda el 5% de ceniza volante, ya que valores mayores a 10% o cercanos arrojan resultados desfavorables.	- Debido a la gran variedad de tipos de agregados y cementos de diferentes procedencias los resultados fueron variables. - En la mayoría de casos se encuentra que el porcentaje óptimo de ceniza volante es el 5%	Resistencia a la compresión Resistencia a la flexión Durabilidad	Bibliografía	Se logra concluir que los porcentajes más favorables de ceniza volante para mejorar la resistencia a la compresión están entre 2.5% a 17%, obteniendo resultados entre 2.3% y 28.8% superiores al concreto que no contiene cenizas volantes. En la mayoría de casos se encuentra que el porcentaje óptimo de ceniza volante es el 5%, tanto para compresión como para flexión.	https://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/4871	2021

Fuente: Elaboración propia

Título	Refer. (cita)	Resumen	Ideas Principales	Subtemas	Método	Conclusiones	Link	Año
Adición de cenizas volantes como sustitución del cemento en 5,10,15 por ciento en $F'c=280\text{KG/C}$ M2 para pavimentos rígidos Paucartambo Pasco 2021	Chuco Arroyo, R. M. (2021). Adición de cenizas volantes como sustitución del cemento en 5, 10,15 por ciento en $F'c=280\text{KG/CM}^2$ para pavimentos rígidos Paucartambo Pasco 2021. Obtenido de https://repositorio.uv.edu.pe/handle/20500.12692/78099	En la presente tesis se realizan cuatro tipo de muestras (96 unidades), considerando una muestra control con 0% de cenizas volantes, y mezclas con la adición de 5%, 10% y 15% de cenizas volantes, todo esto para un diseño de un concreto de resistencia $f'c=280\text{ kg/cm}^2$. Se obtienen muy buenos resultados, siendo el porcentaje de sustitución óptimo el de 10%, resultando una resistencia a la compresión de 385 kg/cm^2 y una resistencia a la flexión de 38.7 kg/cm^2 .	- Cuatro tipos de muestras (96 unidades), considerando una muestra control con 0% de cenizas volantes, y mezclas con la adición de 5%, 10% y 15% de cenizas volantes. - Diseño de un concreto de resistencia $f'c=280\text{ kg/cm}^2$	Resistencia a la Compresión Resistencia a la Flexión	Ex Se obtienen muy buenos resultados, siendo el porcentaje de sustitución óptimo el de 10%, resultando una resistencia a la compresión de 385 kg/cm^2 y una resistencia a la flexión de 38.7 kg/cm^2 .	https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/78099	2021	

Fuente: Elaboración propia

Título	Refer. (cita)	Resumen	Ideas Principales	Subtemas	Método	Conclusiones	Link	DOI	Año
Effect compressive strength and split tensile strength of concrete using aggregate from Tana Toraja district with fly ash substitution	Wong, I. L. K. (2021). Effect compressive strength and split tensile strength of concrete using aggregate from tana toraja district with fly ash substitution. IOP Conference Series. Earth and Environmental Science, 921(1) doi: https://doi.org/10.1088/1755-1315/921/1/012066	La presente investigación se sitúa en la regencia de Tana Toraja en Indonesia y tiene como principal objetivo determinar el efecto que el uso de ceniza volante en el concreto tiene en propiedades mecánicas como la resistencia a la compresión y tracción dividida. Para ello se realizaron pruebas a 72 muestras que constaban de 36 muestras de resistencia a la compresión y 36 muestras de resistencia a la tracción dividida. Los resultados mostraron que el uso de cenizas volantes como sustituto parcial del cemento reduciría la resistencia del concreto en comparación con el concreto sin el uso de cenizas volantes.	- Se realizaron pruebas a 72 muestras que constaban de 36 muestras de resistencia a la compresión y 36 muestras de resistencia a la tracción dividida	Resistencia a la Compresión Resistencia a la Tracción		Los resultados mostraron que el uso de cenizas volantes como sustituto parcial del cemento reduciría la resistencia del concreto en comparación con el concreto sin el uso de cenizas volantes.	https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/921/1/012066	https://doi.org/10.1088/1755-1315/921/1/012066	2021

