

**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN PARA MEJORAR LA  
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y PERMEABILIDAD DEL  
CONCRETO**

**TESIS**  
**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE**  
**INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. VEGA ROMERO BRUNO ANGELO**

**Bach. PAREJA MARQUINA YEREMI**

**ASESOR: Mg. Ing. CHAVARRÍA REYES, LILIANA JANET**

**LIMA – PERÚ**

**2021**

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a mis padres que me apoyaron en todo momento a pesar de las adversidades de la vida y no dejaron que me rinda jamás, gracias a mi padre por darme la mejor herencia la perseverancia y la humildad.

Yeremi Pareja Marquina

La presente investigación va dedicada para mis padre, Michael y Bertha, por su apoyo incondicional para poder lograr mis objetivos, a mis hermanos Daniel y Rodrigo por su gran apoyo y a mis seres queridos que me dan su aliento en todo momento.

Bruno Vega Romero

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, a Dios por la salud y la bendición de poder cumplir nuestros sueños de ser ingenieros civiles, a nuestra asesora Mg. Ing. Liliana Chavarría Reyes por la constante orientación y recomendaciones hacia nuestro trabajo y así poder encaminarnos para lograr satisfactoriamente esta meta y a nuestro metodólogo el Dr. Ing. Carlo Magno Chavarry Vallejos, por su orientación para poder hacer una correcta estructura de nuestra tesis.

Bruno Vega y Yeremi Pareja

## ÍNDICE GENERAL

<b>RESUMEN .....</b>	<b>xi</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xii</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>3</b>
1.1. Descripción de la realidad problemática .....	3
1.2. Formulación del problema.....	3
1.2.1. Problema general .....	3
1.2.2. Problemas específicos.....	3
1.3. Objetivos de la investigación .....	4
1.3.1. Objetivo general .....	4
1.3.2. Objetivos específicos.....	4
1.4. Delimitación de la investigación .....	4
1.4.1. Geográfica: .....	4
1.4.2. Temporal: .....	4
1.4.3. Temática: .....	4
1.4.4. Muestral:.....	4
1.5. Justificación del estudio .....	5
1.5.1. Conveniencia .....	5
1.5.2. Relevancia social .....	5
1.5.3. Aplicaciones practicas .....	5
1.5.4. Utilidad metodológica .....	5
1.5.5. Valor teórico .....	5
1.6. Importancia del estudio .....	6
1.6.1. Nuevos conocimientos.....	6
1.6.2. Aporte .....	6
1.7. Limitaciones del estudio.....	6
1.7.1. Falta de estudios previos de investigación .....	6
1.7.2. Metodológicos o prácticos.....	6
1.7.3. Medidas de recolección de datos .....	6
1.7.4. Obstáculos en la investigación .....	7
1.8. Alcance.....	7
1.9. Viabilidad del estudio.....	7

1.9.1. El tiempo .....	7
1.9.2. Espacio .....	7
1.9.3. Las condiciones económicas .....	7
1.9.4. Las fuentes de información.....	7
1.9.5. Recolección de datos .....	7
<b>CAPITULO II: MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>8</b>
2.1. Marco Histórico.....	8
2.2. Investigaciones relacionadas con el tema.....	9
2.2.1. Investigaciones internacionales .....	9
2.2.2. Investigaciones nacionales .....	11
2.2.3. Artículos relacionados al tema .....	15
2.3. Estructura teórica y científica que sustenta el estudio.....	17
2.3.1. Carbón .....	17
2.3.2. Propiedades de ceniza volante de carbón .....	18
2.3.3. Tipos de ceniza volante de Carbón.....	19
2.3.4. Concreto .....	20
2.3.5. ACI (American Concrete Institute) .....	22
2.3.6. Norma Técnica Peruana (NTP) .....	22
2.3.7. Norma E-060 .....	22
2.3.8. Tamaño máximo nominal .....	22
2.3.9. ASTM (American Society for Testing and Materials).....	22
2.3.10. Métodos experimentales .....	22
2.4. Definición de términos básicos .....	28
2.5. Fundamentos teóricos que sustentan las hipótesis .....	29
<b>CAPITULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS .....</b>	<b>30</b>
3.1. Hipótesis.....	30
3.1.1. Hipótesis general .....	30
3.1.2. Hipótesis específicas.....	30
3.2. Variables.....	30
3.2.1. Variables dependientes .....	30
3.2.2. Variables independientes.....	30
3.3. Sistema de variables .....	30
3.3.1. Definición conceptual.....	30
3.3.2. Definición operacional .....	31

3.3.3. Operacionalización de variables.....	32
<b>CAPITULO IV: TIPOLOGÍA .....</b>	<b>33</b>
4.1. Método de la investigación.....	33
4.2. Tipo de la investigación .....	33
4.3. Nivel de investigación .....	33
4.4. Diseño de investigación.....	34
4.5. Población y muestra .....	34
4.5.1. Población .....	34
4.5.2. Muestra .....	34
4.6. Técnicas e instrumentación de recolección de datos.....	35
4.6.1. Instrumento de recolección de datos .....	35
4.6.2. Métodos y técnicas .....	35
4.7. Descripción de procesamientos de análisis .....	35
<b>CAPITULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA</b>	
<b>INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>36</b>
5.1 Resultados de la investigación .....	36
5.2 Análisis e interpretación de los resultados .....	62
5.3 Contrastación de hipótesis.....	71
5.3.1 Al determinar el óptimo porcentaje de ceniza volante como sustituto del cemento se mejora la resistencia a la compresión del concreto.....	71
5.3.2 Al determinar el óptimo porcentaje de ceniza volante como sustituto del cemento se reducirá la permeabilidad del concreto.....	73
5.3.3 Al determinar el óptimo porcentaje de ceniza volante como sustituto del cemento se mejorará la trabajabilidad del concreto.....	75
5.3.4 Al determinar el óptimo porcentaje de ceniza volante como sustituto del cemento se mejora la resistencia a la flexión del concreto.....	76
<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>78</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>79</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>80</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>81</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>89</b>
Anexo 1: Matriz de consistencia.....	92

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación del Carbón .....	18
Tabla 2: Operacionalización de variables .....	32
Tabla 3: Ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días de curado para mezclas de concreto con sustitución porcentual de ceniza volante de 0%, 2.5%, 5%, 10% y 15% .....	37
Tabla 4: Ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días de curado para mezclas de concreto con sustitución porcentual de ceniza volante de 0%, 5%, 15%, 25% y 35% .....	38
Tabla 5: Ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días de curado para mezclas de concreto con sustitución porcentual de ceniza volante de 0%, 2.5%, 5%, 10% y 15% .....	40
Tabla 6 : Ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días de curado para mezclas de concreto con sustitución porcentual de ceniza volante de 0%, 7%, 12%, 17% y 22% .....	41
Tabla 7: Ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días de curado para mezclas de concreto con sustitución porcentual de ceniza volante de 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% y 30% .....	42
Tabla 8: Ensayo de Permeabilidad a los cloruros a los 28 días de curado con un porcentaje de sustitución de volante de 0%, 35% y 50% .....	44
Tabla 9: Ensayo de Permeabilidad a los cloruros a los 28 días de curado con un porcentaje de sustitución de ceniza volante de 0%, 10%, 20%, 30% y 40% .....	45
Tabla 10: Ensayo de Permeabilidad a los cloruros a los 28 días de curado con un porcentaje de sustitución de ceniza volante de 0%, 30%, 50%, 65% y 75% .....	46
Tabla 11: Ensayo de Permeabilidad a los cloruros a los 28 días de curado con un porcentaje de sustitución de ceniza volante de 0%, 50% y 65% .....	47
Tabla 12: Ensayo de Permeabilidad a los cloruros a los 28 días de curado con un porcentaje de sustitución de ceniza volante de 0%, 10%, 20% y 30% .....	48
Tabla 13: Asentamiento de mezclas para porcentajes de sustitución de 0%, 20%, 40% y 60%, para relaciones a/c de 0.6 y 0.7 .....	50

Tabla 14: Asentamiento de la mezcla de concreto con porcentajes de sustitución de cemento por cenizas volantes de 0%, 40%, 55% y 70% según ASTM C143/143M.....	51
Tabla 15 : Resultados de asentamiento para diferentes sustituciones de ceniza volante en la mezcla. ....	52
Tabla 16: Resultados del asentamiento de la mezcla de mortero con una sustitución de cemento por ceniza volante de 0%, 7%, 12%, 17% y 22%.....	53
Tabla 17: Resultados del asentamiento de la mezcla de mortero con una sustitución de cemento por ceniza volante de 0%, 10%, 20% y 40%. ....	55
Tabla 18: Resultados del asentamiento de la mezcla de mortero con una sustitución de cemento por ceniza volante de 0%, 10%, 20%, 30% y 40%.....	56
Tabla 19: Resultados del ensayo resistencia a la flexión a 28 días con una sustitución de cemento por ceniza volante de 0%, 15%, 25%, 35% y 50%.....	58
Tabla 20: Resultados del ensayo resistencia a la flexión a 28 días con una sustitución de cemento por ceniza volante de 0%, 2.5%, 5%, 10% y 15%.....	59
Tabla 21: Resultados del ensayo resistencia a la flexión a 28 días con una sustitución de cemento por ceniza volante de 0%, 20%, 40% y 60%. ....	60
Tabla 22: Resultados del ensayo resistencia a la flexión a 28 días con una sustitución de cemento por ceniza volante de 0%, 5%, 10% y 15%. ....	61



## ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1: Requerimiento de granulometría para agregado fino .....	21
Figura 2: Requisitos granulométricos del agregado grueso.....	21
Figura 3: Tipo de falla especímenes de concreto.....	24
Figura 4 : Ensayo de cono de abrams. ....	25
Figura 5 : Esquema del ensayo de absorción capilar. ....	26
Figura 6: Esquema de medida de la sortividad.....	26
Figura 7 :Ensayo Carga en los puntos tercios.....	27
Figura 8: Ensayo Carga en el punto medio.....	27
Figura 9: Mapa conceptual de relación de variables dependientes, independientes e indicadores. ....	29
Figura 10: Resistencia a la comprensión a 28 días vs Porcentaje de sustitución.....	37
Figura 11: Resistencia a la Compresión a 28 días vs Porcentaje de sustitución.....	39
Figura 12: Resistencia a la comprensión a 28 días vs Porcentaje de sustitución.....	40
Figura 13 : Resistencia a la comprensión a 28 días vs Porcentaje de sustitución.....	41
Figura 14: Resistencia a la comprensión a 28 días vs Porcentaje de sustitución.....	43
Figura 15: Permeabilidad al cloruro vs Porcentaje de ceniza volante. ....	44
Figura 16: Medida de Coulomb vs Porcentaje de sustitución. ....	45
Figura 17: Medida de Coulomb vs Porcentaje de sustitución. ....	46
Figura 18: Medida de Coulomb vs Porcentaje de sustitución. ....	47
Figura 19: Medida de Coulumb vs Porcentaje de sustitución. ....	49
Figura 20: Asentamiento de mezclas para porcentajes de sustitución de 0%, 20%, 40% y 60%, para relaciones a/c de 0.6 y 0.7. ....	50
Figura 21: Asentamiento de la mezcla de concreto con porcentajes de sustitución de cemento por cenizas volantes de 0%, 40%, 55% y 70% según ASTM C143/143M.....	51
Figura 22: Resultados del asentamiento de la mezcla de mortero con una sustitución de cemento por ceniza volante de 0%, 10%, 20%, 30% y 40%. ....	52
Figura 23: Resultados del asentamiento de la mezcla de mortero con una sustitución de cemento por ceniza volante de 0%, 7%, 12%, 17% y 22%.....	54