Fuente: Elaboración propia

Título	Refer. (cita)	Resumen	Ideas Principales	Subtemas	Método	Conclusiones	Link	Año
Efectividad del uso de la ceniza de la Termopaipa como sustituto del cemento en la fabricación del concreto	Diaz Jimenez, P. A. (2020). Efectividad del uso de la ceniza de la Termopaipa como sustituto del cemento en la fabricación del concreto. Obtenido de https://repository.usta.edu.co/handle/11634/22345	El autor analiza la resistencia a la compresión en muestras con sustituciones de 10%, 20% y 30% de cemento por ceniza volante de la termoeléctrica de Paipa Boyacá - Colombia, en los diferentes tiempos de curado de 3, 7, 14 y 28 días. Asimismo, se realizan diferentes ensayos para determinar asentamiento, masa unitaria, contenido de aire, temperatura, trabajabilidad y los ensayos a la compresión antes mencionados. En cuanto a relaciones agua/cemento, se utilizan 0.75, 0.65, 0.55, 0.45 y 0.35, manteniendo el agua constante y variando sólo el cemento. Se concluye, que el uso de la ceniza de la termoeléctrica de Paipa Boyacá no es beneficioso para la resistencia a la compresión, para ninguno de los porcentajes de sustitución por el cemento mencionados. Así también, se indica que las mezclas con mayor sustitución de cemento por ceniza presentaban problemas de fraguado, baja de temperaturas del concreto y baja de masa unitaria. Un punto favorable es que el concreto con ceniza volante tiende a tener mayor trabajabilidad por lo que ayudaría en su colocación.	- El autor analiza la resistencia a la compresión en muestras con sustituciones de 10%, 20% y 30% de cemento por ceniza volante de la termoeléctrica de Paipa Boyacá - Colombia, en los diferentes tiempos de curado de 3, 7, 14 y 28 días. - Relaciones agua/cemento, se utilizan 0.75, 0.65, 0.55, 0.45 y 0.35	Resistencia a la compresión		Se concluye, que el uso de la ceniza de la termoeléctrica de Paipa Boyacá no es beneficioso para la resistencia a la compresión, para ninguno de los porcentajes de sustitución por el cemento mencionados.	https://repository.usta.edu.co/handle/11634/22345	2020

Fuente: Elaboración propia

Título	Refer. (cita)	Resumen	Ideas Principales	Subtemas	Método	Conclusiones	Link	Año
Influencia de la adición de la ceniza volante de carbón en las propiedades del concreto, en muros portuarios, Lima, sector Balneario de Ancón, 2018	Espada Mayta, M. F., & Morales Andrade, L. J. (2020). Influencia de la adición de la ceniza volante de carbón en las propiedades del concreto, en muros portuarios, Lima, sector Balneario de Ancón, 2018. Obtenido de https://hdl.handle.net/11537/23949	Los autores abordan el estudio de la influencia que la ceniza volante brinda al concreto de muros portuarios en la ciudad de Lima. Se centra principalmente en la resistencia a la compresión, permeabilidad y carbonatación. Se realizaron ensayos, los que permitieron encontrar la cantidad de ceniza volante óptima. Se concluyó que se logró incrementar la resistencia a la compresión en muros de concreto portuarios utilizando ceniza volante al 15% del cemento Portland Tipo I para todas las edades de curado. Asimismo, al 15% de uso de ceniza volante generó mayor prestación de servicio del concreto en cuanto a la permeabilidad y la carbonatación.	- Se centra en concreto de muros portuarios en la ciudad de Lima	Resistencia a la compresión y Durabilidad	Experimental	Se concluyó que se logró incrementar la resistencia a la compresión en muros de concreto portuarios utilizando ceniza volante al 15% del cemento Portland Tipo I para todas las edades de curado. Asimismo, al 15% de uso de ceniza volante generó mayor prestación de servicio del concreto en cuanto a la permeabilidad y la carbonatación.	https://hdl.handle.net/11537/23949	2020

Fuente: Elaboración propia

Título	Refer. (cita)	Resumen	Ideas Principales	Subtemas	Método	Conclusiones	Link	DOI	Año
Effects of the Loss on Ignition of Fly Ash on the Properties of High-Volume Fly Ash Concrete	How-Ji Chen; Neng-Hao Shih; Chung-Hao Wu; Shu-Ken Lin. (2019). Effects of the Loss on Ignition of Fly Ash on the Properties of High-Volume Fly Ash Concrete. MDPI. doi:doi:10.3390/su11092704	En esta investigación se han evaluado resultados experimentales de las propiedades del concreto fresco y endurecido contenido un alto volumen de incorporación de cenizas volantes. Para ello se utilizaron dos tipos de cenizas volantes bajas en calcio con pérdida por ignición (LOI) del 5% y 8% que reemplazaron al cemento y al agregado fino en porcentaje del 0% (muestra base), 20%, 40%, 50% y 80% del peso total de los materiales cementicios. Las pruebas en concreto fresco incluyeron al Slump, contenido de aire, peso unitario y tiempos de asentamiento. Por otro lado, en cuanto a concreto endurecido incluye al esfuerzo de compresión, módulo de elasticidad, esfuerzo de flexión y contracción por secado. Como resultado se obtuvo que el concreto con ceniza volante de alta pérdida por ignición, del 8%, sirvió convenientemente para el concreto estructural, siendo el reemplazo del 60%. Asimismo, el concreto con cenizas volantes de alta pérdida por ignición y alto nivel de reemplazo presentan mayores tiempos de asentamiento. Sin embargo, aunque tanto las propiedades frescas como las endurecidas de los hormigones de cenizas volantes de alto LOI fueron inferiores a las de los hormigones de cenizas volantes de LOI bajo (5%), el alto módulo de elasticidad, las características adecuadas de desarrollo de resistencia tanto a edades tempranas como posteriores (hasta 365 días) y la baja retracción en seco se observaron en comparación con los del hormigón de control con una resistencia a la compresión comparable a los 28 días de 30 MPa.	- Se evalúan las propiedades del concreto fresco y endurecido - Porcentajes de reemplazo: 20%, 40%, 50% y 80% -Pruebas en concreto fresco: slump, contenido de aire, peso unitario y tiempo de asentamiento -Pruebas en concreto endurecido: compresión, módulo de elasticidad, flexión y contracción por secado	Resistencia a la Compresión Resistencia a la Flexión	Experiencia	Se obtuvo que el concreto con ceniza volante de alta pérdida por ignición, del 8%, sirvió convenientemente para el concreto estructural, siendo el reemplazo del 60%	https://www.mdpi.com/2071-1050/11/9/2704	doi:10.3390/su11092704	2019