Figura 24: Resultados del asentamiento de la mezcla de mortero con una sustitución de cemento por ceniza volante de 0%, 10%, 20% y 40%, para relaciones a/c de 0.42, 0.5 y 0.55.....	55
Figura 25: Resultados del asentamiento de la mezcla de mortero con una sustitución de cemento por ceniza volante de 0%, 10%, 20%, 30% y 40%.....	57
Figura 26: Resultados del ensayo resistencia a la flexión a 28 días con una sustitución de cemento por ceniza volante de 0%, 15%, 25%, 35% y 50%.....	58
Figura 27: Resultados del ensayo resistencia a la flexión a 28 días con una sustitución de cemento por ceniza volante de 0%, 2.5%, 5%, 10% y 15%.....	59
Figura 28: Resultados del ensayo resistencia a la flexión a 28 días con una sustitución de cemento por ceniza volante de 0%, 20%, 40% y 60%. ....	60
Figura 29: Resultados del ensayo resistencia a la flexión a 28 días con una sustitución de cemento por ceniza volante de 0%, 5%, 10% y 15%. ....	61
Figura 30 : Resultado de la resistencia a la compresión del concreto con óptimos porcentajes de ceniza volante en reemplazo del cemento vs Autores. ....	71
Figura 31: Resultado de la permeabilidad rápida al cloruro del concreto con óptimos porcentajes de ceniza volante en reemplazo del cemento vs Autores.....	73
Figura 32: Resultado de asentamiento del concreto fresco con óptimos porcentajes de ceniza volante en reemplazo del cemento vs Autores. ....	75
Figura 33: Resultado de la resistencia a la flexión del concreto fresco con óptimos porcentajes de ceniza volante en reemplazo del cemento vs Autores. ....	76

## RESUMEN

La presente investigación nos ayuda a evaluar el comportamiento de ciertas adiciones de cenizas volantes de carbón en el diseño de mezcla de concreto. Y así evaluarla en los ensayos de resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, permeabilidad, y la prueba a la trabajabilidad.

Los resultados mostraron una mejora en las propiedades físico – mecánicas del concreto, la resistencia a la compresión axial mostro una mejora con la sustitución de ceniza volante por el cemento, donde el porcentaje óptimo para evidenciar esta mejora de propiedad se da cuando la sustitución esta entre 2.5% a 15%. La permeabilidad se ve favorecida, en este caso todas las sustituciones se reducen, donde se puede decir que tiene una mayor resistencia a los agentes externos. La trabajabilidad mejora, ya que con la sustitución porcentual donde nos indican que, a mayor porcentaje de reemplazo, mayor es la trabajabilidad de la mezcla. Sobre la resistencia a la flexión en las investigaciones estudiadas se llega que, el porcentaje óptimo para evidenciar esta mejora de propiedad se da cuando la sustitución esta entre 2.5% a 10%.

Finalmente, la ceniza como sustituto del concreto genera mejoría en las propiedades físico- mecánicas del concreto, para el proceso de vertido, también a elaborar elementos más resistentes a los agentes externo de la biodiversidad de climas en el Perú, también nos ayuda a mejorar considerablemente la resistencia a la compresión para poder obtener un nuevo insumo al concreto.

**Palabras Claves:** Ceniza volante, propiedades físico – mecánicas, trabajabilidad del concreto, permeabilidad del concreto, resistencia a la compresión del concreto, resistencia a la flexión del concreto.

## ABSTRACT

The present investigation helps us to evaluate the behavior of certain coal fly ash additions in concrete mix design. And thus evaluate it in the tests of resistance to compression, resistance to bending, permeability, and the test of workability.

The results showed an improvement in the physical-mechanical properties of the concrete, the resistance to axial compression showed an improvement with the substitution of fly ash by cement, where the optimum percentage to show this improvement in property is given when the substitution is between 2.5% to 15%. The permeability is favored, in this case all the substitutions are reduced, where it can be said that it has a greater resistance to external agents. The workability improves, since with the percentage substitution where they indicate that, the higher the replacement percentage, the greater the workability of the mixture. Regarding the resistance to bending, in the studies studied, it is reached that the optimal percentage to show this improvement in property occurs when the substitution is between 2.5% and 10%.

Finally, ash as a substitute for concrete generates improvement in the physical-mechanical properties of concrete, for the pouring process, also to elaborate elements more resistant to external agents of the climate biodiversity in Peru, it also helps us to improve considerably resistance to understanding to obtain a new input to concrete.

**Key Words:** Fly ash, physical-mechanical properties, concrete workability, concrete permeability, concrete compressive strength, concrete flexural strength.

## INTRODUCCIÓN

Esta investigación está enfocada a una alternativa de sustitución de ceniza volante por el cemento para mejorar las propiedades físico- mecánicas del concreto tradicional.

El concreto es un material de construcción constituido básicamente por una mezcla de cemento, agregado grueso, agregado fino que, con adición del agua, reacciona y adquiere resistencia. En nuestro país el concreto es el material más empleado en la industria de la construcción, para darle figura y forma a estructuras.

Las cenizas volantes se clasifican como un residuo ecológicamente problemático que debe eliminar la central termoeléctrica, evitando para permanezcan en los depósitos donde son amontonados y ubicados al aire libre. Esta práctica se convierte en un peligro ambiental, ya que su contacto con el aire, agua y suelo genera grandes problemas ambientales.

Las propiedades físico – mecánicas del concreto son indispensables para lograr un concreto funcional y de calidad en obras civiles, lo cual este estudio consta en obtener construcciones más resistentes y con una durabilidad a agentes externos.

El principal objetivo de la investigación es analizar la ceniza volante de carbón como sustituto porcentual de cemento para incrementar la resistencia a la compresión y reducir la permeabilidad del concreto. Planteándose los cuatro objetivos específicos:

- Determinar el porcentaje de ceniza volante como sustituto del cemento para mejorar la resistencia a la compresión del concreto.
- Determinar el porcentaje de ceniza volante como sustituto del cemento para reducir la permeabilidad del concreto.
- Determinar el porcentaje de ceniza volante como sustituto del cemento para mejorar la trabajabilidad del concreto.
- Determinar el porcentaje de ceniza volante como sustituto del cemento para mejorar la resistencia a la flexión del concreto.

La investigación trata de seis capítulos, los cuales serán explicados líneas abajo:

- Capítulo I, presenta el problema de la investigación, objetivos, la justificación, limitaciones y la viabilidad de la investigación.
- Capítulo II, describe el marco teórico el cual está basado en variada información bibliográfica recopilada y estudiada con un fin de procesar los resultados de ensayos realizados por diferentes autores.

- Capítulo III, consta del planteamiento de las hipótesis y la operacionalización de variables.
- Capítulo IV, describe la metodología empleada durante el desarrollo de la tesis, precisa el tipo, nivel, diseño y método de investigación, también la población y muestra, las técnicas de recolección y el procesamiento del análisis de datos.
- Capítulo V, consta de la presentación de resultados y el análisis y la contratación de las hipótesis.
- Finalmente se presenta la discusión de los resultados, conclusiones y recomendaciones logradas en este trabajo.

# CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

## 1.1. Descripción de la realidad problemática

Según Yapuchura (2019), La ceniza volante, llamado solo ceniza por la empresa termoeléctrica ilo 21, es el residuo de la combustión del carbón para generar electricidad, dicha empresa quema cuando está en operación alrededor de 1000tn/día para producir 135 MWh de energía y de acuerdo al tipo de carbón emite cenizas en porcentajes que van entre el 6% y 13% del total de quema de carbón del día, produciendo entre 60tn y 130tn por día de ceniza, que de no ser solicitadas para el mercado interno se procede a su almacenamiento compactado con agua de mar y mantenimiento diario de humedecerlo.

La ceniza volante es un subproducto de la quema del carbón y se almacena en botaderos de las industrias por lo que no hay aprovechamiento del material, siendo un factor contaminante para el medio ambiente en zonas aledañas a la producción de este material. Por lo tanto, se necesita desarrollar nuevos métodos de reciclaje, para el aprovechamiento de esta, y así mitigar el daño medioambiental que ocasiona, así como también problemas legales y buscar beneficios económicos al utilizar una tecnología innovadora en otros productos

La ceniza volante producido en las centrales termoeléctricas no es muy utilizada en nuestro país debido a la falta de estudios e investigaciones experimentales acerca del aporte que podrían brindar al concreto, así como también un análisis de resultados con respecto a su viabilidad técnica en el concreto y posterior aplicación.

## 1.2. Formulación del problema

### 1.2.1. Problema general

¿De qué manera la ceniza volante de carbón como sustituto porcentual de cemento influye en la resistencia a la compresión y permeabilidad del concreto?

### 1.2.2. Problemas específicos

- a) ¿De qué manera el porcentaje de ceniza volante como sustituto del cemento influye en la resistencia a la compresión del concreto?
- b) ¿De qué manera el porcentaje de ceniza volante como sustituto del cemento influye en la permeabilidad del concreto?

- c) ¿De qué manera el porcentaje de ceniza volante como sustituto del cemento mejora la trabajabilidad del concreto?
- d) ¿De qué manera el porcentaje de ceniza volante como sustituto del cemento influye en la resistencia a la flexión del concreto?

### 1.3. Objetivos de la investigación

#### 1.3.1. Objetivo general

Analizar la ceniza volante de carbón como sustituto porcentual de cemento para incrementar la resistencia a la compresión y reducir la permeabilidad del concreto.

#### 1.3.2. Objetivos específicos

- a) Determinar el óptimo porcentaje de ceniza volante como sustituto del cemento para mejorar la resistencia a la compresión del concreto.
- b) Determinar el óptimo porcentaje de ceniza volante como sustituto del cemento para reducir la permeabilidad del concreto.
- c) Determinar el óptimo porcentaje de ceniza volante como sustituto del cemento para mejorar la trabajabilidad del concreto.
- d) Determinar el óptimo porcentaje de ceniza volante como sustituto del cemento para mejorar la resistencia a la flexión del concreto.

### 1.4. Delimitación de la investigación

#### 1.4.1. Geográfica:

La presente investigación se realizará en zonas cuya temperatura media anual oscila entre los 5°C y 21°C.

#### 1.4.2. Temporal:

Se realizará durante los meses de mayo y noviembre del 2021.

#### 1.4.3. Temática:

Campo: Adiciones del cemento

Área Académica: Concreto

Línea de investigación: Tecnología del concreto

Sub-Línea de investigación: Diseño de mezclas de concreto.

#### 1.4.4. Muestral:

Nuestra unidad de investigación será la recolección de resultados de ensayos con ceniza volante de carbón como sustituto del cemento en la mezcla, en laboratorios.



## 1.5. Justificación del estudio

### 1.5.1. Conveniencia

El concreto es uno de los materiales más utilizados en la construcción civil, su dosificación requiere el uso de agregados y aditivos de diferente naturaleza, de modo que el concreto que se obtenga tenga mejores propiedades, de esto nace la necesidad de optar por aditivos no convencionales que beneficien a lo anterior mencionado, aquí nace la posibilidad de utilizar la ceniza volante como un aditivo en la mezcla de concreto para darle una mejor resistencia a la compresión, reduzca la permeabilidad, mejore la trabajabilidad y mejore la resistencia a la flexión del concreto.

### 1.5.2. Relevancia social

Esta investigación estará direccionada para todo el sector que conlleve la construcción de múltiples estructuras de concreto, sustituyendo pequeños porcentajes de cemento por cenizas volantes de carbón, optimizando los costos del concreto, también ayudara a reducir la contaminación ambiental ya que la ceniza volante es un producto ecológicamente problemático.

### 1.5.3. Aplicaciones practicas

La correcta sustitución porcentual del cemento por la ceniza volante de carbón en la dosificación del concreto mejora la resistencia a la compresión disminuye la permeabilidad de este, mejora la trabajabilidad y mejora la resistencia a la flexión lo que generaría una mejora en la estructura en la que se utilizó este concreto. Siendo también otro punto a favor el factor económico, porque al sustituir porcentualmente el cemento con la ceniza volante de carbón en la mezcla, esta se vería reducida en su costo y generaría un ahorro en la obra.

### 1.5.4. Utilidad metodológica

Esta investigación tiene como instrumento de estudio, búsquedas en plataformas virtuales, recolección de datos de antiguas investigaciones metodológicas, búsquedas en bibliotecas virtuales y solicitando información a las concreteras reconocidas del Perú.

### 1.5.5. Valor teórico

Mediante la investigación se respetará los procesos establecidos para poder determinar un diseño optimo con respecto al cemento, agua, agregados,

granulometría de los agregados, este diseño tendrá la sustitución porcentual de la ceniza volante por el cemento para poder llegar a los resultados esperados.

## 1.6. Importancia del estudio

### 1.6.1. Nuevos conocimientos

Analizaremos el comportamiento y resultados de la resistencia a la compresión y permeabilidad del concreto en ello veríamos hasta que porcentaje se podría reemplazar la ceniza volante con el cemento para no perder en ningún momento sus propiedades que lo caracterizan.

### 1.6.2. Aporte

Esta investigación nos permite poder reemplazar porcentualmente las cenizas volantes de carbón por el cemento, así obteniendo óptimos resultados en la resistencia a la compresión y permeabilidad del concreto, es más si nos ponemos a analizar en esta época donde la situación del estado de emergencia nos conlleva al alza de insumos de construcción, esta misma nos ayudaría a poder bajar un poco el precio de concreto y por un tema ecológico reciclar la ceniza volante del carbón.

## 1.7. Limitaciones del estudio

### 1.7.1. Falta de estudios previos de investigación

La ceniza volante no es muy utilizada en nuestro país debido a la falta de difusión acerca de los beneficios que podría generar el concreto, por lo cual no se tiene mucha información local acerca de esta, debido a esto se ha tomado también en referencia tesis internacionales, siendo estas estudiadas en condiciones meteorológicas parecidas a la planteada por nosotros.

### 1.7.2. Metodológicos o prácticos

Los métodos utilizados en las investigaciones encontradas fueron parecidos, debido a las diferentes normas que se utiliza según el lugar estudiado, hay factores que no son iguales y esto hace que exista una pequeña variación en los resultados entre una y otra.

### 1.7.3. Medidas de recolección de datos

Las investigaciones revisadas, consideran diferentes factores, como resistencias requeridas, tiempo de rotura de probetas, diferentes porcentajes de ceniza volante de carbón en la mezcla, diferente dosificación, diferente clima. Por lo expuesto anteriormente las comparaciones para llegar a

conclusiones deben tener información necesaria que haga obtener un porcentaje óptimo y que permita visualizar la mejora de las propiedades físicas del concreto.

#### 1.7.4. Obstáculos en la investigación

No se pudieron efectuar ensayos propios, para así poder trabajar con datos más exactos y basándonos en nuestro propio estudio debido a la emergencia sanitaria que estamos pasando en la actualidad.

#### 1.8. Alcance

En esta investigación se busca realizar el estudio de resistencia a la compresión y permeabilidad en mezclas de concreto, utilizando ceniza volante de carbón como sustituto porcentual del cemento en la mezcla.

#### 1.9. Viabilidad del estudio

##### 1.9.1. El tiempo

El tiempo de estudio de la investigación es de 6 meses.

##### 1.9.2. Espacio

La investigación la estoy haciendo en Lima, con buena cobertura de internet y un buen equipo que hacen que pueda efectuar la tesis con todas las herramientas.

##### 1.9.3. Las condiciones económicas

Los costos de la tesis son mínimos, porque debido a la emergencia sanitaria en la que se encuentra el país, los laboratorios están inoperativos y no será necesario su uso.

##### 1.9.4. Las fuentes de información

Se encontraron tesis, artículos y revistas que serán utilizadas como fuentes para la investigación.

##### 1.9.5. Recolección de datos

Mediante la plataforma virtual que ofrece la Universidad. También especificaciones técnicas de proveedores, investigaciones pasadas en donde se desarrollaron ensayos en laboratorios de concreto.

## CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Marco Histórico

Lamine et al. (2019), sostienen que El inicio del uso del término "cenizas volantes" comenzó en 1930, pero fue solo en 1937 cuando Carlson lo implementó para ser utilizado en hormigón en Norteamérica. La presa Hungry Horse fue la primera estructura que utilizó cenizas volantes durante su construcción en 1948. Con el aumento del costo de la energía que ocurrió entre la Segunda Guerra Mundial y 1970, el interés por las cenizas volantes creció y se hizo evidente. Pocos años después, en 1980, la producción de cenizas en todo el mundo superó los doscientos en los años setenta, en los que el catorce por ciento se utilizó en hormigón. En 1989 la producción se elevó a 561 toneladas métricas con un 16% utilizado en la industria del hormigón. En comparación con el informe anterior de 1977, la utilización de cenizas volantes en el hormigón se multiplicó por tres durante los años siguientes. El concreto es uno de los insumos más empleados en el sector construcción donde no solo es en el Perú, sino en todas las partes del mundo, para la construcción de todo tipo de obras civiles. Su dosificación requiere de estudios según el requerimiento, puede ser por temas de diversidad de climas y buena calidad. Es por ello que surge la posibilidad de la utilización de la ceniza volante de carbón como sustituto porcentual del cemento para darle una mayor resistencia a la compresión y una disminución en la permeabilidad, así como también enfocándonos al tema ambiental no solo ayudaría en mejorar propiedades mecánicas, sino que su utilización en la sustitución porcentual al cemento en la mezcla del concreto resulta ser idónea de tal forma reduciría impacto ambiental en zonas de exposición.

En la Industria de la construcción en el Perú, el concreto es el recurso más utilizado, porque se puede ejecutar en una gran variedad de formas. Es por ello que al paso del tiempo la industria busca la innovación en materiales, en el que obtiene unos mejores resultados tanto en sus propiedades físicas, como en su factibilidad económica y al medio ambiente.

Dentro de las problemáticas en las mezclas de concreto es una selección inadecuada de materiales unida a prácticas de construcción deficientes da como resultado un concreto muy poroso y permeable, el cual permite la entrada de agentes agresivos

presentes en el medio ambiente donde las estructuras se encuentran expuestas y causan su deterioro.

Rodríguez (1988), sostiene que, en nuestro país, la aplicación de la ceniza volante no es muy utilizada, debido a la falta de información de los beneficios que nos aportaría el dicho material, en países con tecnología más avanzada se viene utilizando como un subproducto para la elaboración de cementos y concretos adicionados.

Neville (1988), sostiene en su tesis que la ceniza volante es uno de los tipos de adiciones activas empleadas en la fabricación de cementos y hormigones, conocida también como ceniza de combustible pulverizado es la ceniza precipitada electrostáticamente de los humos escapados de las estaciones de fuerza motriz que funciona a base de carbón, y es la puzolana artificial más común, en sus componentes prevalecen elementos minerales.

Al añadir proporciones de cenizas volantes al cemento dentro de la mezcla de concreto se disminuye el costo y se mejora algunas de sus propiedades como su trabajabilidad, durabilidad, densidad, impermeabilidad y resistencia al ataque químico sobre todo los sulfatos, así como también optimiza las propiedades mecánicas del concreto tales como compresión, tracción y flexión.

En nuestro país, la aplicación de la ceniza volante de carbón no es muy utilizada, debida a la falta de información de sus beneficios que podría generar al concreto. Es por ello por lo que mediante este trabajo tiene como objetivo principal analizar e identificar el porcentaje óptimo de la ceniza volante de carbón como sustituto del cemento para incrementar las propiedades mecánicas y reducir la permeabilidad del concreto.

## 2.2. Investigaciones relacionadas con el tema

### 2.2.1. Investigaciones internacionales

Robayo (2013), en su tesis sostiene que basado en la sustitución de cemento hidráulico convencional, por cenizas volantes activadas alcalinamente, en la producción de mortero, donde se permite obtener un producto que cumple con los requerimientos físicos y mecánicos especificados en las normas NTC. Se trabajarán mezclas con cenizas volantes activadas alcalinamente, provenientes de los procesos energéticos de la empresa textilera Fabricato,

estas serán activadas alcalinamente con Hidróxido de Sodio (NaOH) y Silicato de Sodio (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) en diferentes proporciones. De este modo, mediante la evaluación del desempeño mecánico y de la durabilidad de las diferentes mezclas de mortero con ceniza volante activada alcalinamente, se pretende dar un paso hacia la implementación de materiales ecológicos de bajo impacto.