Fuente: Elaboración propia

Título	Refer. (cita)	Resumen	Ideas Principales	Subtemas	Método	Conclusiones	Link	Año
Experimental Investigation on Viable Limit of Fly Ash Utilization in Concrete	Khuito Murumi; Supratic Gupta. (2019). Experimental Investigation on Viable Limit of Fly Ash Utilization in Concrete. Jordan Journal of Civil Engineering. Obtenido de https://jjce.just.edu.jo/issues/paper.php?p=4646.pdf	En el presenta artículo se intenta dar claridad en cuanto al límite viable en el uso de las cenizas volantes como reemplazo del cemento en una mezcla de concreto. El estudio confirma que la aplicación del método de Factor Eficiente en los diseños de mezcla para la predicción de resistencia del concreto. Se utilizaron relaciones a/c entre 0.30 a 0.60 a los 28 días. Se concluye que el uso de grandes porcentajes de reemplazo de cenizas volantes es posible pero aceptando la disminución de la resistencia.	- Se utilizaron relaciones a/c entre 0.30 a 0.60 a los 28 días -El estudio confirma que la aplicación del método de Factor Eficiente en los diseños de mezcla para la predicción de resistencia del concreto	Resistencia a la Compresión	Experimental	Se concluye que el uso de grandes porcentajes de reemplazo de cenizas volantes es posible pero aceptando la disminución de la resistencia.	https://jjce.just.edu.jo/issues/paper.php?p=4646.pdf	2019

Fuente: Elaboración propia

Título	Refer. (cita)	Resumen	Ideas Principales	Subtemas	Método	Conclusiones	Link	DOI	Año
Properties of concrete containing fly ash and temperature control measures used during construction	Xinkai Yu; Jinyang Li. (2019). Properties of concrete containing fly ash and temperature control measures used during construction. IOP Publishing. doi:10.1088/1755-1315/304/5/052003	Este artículo presenta los resultados de un estudio sobre importantes propiedades térmicas y físicas fundamentales tanto del mortero con cenizas volantes como del concreto con cenizas volantes. Se llevaron a cabo diferentes porcentajes de reemplazo de cemento Portland por cenizas volantes que van desde 0 a 60% en masa. Se encontró que el aumento del contenido de cenizas volantes retrasa el tiempo de fraguado inicial y los tiempos de fraguado final, disminuye tanto la resistencia a la compresión como a la flexión y reduce el calor de hidratación. También puede reducir efectivamente la evolución del calor de hidratación del aglutinante de cenizas volantes de cemento. En las pruebas de concreto con cenizas volantes, también se midieron e informaron las propiedades térmicas, incluida la difusividad térmica, la conductividad, el calor específico, la deformación máxima por tracción y el módulo de elasticidad estática. También apareció la relación entre la resistencia a la compresión y la resistencia a la flexión que mostró un cambio lineal similar con la tasa de reemplazo de cenizas volantes aumentando del 30% al 60%.	- Se llevaron a cabo diferentes porcentajes de reemplazo de cemento Portland por cenizas volantes que van desde 0 a 60% en masa. - Apareció la relación entre la resistencia a la compresión y la resistencia a la flexión que mostró un cambio lineal similar con la tasa de reemplazo de cenizas volantes aumentando del 30% al 60%.	Resistencia a la Compresión Resistencia a la tracción Resistencia a la Flexión	Experiencia	Se encontró que el aumento del contenido de cenizas volantes retrasa el tiempo de fraguado inicial y los tiempos de fraguado final, disminuye tanto la resistencia a la compresión como a la flexión y reduce el calor de hidratación	https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/304/5/052003/meta	10.1088/1755-1315/304/5/052003	2019

Fuente: Elaboración propia

Título	Refer. (cita)	Resumen	Ideas Principales	Subtemas	Método	Conclusiones	Link	Año
Tecnologías de mejoramiento de la ceniza volante con altos contenidos de carbón y sus beneficios al utilizar ceniza mejorada como adición al cemento portland	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. Obtenido de https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/171796	El autor realiza una recopilación de antecedentes de las centrales termoeléctricas que utilizan el carbón en Chile, así como un estudio al respecto de las metodologías que existían a la fecha para la reducción del contenido de carbón en las cenizas, para de este modo mejorar la sustentabilidad de los hormigones. Se realizan pruebas y ensayos tomando en cuenta diferentes relaciones de cemento/ceniza volante, así como cenizas con diferentes contenidos de carbón residual (22%, 16%, 12% y 7%), todo esto con la finalidad de obtener el porcentaje óptimo de reemplazo de ceniza por el cemento y también el porcentaje de carbón residual más beneficioso, tomando en cuenta consideraciones técnicas y económicas. Esto se analizó a los 7, 28 y 56 días de curado. Se concluye que al extraer el carbón residual de la ceniza volante, se produce una menor retención del material en el tamiz 325, de 48.5% a 22.1%, esto a su vez implica una mayor resistencia a la compresión, durabilidad y consistencia; de esta manera se recomienda porcentajes de ceniza hasta en un 20%, los cuales a 90 días de curado alcanzarían mayores resistencias que un hormigón convencional con cemento Portland puro.	- Cenizas con diferentes contenidos de carbón residual (22%, 16%, 12% y 7%). - 7, 28 y 56 días de curado	Resistencia a la compresión y Durabilidad	Experimental	Se concluye que al extraer el carbón residual de la ceniza volante, se produce una menor retención del material en el tamiz 325, de 48.5% a 22.1%, esto a su vez implica una mayor resistencia a la compresión, durabilidad y consistencia; de esta manera se recomienda porcentajes de ceniza hasta en un 20%, los cuales a 90 días de curado alcanzarían mayores resistencias que un hormigón convencional con cemento Portland puro.	https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/171796	2019

Fuente: Elaboración propia

Título	Refer. (cita)	Resumen	Ideas Principales	Subtemas	Método	Conclusiones	Link	Año
The Effect of Fly Ash Chemical Composition on Compressive Strength of Fly Ash Portland Cement Concrete	Chelberg, M. (2019). The Effect of Fly Ash Chemical Composition on Compressive Strength of Fly Ash Portland Cement Concrete. Obtenido de https://etd.ohiolink.edu/apexprod/rws_olink/r/1501/10?clear=10&p10_accession_number=osu1555611247091087	El autor utiliza los resultados de 181 muestras de concreto que utilizaron el reemplazo parcial del cemento por ceniza volante como data para la creación de modelos de regresión lineal. Estos modelos fueron utilizados para predecir la resistencia a la compresión en función a la composición de la ceniza volante, para ello se vale de métodos estadísticos y experimentales. Este trabajo encontró que el modelo seleccionado de los antes mencionados, el cual mide la relación agua/cemento y el porcentaje de seis óxidos metálicos presentes en la ceniza volante (óxido de silicio SiO ₂ , óxido de aluminio Al ₂ O ₃ , óxido de hierro Fe ₂ O ₃ , óxido de calcio CaO, óxido de sodio Na ₂ O, y óxido de potasio K ₂ O), podía predecir mejor la resistencia a la compresión del concreto a los 28 días. Otra de sus conclusiones es que la norma americana ASTM al respecto de la caracterización de la ceniza volante, es insuficiente para explicar y predecir la resistencia a la compresión del concreto resultante y que se necesita una mejor delimitación de las características de la ceniza para poder predecir el comportamiento estructural del concreto.	- El autor utiliza los resultados de 181 muestras de concreto que utilizaron el reemplazo parcial del cemento por ceniza volante como data para la creación de modelos de regresión lineal. - Porcentaje de seis óxidos metálicos presentes en la ceniza volante	Resistencia a la compresión		La norma americana ASTM al respecto de la caracterización de la ceniza volante, es insuficiente para explicar y predecir la resistencia a la compresión del concreto resultante y que se necesita una mejor delimitación de las características de la ceniza para poder predecir el comportamiento estructural del concreto.	https://etd.ohiolink.edu/apexprod/rws_olink/r/1501/10?clear=10&p10_accession_number=osu1555611247091087	2019

Fuente: Elaboración propia

Título	Refer. (cita)	Resumen	Ideas Principales	Subtemas	Método	Conclusiones	Link	Año
Influencia de la ceniza volante en el incremento de la resistencia a la compresión y flexión para lasas de concreto de f'c=210 kg/cm2 utilizando agregado de la cantera Arunta - Tacna	Yapuchura Platero, R. J. (2019). Influencia de la ceniza volante en el incremento de la resistencia a la compresión y flexión para lasas de concreto de f'c=210 kg/cm2 utilizando agregado de la cantera Arunta - Tacna. Obtenido de https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/812	Yapuchura, como parte de su investigación sobre la resistencia a la compresión y flexión de losas de concreto, realiza ensayos a los agregados utilizados, los cuales son obtenidos de la cantera de Arunta - Tacna. Asimismo, realiza diseños para la resistencia a la compresión con porcentajes de 2.5%, 5%, 10% y 15% de ceniza volante y para roturas de probetas a los 7, 14, 28 y 90 días. En el caso de la flexión, se utilizaron los mismos porcentajes de ceniza volante que en compresión, pero la rotura de probetas se realizó únicamente a los 28 días. Se concluye que el porcentaje óptimo de ceniza volante en peso es de 5% para mejores resultados, tanto para la compresión como para la flexión.	- Los agregados utilizados, los cuales son obtenidos de la cantera de Arunta - Tacna - Porcentajes de 2.5%, 5%, 10% y 15% de ceniza volante y para roturas de probetas a los 7, 14, 28 y 90 días	Resistencia a la compresión Resistencia a la flexión	Experimental	Se concluye que el porcentaje óptimo de ceniza volante en peso es de 5% para mejores resultados, tanto para la compresión como para la flexión.	https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/812	2019