Meneses y Díaz (2019), en su tesis sostienen que a partir de los resultados obtenidos en el desarrollo de los ensayos de laboratorio, se evidencia que no son los esperados con relación a la teoría, puesto que el empleo de la ceniza volante en la fabricación de mortero genera una disminución en cuanto a la resistencia mecánica, el módulo de elasticidad y porcentaje de poros y vacíos; pero genera un aumento en la permeabilidad a cloruros, debido a que este mineral favorece el transporte de soluciones a través del hormigón. La ceniza volante implementada en esta investigación no era completamente pura, puesto que poseía alto contenido de inquemados haciendo que disminuya las propiedades físicas y mecánicas del mortero. La ceniza volante en altas cantidades no es un material adecuado para ser implementado en el sector de la construcción, ya que disminuye las propiedades mecánicas del mortero haciendo que la penetración del ion cloruro aumente con relación al porcentaje adicionado del mineral.

Yáñez (2019), sostiene en su tesis que se puede apreciar un cambio en la curvas de resistencia v/s edad, la cual se observa por medio de la obtención de mayores crecimientos a edades más tardías (56 y potencialmente 90 días) en los morteros con adición de ceniza, generando que hasta en algunos casos donde inicialmente los morteros que poseen menores resistencias a 7 y 28 días superen la resistencia de las muestras sin adición de ceniza a 56 y potencialmente 90 días, como es el caso para las probetas con adiciones de 10% y 20% de ceniza. Dado estos resultados, es altamente recomendable utilizar adiciones de ceniza de hasta un 20%, la cuales a 90 días podrán alcanzar resistencias superiores a un mortero con cemento portland puro, además de obtener otros beneficios como mejoras considerables en su durabilidad, permeabilidad, entre otros. Además de la reducción en la huella de carbono que significara el uso de las cenizas.

Torres (2018), sostiene en su tesis que elaborando un diseño de concreto combinando cenizas volantes no conformes y áridos reciclados mixtos sería una alternativa viable debido a que mejora las propiedades físico-mecánicas y de durabilidad de los morteros. Su incorporación en la dosificación permitiría reducir ligeramente la cantidad de cemento empleada y fabricar un mortero más amigable con el medio ambiente. El efecto combinado de arena reciclada mixta de RCD con alto contenido en partículas cerámicas, como es la procedente de los derribos de obras de mampostería y las cenizas volantes no conformes de centrales termoeléctricas de carbón es también una alternativa viable ya que se consiguen unas propiedades físico-mecánicas y de durabilidad aceptables en los morteros de albañilería. Como punto débil está el tiempo de trabajabilidad, que aumenta considerablemente, aunque este aspecto puede corregirse con el uso de aditivos.

#### 2.2.2. Investigaciones nacionales

Yapuchura (2019), propuso en su tesis el diseño de mezclas mediante el método del comité 2011 de ACI para una resistencia a compresión de 210 kg/cm<sup>2</sup> utilizando cemento Yura IP y agregados de la cantera Arunta – Tacna, para elaborar especímenes de concreto sometidos a ensayos de compresión y flexión, con este resultado se pudo utilizar los reemplazos de 0%, 2.5%, 5%, 10% y 15% con los cuales se obtuvo el porcentaje que da mejores resultados. Los mejores resultados a compresión del concreto se encontraron en los porcentajes de 2.5% a 10% siendo el 5% el porcentaje de reemplazo más adecuado, La resistencia a compresión con 0% de reemplazo de ceniza volante con el cemento es de 221.7kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días y para un 5% de reemplazo de ceniza volante con el cemento es de 249.2 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días, esto se refleja en un incremento de 12.4% del valor de su resistencia a compresión lo cual indica un cambio importante favorable para el diseño de mezclas y su uso en losas de concreto. Los mejores resultados para la resistencia a flexión se encontraron en los porcentajes de 2.5% a 10% siendo el 5% el más adecuado para su uso.

Balcázar y Castillo (2014), sostienen en su tesis que las cenizas volantes son un buen sustituto parcial del cemento para obtener valores de resistencia a

la compresión iniciales elevados, hasta un 10% de reemplazo; mientras que a 20% y 30% de reemplazo son buenos, pero a mayores tiempos de curado, al superar los 40 Mpa de diseño base. Los resultados después de la ruptura muestran un desmoronamiento mayor al aumentar el porcentaje de reemplazo, por lo tanto, la ceniza volante usada para este estudio reduce significativamente la adherencia del concreto autocompactante. A medida que se pretenda sustituir una mayor cantidad de cemento por ceniza, se debe agregar más cantidad de agua para saturar a la ceniza volante debido a su capacidad de absorción de agua, y así obtener una adecuada trabajabilidad. El porcentaje de sustitución de cenizas volantes que genero especímenes que compitieron con el patrón a lo largo de los ensayos de resistencia a la compresión, fue el de 10%, el cual supero al patrón a 4 y 28 días de curado, en un 12% y 3% respectivamente, sin embargo, a 90 días de curado la muestra testigo supero a la muestra de 10% de reemplazo de ceniza volante en un 11%.

Sánchez (2018), sostiene en su tesis que la dosificación con la que se obtuvo mayores resistencias a la compresión en un concreto de alta resistencia con  $f^c$  de diseño igual a 500 Kg/cm<sup>2</sup> es del 12% de ceniza volante FLY ASH TIPO F por peso de cemento. Esta dosificación es con la que se obtiene mejores resistencias para este tipo de concreto. La influencia que presenta el adicionar ceniza volante FLY ASH TIPO F del 12.00 % en peso del cemento al concreto de alta resistencia es de manera directa, alcanzando valores de aumento de la resistencia a la compresión de hasta 8.34% a edad de 7 días, 12.20% a edad de 14 días y 18.04% a edad de 28 días, confirmado de esta manera con la hipótesis planteada para la investigación. El concreto de alta resistencia cuyo  $f^c$  de diseño es igual a 500 kg/cm<sup>2</sup> con 12% de ceniza FLY ASH TIPO F en peso del cemento aumenta su módulo de Elasticidad en 8.6%, esto es producto a que el concreto endurecido presenta mayor resistencia a la compresión con respecto a un sin adición alguna. El Concreto de alta resistencia con 12% de ceniza FLY ASH TIPO F en peso del cemento a la edad de 7 días aumenta su resistencia a tracción en 4.92 Kg/cm<sup>2</sup>, en comparación con un concreto normal sin adición de ceniza volante. La porosidad en el concreto con dosificación del 12% de ceniza



volante FLY ASH TIPO F en peso del cemento y con un curado de 7 días disminuye en 1.53 %. La absorción en el concreto con dosificación del 12% de ceniza volante FLY ASH TIPO F en peso del cemento y un curado de 7 días disminuye en 0.86 %.

Contreras y Peña (2017), sostienen en su tesis que se aumentó la resistencia a la compresión y disminuyó la permeabilidad en el concreto patrón añadiendo dosificaciones del 1.5%, 3%, 4.5% y 6% de ceniza volante de carbón. Por lo tanto, a mayor capacidad de soporte de carga, mayor prestación del concreto para requerimientos de resistencia a la compresión; por otro lado, a menor penetración de agua en el concreto, mayor prestación de concretos de baja permeabilidad. Al analizar la adición de cenizas volantes de carbón en la mezcla se observó el aumento que se genera en la resistencia a la compresión en función a las dosificaciones y al tiempo de curado. Al analizar la adición de cenizas volantes de carbón en la mezcla se observó la disminución de penetración de agua que se genera en el ensayo de permeabilidad en función a las dosificaciones aplicadas. Se concluyó que la incorporación de ceniza volante de carbón para influenciar en la resistencia a la compresión de un concreto requiere de una dosificación que se encuentra entre el 1.5% y 6%, para generar un aumento significativo, lo que quiere decir que una estructura puede resistir mucha más carga para la que fue diseñada antes del colapso. En cuanto a la permeabilidad la dosificación óptima está por encima del 6%, sin embargo, las dosificaciones utilizadas fueron de gran incidencia, ya que genera una disminución considerable en la permeabilidad de un concreto.

Tangle (2019), sostiene en su tesis que al analizar comparativamente la adición de ceniza volante en porcentajes de 5%, 10% y 15% con respecto al peso del cemento elaborado con agregados de coñac y Pisac, no logro demostrar la hipótesis en la que decía que incrementa las propiedades físico-mecánicas del mortero patrón, el mejor comportamiento de las muestras adicionadas con ceniza volante se logró parcialmente en la resistencia a compresión, lo cual no ocurrió en la resistencia a flexión mostrado datos por debajo a la resistencia del mortero patrón evaluadas a las edades de 7, 14, 28 días. Logro demostrar que la consistencia del mortero aumentara al ser

adicionado parcialmente con ceniza volante en porcentajes de 5%, 10% y 15%, la relación agua – cemento del mortero patrón era de 0.51 obteniendo una muestra muy seca, por lo que se tuvo que realizar el primer incremento de agua – cemento a 1.00 obteniendo una fluidez muy baja que no está dentro de la norma, sin embargo al incrementar la relación agua – cemento a 1.10 el rango de la fluidez está dentro de la norma  $110 \pm 5\%$  que cumple los parámetros de diseño.

Mariluz y Ulloa (2018), sostienen en su tesis que las cenizas volantes de carbón en porcentajes del 5%,10% y 20 % como adición, mejora las propiedades de resistencia y durabilidad del concreto. Según la composición química las cenizas volantes de carbón de la central termoeléctrica ILO 21-Moquegua presentan propiedades puzolánicas así mismo al tener un PH altamente alcalino no contribuye a la carbonatación. Los resultados obtenidos demuestran que la adición de las cenizas volantes de carbón al concreto en porcentajes de 5, 10 y 20 %, mejoran el desarrollo de la resistencia a la compresión a los 28 días de curado, siendo el más favorable el 10 % de adición. Los resultados obtenidos demuestran que en los diferentes concretos, la velocidad y capacidad de succión capilar disminuyen con el aumento de la adición en 5, 10 y 20 % de ceniza volante de carbón, haciendo al concreto más impermeable y por lo tanto durable. La variación de temperatura del concreto con adición del 5%, 10% y 20% de CVC con respecto al patrón, no fue relevante, siendo éstas aceptables dentro del rango de la norma ASTM C1064, asegurando así la calidad del concreto. Al analizar la manejabilidad del concreto patrón agregándole diferentes porcentajes de cenizas volantes de carbón, pero conservando la misma cantidad de agua según el diseño de mezcla se concluye que la adición del 5 % CV es la óptima para aumentar su trabajabilidad. Al agregar el 10% de cenizas volantes de carbón, existe una probabilidad del 100% que las resistencias obtenidas sean mayores a la de diseño comprendidas entre 215 kg/cm<sup>2</sup> y constituyentes en cantidades aún más reducidas, como compuestos de titanio, vanadio, manganeso, fósforo, germanio, galio, etc.

### 2.2.3. Artículos relacionados al tema

Huaquisto y Belizario (2018), sostienen que La ceniza volante utilizada en el diseño de mezclas de concreto en porcentajes del 0% al 7.5% mantiene una resistencia normal según especificación; además a los 28 días para esto porcentajes de ceniza volante se alcanzan resistencias por encima del resistencia del concreto normal, por tanto, con el efecto de mitigar el medio ambiente se debe usar las mezclas de ceniza volante en proporciones menores al 10% Porcentajes ceniza volante mayores al 10% en el diseño de mezclas de concreto disminuye la resistencia del mismo por tanto en necesario utilizar adiciones como la nano sílice, aditivos u otros insumos. Al sustituir el cemento con la ceniza volante para el aumento de la resistencia del concreto es necesario utilizarlo en un porcentaje óptimo del 3% al 6% sin adición de otras sustancias, de tal manera darle trabajabilidad, durabilidad y menor costo en su elaboración. Finalmente, el hecho de adicionarle ceniza volante al concreto implica una reducción de la porosidad dada la finura de este, lo que no implica aumento de la resistencia.

Cárdenas, Lizarazo y Aperador (2016), sostienen que, con base en los resultados obtenidos de los ensayos mecánicos realizados, se evaluó el efecto de las adiciones de ceniza volante y escoria de alto horno sobre el desempeño mecánico de sistemas cementantes binarios de concretos adicionados y de activación alcalina, y se proponen ecuaciones que permiten representar dicho comportamiento. Los resultados del estudio permiten concluir lo siguiente: Los contenidos de reemplazo óptimos de ceniza volante y escoria de alto horno en los concretos con cemento Portland tradicional resultaron ser equivalentes al 20%, nivel para el cual se presentaron los mejores desempeños en compresión, tracción y módulo de rotura de los especímenes evaluados. Adicionalmente, aunque no se emplearon contenidos de reemplazo mayores al 40%, se observó que reemplazos mayores al 20% de ceniza volante y escoria de alto horno disminuyen las resistencias a compresión, tracción y módulo de rotura del concreto a la edad final evaluada de 90 días. La adición de ceniza volante en el concreto genera las mayores reducciones en resistencia a compresión, resistencia a la tracción y módulo de rotura para los niveles de reemplazo

empleados de 20% y 40%, en comparación con las adiciones de escoria de alto horno empleadas. Sin embargo, se observó que las adiciones de ceniza volante pueden incrementar el desempeño mecánico del concreto a edades posteriores debido al crecimiento paulatino de su hidratación en función del tiempo. El módulo de elasticidad del concreto demuestra una tendencia al aumento por la adición de grandes contenidos de ceniza volante, y se espera que dicho valor incremente en función del tiempo a causa de la reacción puzolánica de las cenizas generada. También se evidenció que el módulo de elasticidad del concreto aumenta con el incremento de las resistencias a compresión, tanto para las mezclas adicionadas como para las mezclas de activación alcalina.

Huaquisto (2015), sostienen que la ceniza volante utilizado en el diseño de mezclas de concreto en porcentajes del 3% al 6% mejora la resistencia de éste, siendo óptimo un valor medio en este rango; además a los 28 días para estos porcentajes de ceniza volante se alcanzan resistencias por encima de la resistencia del concreto normal. Porcentajes ceniza volantes mayores al 6% en el diseño de mezclas de concreto hace perder la resistencia de este, en cambio para porcentajes menores al 3% la resistencia del concreto es aproximadamente la misma que para el concreto normal.

Molina et al. (2008), sostienen que la durabilidad del hormigón está influenciada por la capacidad de transporte de los fluidos en su red porosa. El uso de cenizas volantes en hormigón está extendido por el ahorro económico que supone y los cambios microestructurales motivados por la adición. Existe consenso en que las cenizas reducen el tamaño de poro. Aunque, los cambios de composición y microestructurales en la durabilidad del material no están completamente claros. En el XXIV Encuentro se presentó un estudio sobre cómo afectaban las cenizas a la permeabilidad y a la estructura porosa. Este trabajo complementa el anterior, extendiendo el estudio a los resultados de los ensayos de carbonatación y difusión de cloruros. Los resultados obtenidos ponen de manifiesto que las cenizas no modifican del mismo modo la carbonatación y la difusión de cloruros. La difusión de cloruros se ve más afectada por los cambios de la estructura porosa. Los iones carbonato interaccionan químicamente con la matriz por

lo que su avance se ve afectado por los cambios en composición generados por la reacción puzolánica.

Valdez et al. (2008), sostienen que la influencia de la carbonatación en morteros que contienen un 25% de ceniza volante en sustitución del material cementante. Se fabricaron especímenes cilíndricos de mortero para cuatro relaciones Agua/Cementante (a/c) de 0.35, 0.45, 0.55 y 0.65. Los morteros con y sin ceniza volante fueron sometidos a un proceso acelerado de carbonatación. Se determinó el peso volumétrico, la absorción, la resistencia a la compresión, la permeabilidad al agua, el pH y la poro simetría por intrusión de mercurio. Por efecto de la potencialidad puzolánica de la ceniza volante, para las cuatro relaciones a/c, los resultados de la resistencia a la compresión a los 28 días de los morteros con y sin ceniza volante permanecen similares. Los morteros con ceniza volante presentan coeficientes de permeabilidad al agua, a 28 días, similares a los morteros sin ceniza volante. Los resultados de pH indican que la reducción de la alcalinidad es menor en los morteros que contienen ceniza volante en comparación con aquellos que contienen sólo cemento. Para todos los morteros, los resultados de los análisis poro si métricos indican que la porosidad disminuye por efecto de la carbonatación; asimismo, muestran el predominio del macro y mesoporos.

### 2.3. Estructura teórica y científica que sustenta el estudio

#### 2.3.1. Carbón

El carbón es una roca sedimentaria de color negro, cuya composición es muy rica en carbono y con cantidades variables de otros elementos, como el hidrogeno, azufre, oxígeno y nitrógeno. Es utilizada normalmente como combustible fósil.

El carbón se origina por la descomposición de vegetales terrestres, hojas, maderas, cortezas y esporas que se acumulan en zonas pantanosas, lagunares o marinas, con poca profundidad, en un proceso que tarda varios millones de años. Los vegetales muertos se van depositando en el fondo de una cuenca y quedan cubiertos de agua y, por lo tanto, protegidos del aire que los destruiría. Comienza así una lenta transformación por la acción de

bacterias anaerobias, un tipo de microorganismos que no pueden vivir en presencia de oxígeno, a continuación en la Tabla 1 se puede observar la clasificación del carbón según sus características.

Tabla 1: Clasificación del Carbón

Categoría	Subcategoría	Elementos volátiles	PCS	
Antracita	Meta-Antracita	< 2 %		
	Antracita	2 a 8 %		
	Semi-Antracita	8 a 14 %		
Bituminoso	Bajo nivel volátil	14 a 22 %		
	Medio nivel volátil	22 a 31 %		
	Alto nivel volátil A	> 31 %	> 32,6 MJ/kg	
	Alto nivel volátil B		30,2 a 32,6 MJ/kg	
	Alto nivel volátil C		26,7 a 30,2 MJ/kg	
	Sub-Bituminoso	Sub-Bituminoso A		24,4 a 26,7 MJ/kg
		Sub-Bituminoso B		19,3 a 22,1 MJ/kg
Sub-Bituminoso C			22,1 a 24,4 MJ/kg	
Lignito	Lignito A		14,6 a 19,3 MJ/kg	
	Lignito B		< 14,6 MJ/kg	

Fuente: Elaboración propia

### 2.3.2. Propiedades de ceniza volante de carbón

A continuación, se desarrollarán las propiedades de la ceniza volante:

#### Propiedades físicas

CEDEX (2011), sostiene que las propiedades físicas la ceniza volante es de una textura arenosa o polvo muy fino, es suave al tacto y de color gris más o menos claro. También sus características físicas y propiedades dependen de diversos factores entre los cuales los más relevantes son, la composición química de los componentes incombustibles del carbón, el grado de pulverización, la temperatura de combustión, el tipo de caldera utilizada, el tipo de extractor. La finura media de las cenizas volantes sin moler, son comparables a la del cemento portland y su tamaño es ente 0.2 y 200 micras

de diámetro, solo en raros casos llegan a tener 500 micras de diámetro. Su densidad es aproximadamente  $0.89 \text{ g/cm}^3$  y el peso específico de las partículas es entre 2 y  $2.9 \text{ g/cm}^3$ . (p.5)

#### Propiedades químicas

CEDEX (2011), sostiene que la composición química de las cenizas volantes es muy variable, esto depende de la composición química de los componentes del carbón. Los porcentajes de sus diversos componentes varían de unas a otras. Poseen por lo general en mayor proporción: alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), sílice ( $\text{SiO}_2$ ), óxidos de hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), cal ( $\text{CaO}$ ) y carbón sin quemar; mientras que en menor proporción se encuentra la magnesia ( $\text{MgO}$ ), el óxido de azufre ( $\text{SO}_3$ ), los alcalinos ( $\text{Na}_2\text{O}$  y  $\text{K}_2\text{O}$ ) entre otros cuya proporción es aún menor a los anteriormente mencionados como los compuestos de titanio, vanadio, manganeso, fósforo, germanio, galio, etc.

#### 2.3.3. Tipos de ceniza volante de Carbón

La norma ASTM C618-19 divide en tres los tipos de ceniza volante:

##### -Clase N

Contreras y Peña (2017), sostienen que son puzolanas naturales calcinadas o en crudo que cumplen con los requisitos aplicables para la clase como los dados aquí, tal como tierras diatomáceas, horstemos o esquistos opalinos, tobas y cenizas volcánicas o piedra pómez, calcinadas o no; y varios materiales que requieren calcinación para inducir propiedades satisfactorias, como algunas arcillas y esquistos.

##### -Clase F

Contreras y Peña (2017), sostienen que ceniza volante que cumple con los requisitos aplicables para esta clase como los dados aquí. Esta clase de ceniza volante tiene propiedades puzolánicas.

##### -Clase C

Contreras y Peña (2017), sostienen que la ceniza volante que cumple con los requisitos aplicables para esta clase como los dados aquí. Esta clase de ceniza volante, además de poseer propiedades puzolánicas, también tiene algunas propiedades clementicas.

#### 2.3.4. Concreto

##### Cemento Portland

El cemento es un producto del procesamiento de rocas calizas, areniscas y arcillas, que, al someterlas a temperaturas altas en hornos, forman el Clinker, a este se le añade yeso en la etapa de molienda, para controlar el fraguado, obteniéndose así el cemento tipo Portland.