Fuente: Elaboración propia

Título	Refer. (cita)	Resumen	Ideas Principales	Subtemas	Método	Conclusiones	Link	DOI	Año
Effect of fly ash and silica fume on rheology, compressive strength and self-compacting in cement mixtures	Correa Yepes, J. A., Rojas Reyes, N., & Tobón, J. I. (2018). Effect of fly ash and silica fume on rheology, compressive strength and self-compacting in cement mixtures. DYNA. doi: https://doi.org/10.15446/dyna.v85n206.68960	Los autores evalúan la influencia de la adición de humo de sílice y ceniza volante al cemento Portland, de manera combinada o individual, y los efectos que producen en las características del hormigón. Se procedió a medir la resistencia a la compresión a los 7 y 28 días de curado. Concluyen que, al usar ceniza volante, por sus características, esta actúa como plastificante y debido a ello disminuye la resistencia a la compresión. Asimismo, indica que, al combinar la ceniza volante y el humo de sílice a la mezcla de concreto, interactúan entre ellas y combinan sus efectos beneficiosos, produciendo un bajo límite plástico, una alta resistencia a la compresión, una baja viscosidad y un mejor auto compactación.	- Se procedió a medir la resistencia a la compresión a los 7 y 28 días de curado.	Resistencia a la Compresión	Experimental	Concluyen que, al usar ceniza volante, por sus características, esta actúa como plastificante y debido a ello disminuye la resistencia a la compresión. Asimismo, indica que, al combinar la ceniza volante y el humo de sílice a la mezcla de concreto, interactúan entre ellas y combinan sus efectos beneficiosos, produciendo un bajo límite plástico, una alta resistencia a la compresión, una baja viscosidad y un mejor auto compactación.	http://mr.crosref.org/iPage?doi=10.15446/dyna.v85n206.68960	https://doi.org/10.15446/dyna.v85n206.68960	2018

Fuente: Elaboración propia

Título	Refer. (cita)	Resumen	Ideas Principales	Subtemas	Método	Conclusiones	Link	Año
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	Mariluz Pajuelo, M. V., & Ulloa Ponce, J. J. (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. Obtenido de http://repositorio.uns.edu.pe/handle/UNS/3288	Los autores realizan ensayos en muestras de concreto con adición de ceniza volante procedente de la central termoeléctrica Ilo21 – Moquegua en porcentajes de 5%, 10% y 20% en relación con el peso del cemento. Se evalúa los beneficios de la ceniza volante en la mezcla de concreto en cuanto a resistencia, absorción, manejabilidad y temperatura, concluyendo que en todos los casos se obtienen beneficios, resultando el 10% de ceniza volante el que mejores beneficios conlleva. En cuanto a mejoras en la trabajabilidad, resultó ser el porcentaje óptimo el 5% de ceniza volante.	- Ceniza volante procedente de la central termoeléctrica Ilo21 – Moquegua en porcentajes de 5%, 10% y 20% en relación con el peso del cemento	Resistencia a la compresión	Experimental	Concluyendo que en todos los casos se obtienen beneficios, resultando el 10% de ceniza volante el que mejores beneficios conlleva. En cuanto a mejoras en la trabajabilidad, resultó ser el porcentaje óptimo el 5% de ceniza volante.	http://repositorio.uns.edu.pe/handle/UNS/3288	2018

Fuente: Elaboración propia

Título	Refer. (cita)	Resumen	Ideas Principales	Subtemas	Método	Conclusiones	Link	DOI	Año
Utilización de la Ceniza Volante en la Dosificación del Concreto como sustituto del Cemento	Huaquisto Cáceres, S., & Belisario Quispe, G. (2018). Use of the flying ash in the dosing of the concrete as a substitute for the cement. Journal of High Andean Research. doi:http://dx.doi.org/10.18271/ria.2018.366	El objetivo del presente estudio fue la dosificación de mezclas de concreto adicionando ceniza volante de tal manera que no disminuya la resistencia y ayude a mitigar el medio ambiente. El material y método empleado es el concreto normal con adiciones de ceniza volante en proporciones de 2.5%, 5.0%, 10.0% y 15.0% para roturas a los 7, 14, 28 y 90 días. Los resultados indican que a los 28 días se tienen resistencias en promedio de 221kg/cm2 para concreto normal, para concreto con 2.5% de ceniza volante 223kg/cm2, para el 5.0% 231kg/cm2, para el 10.0% 200 kg/cm2 y 192kg/cm2 para el 15% de ceniza volante respectivamente. En conclusión la ceniza volante se debe utilizar en un rango menor al 10%, más allá de este valor disminuye la resistencia del concreto, por lo que puede resultar perjudicial a la hora de realizar los controles de calidad.	- El material y método empleado es el concreto normal con adiciones de ceniza volante en proporciones de 2.5%, 5.0%, 10.0% y 15.0% para roturas a los 7, 14, 28 y 90 días.	Resistencia a la Compresión		En conclusión la ceniza volante se debe utilizar como sustitución al cemento en un rango menor al 10%, más allá de este valor disminuye la resistencia del concreto, por lo que puede resultar perjudicial a la hora de realizar los controles de calidad.	https://huajsa.pata.unap.edu.pe/index.php/ria/article/view/48	http://dx.doi.org/10.18271/ria.2018.366	2018

Fuente: Elaboración propia

Título	Refer. (cita)	Resumen	Ideas Principales	Subtemas	Método	Conclusiones	Link	Año
Effects of Multiple Supplementary Cementitious Materials on Workability and Strength of Lightweight Aggregate Concrete	Imrose, B. M., Sheikh, S. A., Md. Ferdous, Z., & Md. Shajib, U. (2018). Effects of Multiple Supplementary Cementitious Materials on Workability and Strength of Lightweight Aggregate Concrete. Jordan Journal of Civil Engineering. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/322592562_Effects_of_Multiple_Supplementary_Cementitious_Materials_on_Workability_and_Strength_of_Lightweight_Aggregate_Concrete	En el presente artículo los investigadores evalúan muestras de concreto adicionando materiales cementicios suplementarios como las cenizas volantes (FA), humo de sílice (SF), escoria de alto horno (BFS) y cenizas de cáscara de arroz (RHA). A la vez utilizan agregado liviano, con el fin de aminorar el peso de las estructuras. En cuanto a las cenizas volantes, los porcentajes de adición son de 0%, 5%, 15%, 25% y 35%. Asimismo, se realizan muestras con mezclas combinadas usando dos o más de los materiales cementicios suplementarios mencionados. Se concluye que las mezclas con cenizas volantes con 15% de reemplazo por el cemento obtienen los mejores resultados, siendo este de 30.9 MPa a los 7 días, 44 MPa a los 14 días y 54.4 MPa a los 28 días. Sin embargo, los mejores resultados se obtuvieron para la mezclas que incluían humo de sílice, escoria de alto horno y cenizas volantes, siendo estas de 57 MPa a los 28 días	- Utilizan agregado liviano, con el fin de aminorar el peso de las estructuras. - En cuanto a las cenizas volantes, los porcentajes de adición son de 0%, 5%, 15%, 25% y 35%.	Resistencia a la Compresión	Experimental	Se concluye que las mezclas con cenizas volantes con 15% de reemplazo por el cemento obtienen los mejores resultados, siendo este de 30.9 MPa a los 7 días, 44 MPa a los 14 días y 54.4 MPa a los 28 días.	https://www.researchgate.net/publication/322592562_Effects_of_Multiple_Supplementary_Cementitious_Materials_on_Workability_and_Strength_of_Lightweight_Aggregate_Concrete	2018

Fuente: Elaboración propia

Título	Refer. (cita)	Resumen	Ideas Principales	Subtemas	Método	Conclusiones	Link	Año
Influencia de la ceniza volante "fly ash" como sustituto parcial del cemento portland IP en las propiedades del concreto f ^c = 210 Kg/cm ²	Pérez Atoche, J. M. (2018). Influencia de la ceniza volante "fly ash" como sustituto parcial del cemento portland IP en las propiedades del concreto f ^c = 210 Kg/cm ² . Obtenido de http://hdl.handle.net/20.500.12840/1294	El investigador en la presente tesis realiza pruebas de trabajabilidad (Slump) y ensayos de compresión a una muestra de concreto patrón (sin adición de ceniza volante) y a muestras de concreto con porcentajes de ceniza volante en sustitución del cemento de 5%, 10%, 15%, 20% y 25%. Los diseños se realizaron para obtener un concreto de resistencia f ^c =210 kg/cm ² y fueron ensayados a la compresión a una edad de 7, 14 y 28 días. Utilizaron cemento Portland tipo IP para los diseños y el curado se realizó a temperatura ambiente. Finalmente, lograron obtener una muestra de concreto con ceniza volante de resistencia mayor a un concreto sin ceniza volante a la edad de 28 días, este concreto tenía porcentajes de 5% y 10%, resultando el que mayor porcentaje de incremento presentaba el de 5%.	- Ceniza volante en sustitución del cemento de 5%, 10%, 15%, 20% y 25% - Los diseños se realizaron para obtener un concreto de resistencia f ^c =210 kg/cm ² y fueron ensayados a la compresión a una edad de 7, 14 y 28 días.	Resistencia a la Compresión Durabilidad	E	Lograron obtener una muestra de concreto con ceniza volante de resistencia mayor a un concreto sin ceniza volante a la edad de 28 días, este concreto tenía porcentajes de 5% y 10%, resultando el que mayor porcentaje de incremento presentaba el de 5%.	http://hdl.handle.net/20.500.12840/1294	2018

Fuente: Elaboración propia

Título	Refer. (cita)	Resumen	Ideas Principales	Subtemas	Método	Conclusiones	Link	DOI	Año
Use of carbonate rock mining by-products in the cement and concrete industry to assess its application in the Department of Huila: A review	Fabara Hernández, K. V., Flórez Arias, C. A., Callejas Reyes, H. J., & Cajas Daza, P. C. (2017). Use of carbonate rock mining by-products in the cement and concrete industry to assess its application in the Department of Huila: A review. Informador Técnico. doi: https://doi.org/10.23850/22565035.880	Los autores indican que han realizado estudios sobre mezclas que sustituyen parte del cemento Portland por puzolanas, entre ellas las cenizas volantes, lo cual, dependiendo de la cantidad de reemplazo y la calidad de dichas cenizas, pueden generar beneficios o perjuicios a la resistencia de la mezcla de concreto. Las ventajas que el uso de cenizas volantes acarrearía son: ahorros en agua, resistencia ante el ataque de medios agresivos, menor porosidad, entre otros beneficios.	- Las ventajas que el uso de cenizas volantes acarrearía son: ahorros en agua, resistencia ante el ataque de medios agresivos, menor porosidad, entre otros beneficios.	Durabilidad		Dependiendo de la cantidad de reemplazo por ceniza volantes y la calidad de dichas cenizas, pueden generar beneficios o perjuicios a la resistencia de la mezcla de concreto.	https://revista.s.sena.edu.co/index.php/inf_tec/article/view/880	https://doi.org/10.23850/22565035.880	2017