En la actualidad hay diferentes tipos de Cemento Portland, con características específicas. Estos se producen de acuerdo con las especificaciones que su norma lo indica.

En el caso del Perú se cuenta con las NTP (Normativa Técnica Peruana) NTP 334.009 (Cementos Portland. Requisitos), basada en la ASTM C 150 contemplando 5 tipos de cementos:

- Tipo I: Uso General
- Tipo II y Tipo II (MH): Moderada resistencia a sulfatos y al calor de hidratación.
- Tipo III: Altas resistencias iniciales.
- Tipo IV: Para lograr bajo calor de hidratación.
- Tipo V: Alta resistencia a sulfatos.

##### Agregado fino

Como se observa en la Figura 1 se considera a la fracción de material que pase el tamiz N°4 (4.75mm), que proviene de arenas naturales o de trituración de rocas, gravas, escorias siderúrgicas. El porcentaje de arena triturada no puede ser más del 30% del agregado fino.



TAMIZ	PORCENTAJE QUE PASA
9.5 mm (3/8 in.)	100
4.75 mm (N° 4)	95 a 100
2.36 mm (N° 8)	80 a 100
1.18 mm (N° 16)	50 a 85
600 µm (N° 30)	25 a 60
300 µm (N° 50)	05 a 30
150 µm (N° 100)	0 a 10

Figura 1: Requerimiento de granulometría para agregado fino

Fuente: NTP 400.037.2018 Agregados para el concreto. Requisitos

### Agregado grueso

Como se observa en la figura 2 el agregado grueso es la porción de agregado retenido en el tamiz N°4 (4.75mm). Agregado que debe proceder de la trituración de roca o grava o ambas, sus fragmentos deben ser limpios, resistentes y durables, sin exceso de partículas con superficies planas, alargadas o des integrables. El material debe estar libre de polvo, arcilla y otras sustancias que puedan afectar a la calidad de la mezcla.

HUSO	TAMAÑO MAXIMO MONIMAL	PORCENTAJE QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS													
		100 mm (4 in.)	90 mm (3 1/2 in.)	75 mm (3 in.)	63 mm (2 1/2 in.)	50 mm (2 in.)	37.5 mm (1 1/2 in.)	25 mm (1 in.)	19 mm (3/4 in.)	12.5 mm (1/2 in.)	9.5 mm (3/8 in.)	4.75 mm (N° 4)	2.36 mm (N° 8)	1.18 mm (N° 16)	300 µm (N° 50)
1	90 mm a 37.5 mm (3 1/2 a 1 1/2 in.)	100	90 a 100	-	25 a 60	-	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-	-
2	63 mm a 37.5 mm (2 1/2 a 1 1/2 in.)	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-	-
3	50 mm a 25 mm (2 a 1 in.)	-	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-
357	50 mm a 4.75 mm (2 in. a N° 4)	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	-	0 a 5	-	-	-
4	37.5 mm a 9 mm (1 1/2 a 3/4 in.)	-	-	-	-	100	95 a 100	20 a 55	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-
467	37.5 mm a 4.75 mm (1 1/2 in. a N° 4)	-	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	0 a 5	-	-	-
5	25 mm a 12.5 mm (1 a 1/2 in.)	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-	-	-
56	25 mm a 9.5 mm (1 a 3/8 in.)	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	-	-	-
57	25 mm a 4.75 mm (1 in. a N° 4)	-	-	-	-	-	100	95 a 100	-	25 a 60	-	0 a 10	0 a 5	-	-
6	19 mm a 9.5 mm (3/4 a 3/8 in.)	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	-	-	-
67	19 mm a 4.75 mm (3/4 in. a N° 4)	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	-	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-
7	12.5 mm a 4.75 mm (1/2 in. a N° 4)	-	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	-	-
8	9.5 mm a 2.56 mm (3/8 in. a N° 8)	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	-
89	9.5 mm a 1.18 mm (3/8 in. a N° 16)	-	-	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9	4.75 mm a 1.18 mm (N° 4 a N° 16)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

Figura 2: Requisitos granulométricos del agregado grueso

Fuente: NTP 400.307.2018 Agregados para el concreto. Requisitos

#### 2.3.5. ACI (American Concrete Institute)

Es una organización sin fines de lucro que se encarga de desarrollar estándares, normas y recomendaciones técnicas referentes al concreto reforzado.

#### 2.3.6. Norma Técnica Peruana (NTP)

Es la acción que trata en la elaboración, difusión y aplicación de normas técnicas encaminada a establecer las características de calidad que debe juntar un producto, proceso o servicio.

Las normas técnicas peruanas son documentos que establecen las especificaciones de calidad de los productos, procesos y servicios. Existen también las normas para terminología, métodos de ensayo, muestreo, envase y rotulado que complementan entre sí.

#### 2.3.7. Norma E-060

Esta norma fija los requisitos y exigencias mínimas para el análisis, diseño, materiales, construcción, control de calidad e inspección de estructuras de concreto simple o armado.

#### 2.3.8. Tamaño máximo nominal

El tamaño máximo nominal de un agregado es el menor tamaño de la malla por el cual debe pasar la mayor parte del agregado, la malla de tamaño máximo nominal puede retener de 5% a 15% del agregado dependiendo del número de tamaño.

#### 2.3.9. ASTM (American Society for Testing and Materials)

Es una organización de normas internacionales que desarrolla y publica acuerdos voluntarios de norma técnicas para amplia gama de materiales, productos, sistemas y servicios.

Dicha organización hoy en día está entre los mayores contribuyentes técnicos del ISO, y mantiene un sólido liderazgo en la definición de los materiales y métodos de prueba en casi todas las industrias.

#### 2.3.10. Métodos experimentales

Resistencia a la compresión axial

Se define como la máxima resistencia medida de un espécimen de concreto o mortero a carga axial. Generalmente se expresa en kilogramos por centímetros cuadrado ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) en una edad de 28 días de curado se le designa con el símbolo de  $f'c$ .

Esta se ejecuta para determinar que la mezcla suministrada cumpla con los requerimientos de la resistencia especificada, también para un control de calidad y aceptación del concreto.

Los especímenes sometidos a ensayo de aceptación y control de calidad se elaboran y curan los procedimientos descritos en probetas curadas de manera estándar según la norma ASTM C31, Practica Estándar para Elaborar y Curar Probetas de Ensayo de Concreto en Campo / NTP 339.033. Para estimar la resistencia del concreto in situ, la norma ASTM C31 formula procedimientos para las pruebas de curado en campo. Los especímenes cilíndricos se someten a ensayo de acuerdo con ASTM C39, Método prueba de resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de concreto/ NTP 339.034.

Este método de ensayo consiste en aplicar una carga axial en compresión a moldes cilíndricos que este dentro del rango especificado antes que la falla ocurra. El esfuerzo a la compresión de la muestra está calculado por el cociente de la máxima carga obtenida durante el ensayo entre el área de la sección transversal de la muestra.

La carga aplicada debe ser en forma continua, evitando choques. Para máquinas de tornillo, el desplazamiento del cabezal móvil será de aproximadamente 1.3mm/min, cuando lo hace libremente. Para maquinas operadas hidráulicamente la velocidad de la carga estará en el rango de 0.14 a 0.34 MPa/s.

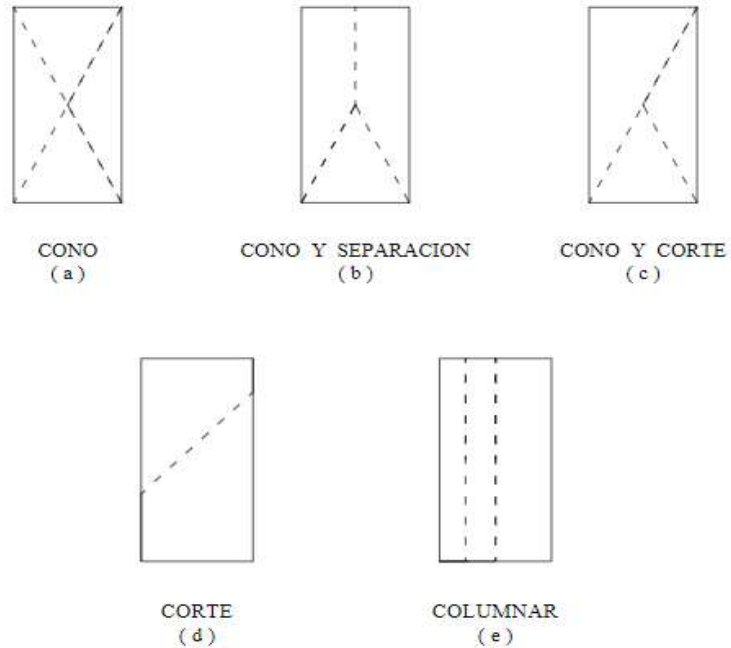


Figura 3: Tipo de falla especímenes de concreto

Fuente: NTP 339.034 Ensayo resistencia a la comprensión.

#### Ensayo de Asentamiento (Cono de Abrams)

El ensayo de asentamiento del concreto o prueba de cono abrams es un método de control de calidad cuyo objetivo principal es medir la consistencia del concreto.

Dicho método consiste en llenar un molde metálico troncocónico de dimensiones normalizadas en tres capas apisonadas con 25 golpes de varilla-pisón y luego retirar el molde, una vez levantado el molde, se medirá desde el eje central del molde en su posición original.

Dicha normativa recoge cualitativamente las siguientes consistencias en función del asiento del cono (en cm), con una tolerancia de  $\pm 2$  cm respecto a los siguientes valores:

- De 0 – 2 cm, Consistencia seca.
- De 2 – 6 cm, Consistencia plástica.
- De 5 – 10 cm, Consistencia Blanda.
- De 8 – 17 cm, Consistencia Fluida.

- De 14 – 22 cm, Consistencia Liquida.



Figura 4 : Ensayo de cono de abrams.

Fuente: Norma ASTM C143.

Ion cloruro según norma ASTM C120

El ensayo de rápido de permeabilidad del cloruro (RCPT), consiste en preparar una probeta de concreto, con un espesor de 50 mm y un diámetro de 100mm, esta muestra se somete a 60V de corriente directa durante 6 horas. La probeta de concreto se coloca entre 2 reservorios, un a de ellos con una solución de cloruro de sodio (NaCl) al 3% y el otro con una solución de hidróxido de sodio (NaOH) de 0.3M. La carga total transmitida por este sistema es usada para valorar la permeabilidad del concreto.

Método absorción capilar ASTM C642

El método para determinar la absorción capilar consiste en registrar la ganancia de masa de una muestra o espécimen de concreto sometida a la acción del contacto con agua por tres lados.