Fuente: Elaboración propia

Título	Refer. (cita)	Resumen	Ideas Principales	Subtemas	Método	Conclusiones	Link	Año
Análisis de la resistencia a la compresión de mezclas de concreto con adición de ceniza volante de Termopaipa	Agudelo Moreno, A. A., & Espinosa Torres, B. G. (2017). Análisis de la resistencia a la compresión de mezclas de concreto con adición de ceniza volante de Termopaipa. Obtenido de http://hdl.handle.net/10983/14479	Los autores realizan cuarenta testigos de concreto, diez de ellos con muestras de concreto convencional (cemento, agua, grava y arena), y los treinta restantes con porcentajes de ceniza volante procedente de la termoeléctrica de Paipa Boyacá – Colombia, divididas en 10%, 20%, 25% y de 30%, estos a su vez sometidos a la compresión a los 7 días, 28 días, 56 días y 72 días. Se obtiene de esta investigación que el concreto con ceniza volante a los días de curado aumenta su resistencia a la compresión mas no brinda los mismos resultados que la mezcla de concreto convencional. A su vez se encuentra que al utilizar la ceniza volante en los porcentajes más altos de los mencionados desfavorece la trabajabilidad del mismo, generando una mezcla seca, lo que lo convierte en un material menos manejable. Como conclusión llegan a que el utilizar la ceniza volante de dicha termoeléctrica no crea beneficios a la resistencia a la compresión, sin embargo, los porcentajes entre los 2% y 10% son los que más se acercan a la muestra base convencional, ya que obtienen valores más cercanos a ella.	- 10 testigos con concreto convencional y 30 testigos con porcentajes de ceniza volante procedente de la termoeléctrica de Paipa Boyacá – Colombia, divididas en 10%, 20%, 25% y de 30%. - Sometidos a la compresión a los 7 días, 28 días, 56 días y 72 días.	Resistencia a la Compresión	Experiencia	Como conclusión llegan a que el utilizar la ceniza volante de dicha termoeléctrica no crea beneficios a la resistencia a la compresión, sin embargo, los porcentajes entre los 2% y 10% son los que más se acercan a la muestra base convencional, ya que obtienen valores más cercanos a ella.	http://hdl.handle.net/10983/14479	2017

Fuente: Elaboración propia

Título	Refer. (cita)	Resumen	Ideas Principales	Subtemas	Método	Conclusiones	Link	Año
Characterization of Indian and Canadian Fly Ash for Use in Concrete	Abualrous, Y. (2017). Characterization of Indian and Canadian Fly Ash for Use in Concrete. Obtenido de https://tspace.library.utoronto.ca/handle/1807/77666	El autor caracteriza las propiedades químicas, físicas y morfológicas de las cenizas volantes de siete estaciones de carbón en India y dos estaciones de carbón en Canadá, con el objetivo de determinar los diferentes resultados que se pueden obtener en una mezcla de concreto, en cuanto a sus propiedades y durabilidad, para las diferentes características de las partículas de las cenizas volantes utilizadas en la mezcla. Así también busca determinar ciertos límites en cuanto a las características de dichas cenizas para que resulten beneficiosas a la mezcla de concreto y puedan ser utilizadas como reemplazo del cemento. Para la distribución del tamaño de las partículas se utilizó un Analizador de Difracción de Laser (Laser Diffraction Analyzer), siendo esta una técnica de medición de tamaño de partícula ampliamente utilizada para materiales que van desde cientos de nanómetros hasta varios milímetros en tamaño. Concluyen que los concretos que contienen cenizas volantes que cumplen con los requisitos químicos de las Normas Americana (ASTM), Canadiense (CSA) e India (IS) continúan aumentando su resistencia a la compresión, módulo de elasticidad y resistencia a la penetración de iones de cloruro más allá de los 28 hasta 90 días. Otro beneficio del uso de cenizas volantes para todas las edades fue la reducción de contracción por secado. Un punto importante a resaltar de los resultados de la tesis en mención, es la reducción de hasta el 35% del volumen del agregado fino al usar la ceniza volante como puzolana y agregado fino, resultando un beneficio al conservar valiosos recursos naturales de los cuales procede el agregado fino convencional	- Busca determinar ciertos límites en cuanto a las características de dichas cenizas para que resulten beneficiosas a la mezcla de concreto y puedan ser utilizadas como reemplazo del cemento - Reducción de hasta el 35% del volumen del agregado fino al usar la ceniza volante como puzolana y agregado fino	Resistencia a la Compresión Durabilidad	Experimento	Concluyen que los concretos que contienen cenizas volantes que cumplen con los requisitos químicos de las Normas Americana (ASTM), Canadiense (CSA) e India (IS) continúan aumentando su resistencia a la compresión, módulo de elasticidad y resistencia a la penetración de iones de cloruro más allá de los 28 hasta 90 días	https://tspace.library.utoronto.ca/handle/1807/77666	2017