Se moldean probetas cilíndricas de 100 x 200 mm, las que fueron curadas en cámara húmeda durante 28 días, posteriormente cada probeta fue aserrada en 3 rodajas de entre 50 y 60 mm de espesor a distintos niveles de la misma.

Previo al ensayo las tres caras del espécimen se aplica pintura impermeabilizante, luego se coloca en un recipiente herméticamente cerrado, sobre apoyos puntuales con una altura de agua de 10mm.

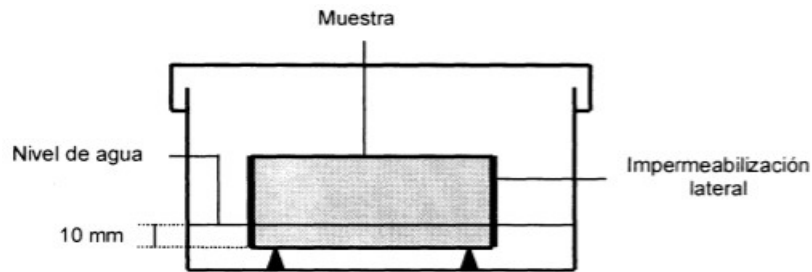


Figura 5 : Esquema del ensayo de absorción capilar.

Fuente: Norma ASTM C642

La cantidad de agua absorbida se obtuvo como la ganancia de masa a 15 min, 30 min y a 1, 1.5, 2, 3, 8, y 24 horas, cuyas determinaciones se realizaron con una balanza de precisión de 0.1g.

#### Prueba de sortividad ASTM C1585

En cuanto al ensayo de sortividad es un método para determinar la tasa de absorción de agua, mediante la medición del incremento de masa de un espécimen en el tiempo, que resulta de la absorción de agua cuando una de sus caras está en contacto con el agua. Dicho ensayo se realizó de acuerdo a la norma técnica ASTM C1585-11 “Standard Test Method for measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes”

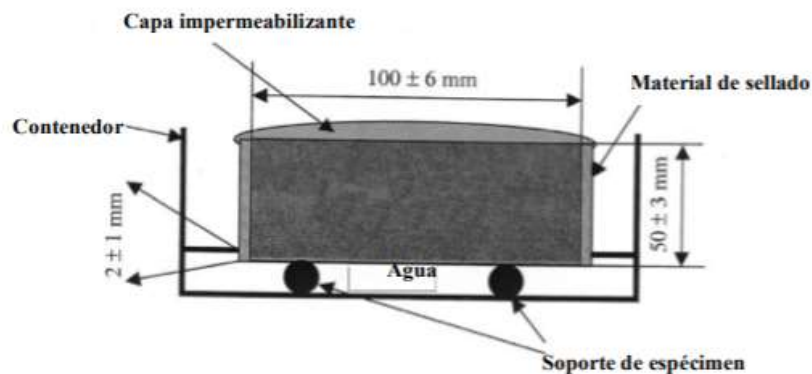


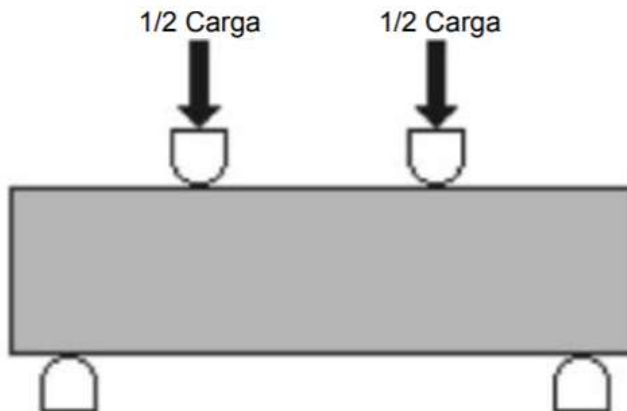
Figura 6: Esquema de medida de la sortividad

Fuente: Norma ASTM C 1585-11

#### Ensayo de resistencia a la flexión NTP 339.078

El ensayo nos permite medir la resistencia a la tracción. Es una medida de resistencia a la falla por el momento de una viga o losa de concreto no

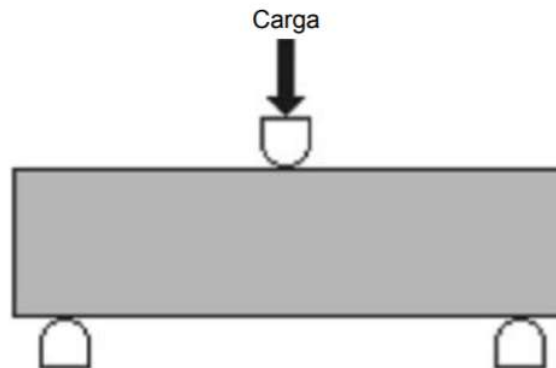
reforzada. Mencionado ensayo se realiza mediante la aplicación de cargas a vigas de concreto de 6 x 6 pulgadas (150 x 150 mm) de sección transversal y con luz de como mínimo tres veces el espesor. La resistencia a la flexión se expresa como el módulo de rotura (MR) en libras por pulgada cuadrada (MPa) y es determinada mediante los métodos de ensayo ASTM C78 (carga en los puntos tercios) o ASTM C293 (Carga en el punto medio).



**ASTM C78.** Cargas en los puntos tercios. La mitad de la carga se aplica en cada tercio de la luz. El módulo de rotura es más bajo que en el caso de la carga en el punto medio. La tensión máxima en el tercio medio de la viga.

Figura 7 :Ensayo Carga en los puntos tercios.

Fuente: Norma ASTM C78



**ASTM C293.** Carga en el punto medio. Toda la carga se aplica en el centro de la luz. El módulo de rotura será mayor que en caso de la carga en los puntos tercios. La tensión máxima sólo en el centro de la viga.

Figura 8: Ensayo Carga en el punto medio.

Fuente: Norma ASTM C293

## 2.4. Definición de términos básicos

### Ceniza volante

Rivva (2008), sostiene que las cenizas volantes son el residuo finamente dividido resultante de la combustión del carbón, ya sea en trozos o en polvo, el cual es transportado desde su almacenamiento por los gases de combustión.

### Resistencia a la compresión

Se puede definir como la máxima resistencia medida de un espécimen de concreto o de mortero a carga axial. Generalmente se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado ( $\text{Kg/cm}^2$ ) a una edad de 28 días se le designa con el símbolo  $f'c$ .

### Permeabilidad

La permeabilidad es la capacidad que tiene un material de permitirle a un fluido atravesarlo sin alterar su composición. Un material es permeable si deja pasar a través de él una cantidad considerable de fluido en un tiempo dado, e impermeable o no permeable si deja pasar una cantidad despreciable de este fluido.

### Trabajabilidad

Laura (2006), sostiene que, un concreto apropiadamente diseñado debe permitir ser colocado y compactado apropiadamente con el equipamiento disponible. El acabado que permite el concreto debe ser el requerido y la segregación y sangrado deben ser minimizados. Como regla general el concreto debe ser suministrado con la trabajabilidad mínima que permita una adecuada colocación. La cantidad de agua requerida por trabajabilidad dependerá principalmente de las características de los agregados en lugar de las características del cemento. Cuando la trabajabilidad debe ser mejorada, el rediseño de la mezcla debe consistir en incrementar la cantidad de mortero en lugar de incrementar simplemente el agua y los finos (cemento). Debido a esto es esencial una cooperación entre el diseñador y el constructor para asegurar una buena mezcla de concreto. En algunos casos una menos mezcla económica podría ser la mejor solución.



## 2.5. Fundamentos teóricos que sustentan las hipótesis

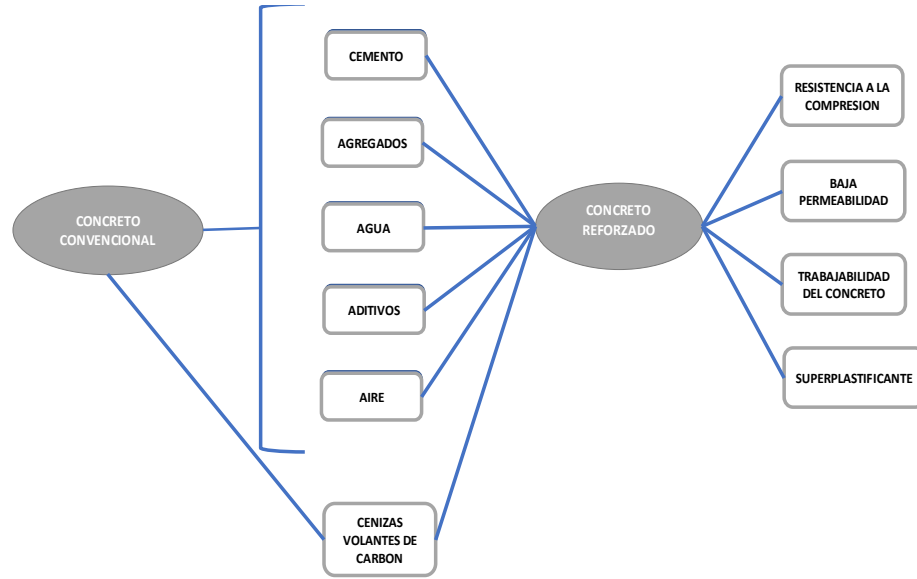


Figura 9: Mapa conceptual de relación de variables dependientes, independientes e indicadores.

Fuente: Elaboración propia.

## CAPITULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS

### 3.1. Hipótesis

#### 3.1.1. Hipótesis general

Al determinar la dosis de ceniza volante de carbón como sustituto porcentual del cemento incrementa la resistencia a la compresión y reduce la permeabilidad del concreto.

#### 3.1.2. Hipótesis específicas

- a) Al determinar el óptimo porcentaje de ceniza volante como sustituto del cemento se mejora la resistencia a la compresión del concreto.
- b) Al determinar el óptimo porcentaje de ceniza volante como sustituto del cemento se reducirá la permeabilidad del concreto.
- c) Al determinar el óptimo porcentaje de ceniza volante como sustituto del cemento mejora la trabajabilidad del concreto.
- d) Al determinar el óptimo porcentaje de ceniza volante como sustituto del cemento se mejora la resistencia a la flexión del concreto.

### 3.2. Variables

#### 3.2.1. Variables dependientes

Resistencia a la compresión y permeabilidad del concreto.

#### 3.2.2. Variables independientes

Ceniza volante del carbón como sustituto porcentual de cemento.

### 3.3. Sistema de variables

#### 3.3.1. Definición conceptual

##### a) Ceniza Volante del Carbón

Son los residuos sólidos que se obtienen por precipitación electrostática o por captación mecánica de los polvos que acompañan a los gases de combustión de los quemadores de centrales termoeléctricas alimentadas por carbones pulverizados.