Fuente: Elaboración propia

Título	Refer. (cita)	Resumen	Ideas Principales	Subtemas	Método	Conclusiones	Link	Año
Análisis de la resistencia a la compresión y permeabilidad en el concreto adicionando dosificaciones de cenizas volantes de carbón en la mezcla	Contreras Cueva, K. N., & Peña Villalobos, J. S. (2017). Análisis de la resistencia a la compresión y permeabilidad en el concreto adicionando dosificaciones de cenizas volantes de carbón en la mezcla. Obtenido de https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/10778	Los autores realizan mezclas de concreto con porcentajes de ceniza volante de 1.5%, 3%, 4.5% y 6% respecto a peso del cemento en la mezcla y con una relación de agua/cemento de 0.55. Como parte del estudio se obtienen resistencias a la compresión que van en aumento desde la mezcla convencional sin ceniza con 218 kg/cm ² a la mezcla considerando 6% de ceniza volante 241 kg/cm ² , en todos los casos a los 28 días, concluyéndose que, hasta el porcentaje estudiado, el uso de ceniza volante es beneficioso para la resistencia a la compresión. Por otro lado, en cuanto a la permeabilidad, para el concreto convencional sin ceniza se tiene una penetración de agua de 137 mm en promedio, para el concreto con 1.5% de ceniza una penetración de agua de 123.5 mm, para el de 3% de ceniza 101 mm, para el de 4.5% de ceniza 68mm, y finalmente para la muestra con 6% de ceniza sólo 52.5 mm de penetración de agua, concluyéndose que hasta el porcentaje de ceniza adicionado se observa una disminución de la permeabilidad, siendo beneficioso para la mezcla.	- Porcentajes de ceniza volante de 1.5%, 3%, 4.5% y 6% respecto a peso del cemento. - Relación de agua/cemento de 0.55	Resistencia a la compresión Durabilidad	E	Se concluye que hasta el 6%, el uso de ceniza volante es beneficioso para la resistencia a la compresión así también, se observa una disminución de la permeabilidad, siendo beneficioso para la mezcla.	https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/10778	2017

Fuente: Elaboración propia

Anexo 4 – Subtemas – Justificación – Objetivos Específicos

Subtemas (Indicadores)	Definición / Justificación del subtema/ delimitación temporal (si aplica)	Objetivo
Porcentaje de ceniza volante	Porcentaje en peso del cemento reemplazado con ceniza de bagazo de caña de azúcar.	
Resistencia a la compresión	Vega y Pareja (2021) definen a la resistencia a la compresión como la máxima medida de una probeta de concreto a carga axial. La NTP 339.034 (2008) es la norma usada en el Perú, la cual indica que las probetas cilíndricas serán puestas a prueba en una máquina de ensayo calibrada y equipada, la cual permitirá dar a conocer la máxima resistencia a compresión, generalmente se expresa en kg/cm ² a una edad de curado de 28 días	Determinar el óptimo porcentaje de ceniza volante para incrementar la resistencia a la compresión del hormigón estructural.
Resistencia a la Tracción	Sánchez de Guzmán (2001) menciona que la resistencia a la tracción es difícil de calcular de forma directa debido a la dificultad de colocación de muestras en máquinas de ensayo. Harmsen (2002) afirma que la resistencia a la tracción del hormigón se encuentra aproximadamente entre un 8% a 15% de la resistencia a compresión. La norma que delimita el procedimiento de ensayo es la NTP 339.084 (2017).	Determinar el óptimo porcentaje de ceniza volante para incrementar la resistencia a la tracción del hormigón estructural.
Resistencia a la Flexión	Según Sánchez de Guzmán (2001) otra de las características mecánicas del concreto en estado endurecido es la resistencia a la flexión, la cual se determina ensayando vigas de sección cuadrada elaboradas de acuerdo a la NTP 339.078 (2012).	Determinar el óptimo porcentaje de ceniza volante para incrementar la resistencia a flexión del hormigón estructural.
Tamaño máximo del agregado	Definido como al tamaño del tamiz que deja pasar al 100% de los agregados NTP 400.037.	Determinar el óptimo tamaño máximo del agregado grueso para incrementar la resistencia a la compresión del hormigón estructural.
Relación agua/cemento	Es el importe de agua, únicamente absorbida por los agregados a la dosis de cemento en mezclas de concreto, que es establecida por prioridad como una fracción por peso.	Determinar la relación agua/cemento con adición de ceniza volante para incrementar la durabilidad del hormigón estructural.
Durabilidad	Mariluz y Ulloa (2018) mencionan que la durabilidad del concreto es la capacidad de resistir acciones provenientes de atacantes externos e internos, conservando sus propiedades físicas y químicas.	

Fuente: Elaboración propia