##### b) Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión es la máxima capacidad del concreto a la carga o diversos esfuerzos que se le hace en el ensayo. Su unidad es kilogramo por centímetros cuadrados ( $\text{kg/cm}^2$ ) en un tiempo de 28 días.

##### c) Permeabilidad

La permeabilidad es la capacidad que tiene un material de permitirle a un fluido atravesarlo sin alterar su composición. Un material es permeable si deja pasar a través de él una cantidad considerable de fluido en un tiempo dado, e impermeable o no permeable si deja pasar una cantidad despreciable de este fluido.

d) Trabajabilidad

La trabajabilidad es la facilidad que presenta el concreto para ser mezclado, colocado y acabado sin segregación y exudación durante estas actividades.

e) Resistencia a la flexión

Es una medida de resistencia a la tracción del concreto, esta es a la falla por momento de una viga o losa de concreto no reforzada.

### 3.3.2. Definición operacional

a) Ceniza Volante del Carbón

Es un polvo reciclable lo cual puede ser posible sustituto del cemento porque tiene el mismo tamaño de fino y además nos ayuda a aumentar la resistencia del concreto.

b) Resistencia a la compresión y Permeabilidad

Posteriormente de diseñar y preparar el concreto bajo los parámetros y normas establecidos, se espera el tiempo de fraguado y empieza a ganar resistencia.

### 3.3.3. Operacionalización de variables

Tabla 2: Operacionalización de variables

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	índices	Unidad de medida	Escala	Instrumento	Herramienta	
Ceniza Volante del carbón	Son los residuos sólidos que se obtienen por precipitación electrostática o por captación mecánica de los polvos que acompañan a los gases de combustión de los quemadores de centrales termoeléctricas alimentadas por carbones pulverizados	Es un polvo reciclable lo cual puede ser posible sustituto del cemento porque tiene el mismo tamaño de fino y además nos ayuda a aumentar la resistencia del concreto.	TECNICAS	PORCENTAJE DE CENIZA VOLANTE DE CARBON	PORCENTAJE	%	CUANTITATIVA-DISCRETA	FORMATO DEL LABORATORIO DE CONCRETO	Norma ACI 211	
					DENSIDAD	gr/cm3				
				SUSTITUTO DEL CEMENTO	ACCION DE QUIMICOS PORCENTAJE	ppm				CUANTITATIVO CONTINUA
				GRANULOMETRIA	MODULO DE FINEZA	%				CUANTITATIVO CONTINUA
Resistencia a la comprensión y Permeabilidad	La resistencia a la comprensión se define como la máxima resistencia medida de un espécimen de concreto o de mortero a carga axial. La permeabilidad en el concreto se refiere a la cantidad de migración de agua u otras sustancias liquidas por los poros del material en un determinado tiempo; y así ser el resultado de: la composición de la porosidad en la pasta de concreto, la hidratación o la asociación con la liberación de calor o calor de hidratación y evaporación del agua de mezcla, la temperatura del concreto, y la formación de cavidades y grietas por contracción plástica en el concreto durante el tiempo de fraguado.	Luego de diseñar y preparar el concreto bajo los parámetros y normas establecidos, se espera el tiempo de fraguado y empieza a ganar resistencia.	ENDURECIDO	RESISTENCIA A LA COMPRESION	COMPRESION	Kg/cm <sup>2</sup>	CUANTITATIVO CONTINUA	FORMATO DEL LABORATORIO DE CONCRETO	NTP 339.034 / EN 12390-8 /	
						a/c				Adim.
				PERMEABILIDAD	Penetración al ion cloruro	C				

Fuente: Elaboración propia.

## CAPITULO IV: TIPOLOGÍA

### 4.1. Método de la investigación

El método empleado fue el deductivo, orientación aplicada, enfoque cuantitativo y como instrumento de recolección de datos retro lectivo, de tipo de investigación descriptivo, correlacional y explicativo. Utilizaron un estudio del diseño de cohorte, que según el propósito del estudio es un diseño experimental, según el número de mediciones es longitudinal y según la cronología de las observaciones es prospectivo. Es una investigación causal (causa-efecto) dado que estudia la relación entre la variable independiente incorporación de ceniza volante de carbón (causa) y variable las variables dependientes la resistencia a la compresión y la permeabilidad (efecto). Su objetivo es conocer el efecto positivo o negativo que puede producir un cambio inesperado entre las variables.

### 4.2. Tipo de la investigación

La investigación fue de tipo descriptivo porque mediante la problemática se puede cuantificar y especifica las propiedades del concreto con resultados recopilados de investigaciones pasadas los cuales serán necesarios para identificar si hay incidencia de la ceniza volante de carbón como sustituto porcentual del cemento en la mezcla con la resistencia a la compresión y permeabilidad del concreto.

Tagle (2019), en su investigación de tesis el enfoque fue cuantitativo pues uso la recolección de datos para probar hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías.

Yapuchura (2019), en su investigación de tesis el enfoque correspondería al tipo explicativo, ya que utilizó la recopilación de datos (reemplazo de ceniza volante y la resistencia a la compresión y la resistencia a flexión del concreto a distintas edades), para explicar el comportamiento de una variable dependiente en función de variables independientes y para demostrar la hipótesis, en función a mediciones numéricas.

### 4.3. Nivel de investigación

El nivel de investigación es descriptivo ya que se busca analizar los resultados recopilados de tesis, ensayos, artículos y libros para determinar un porcentaje óptimo de ceniza volante de concreto en la muestra que beneficie en la resistencia a la compresión y a la permeabilidad del concreto.

#### 4.4. Diseño de investigación

De acuerdo con la investigación de diseño es experimental, debido a que se realiza la manipulación de la variable independiente para observar su efecto y relación con una o más variables dependientes. De acuerdo con la direccionalidad de la investigación es longitudinal y retrospectiva, longitudinal porque se hacen más de 2 mediciones para poder calcular la dosificación óptima y retrospectiva porque la información no es de primera fuente, se recaudó información de tesis anteriores de una base de datos confiables, así mismo el estudio a realizarse fue de cohorte debido a que se analiza la exposición a la causa y se vigila la aparición del efecto.

#### 4.5. Población y muestra

##### 4.5.1. Población

La presente tesis es de nivel descriptiva, por lo tanto, se considera como población a las investigaciones recopiladas en base al estudio de la aplicación de las cenizas volantes de carbón al concreto:

- a) Tangle (2019), considera una población de 144 dados de mortero de (5cm x 5cm x 5cm) de diferentes porcentajes de ceniza volante y 144 muestras prismáticas de (4cm x 4cm x 16cm) elaborados con diferentes porcentajes de ceniza volante.
- b) Yapuchura (2019), considera una población de para este estudio serán 70 bloques cilíndricos de concreto para roturas a compresión y vigas de concreto (vigas de concreto de 15cm x 15cm x 60cm) para roturas a flexión y compresión.
- c) Balcázar y Castillo (2014), considera la población para este estudio será de 36 moldes cilíndricos de plástico de dimensiones (30cm x 15cm)

##### 4.5.2. Muestra

- a) Tangle (2019), considera que la muestra está formada por dados de mortero (5cm x 5cm x 5cm) elaborado con cemento Portland tipo IP, agregado fino de las canteras de Cunyac y Pisac; y Ceniza Volante en porcentajes de 5%, 10% y 15% en relación con el peso del cemento y por muestras prismáticas de (4cm x 4cm x 16 cm) elaborado con cemento Portland tipo IP, agregado fino de las canteras de Cunyac y

Pisac y Ceniza Volante en porcentajes de 5%, 10% y 15% en relación con el peso del cemento.

- b) Yapuchura (2019), considera que el tratamiento que se utilizará en la investigación será el reemplazo del concreto con ceniza volante en 0%, 2.5%, 5%, 10% y 15% con respecto a su peso. los porcentajes son propuestos por el investigador, de estos se harán 60 unidades de bloques de concreto para roturas a compresión y 10 vigas de concreto para roturas a flexión. La muestra de estudio está conformada por 5 tipos de tratamiento del concreto como son: concreto muestra patrón 0%, concreto con 2.5% de reemplazo de cemento, concreto con 5% de reemplazo de cemento, concreto con 10% de reemplazo de cemento, concreto con 15% de reemplazo de cemento, en probetas para compresión se realizaron para roturas a los 7, 14, 28 y 90 días, y para las vigas de concreto se realizaron para roturas a los 28 días.
- c) Balcázar y Castillo (2014), se elaboraron probetas de concreto de diámetro= 15cm y longitud = 30cm de acuerdo con norma para los ensayos de compresión.

#### 4.6. Técnicas e instrumentación de recolección de datos

##### 4.6.1. Instrumento de recolección de datos

Los instrumentos de recolección para los datos utilizados en la investigación son los formatos de resultados de los ensayos hechos por los autores citados.

##### 4.6.2. Métodos y técnicas

Los métodos y técnicas para el estudio son las pruebas y ensayos utilizados en las investigaciones citadas en esta tesis, debido a que, así se puede medir la mejora de las propiedades de los elementos estructurales del concreto utilizando las normas y demás especificaciones.

#### 4.7. Descripción de procesamientos de análisis

- a) Para el procesamiento de los datos, se usará hojas de cálculo en Microsoft Excel, los cuales estarán acordes con las normas antes utilizadas.
- b) Para una mejor interpretación de los datos obtenidos, se dispondrán en tablas y gráficos estadísticos.

## **CAPITULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### 5.1 Resultados de la investigación

La ceniza volante de carbón como sustituto porcentual del cemento, presenta diferentes comportamientos, que dependen de diferentes factores: el tipo de ceniza volante utilizado, tipo de cemento, relación a/c, tipo de agregados, entre otros, por ellos, en esta investigación presentamos una recopilación de estudios científicos y ensayos que evidencian diferentes comportamientos ante la variación de lo antes mencionado.

Los ensayos realizados por las diferentes investigaciones con las cuales se va a desarrollar este capítulo son tanto de carácter nacional, como internacional, con el fin de mostrar resultados significativos y así poder tener una información más confiable ante las diferentes situaciones en las que son efectuados estos ensayos.

Analizando el porcentaje de ceniza volante como sustituto del cemento para aumentar la resistencia a la compresión del concreto.

Huaquisto y Belizario (2018).

- Tipo de ceniza volante: La ceniza volante usada es del tipo F, producidas normalmente a partir de la combustión de antracitas y de carbones bituminosos, cuya suma de óxidos ácidos es mayor del 70%
- Contenido de mezcla: Se llevó a cabo la preparación de una mezcla de concreto, el cemento usado es el tipo IP puzolánico con peso específico de 3.15 gr/cm<sup>3</sup>. El diseño de mezclas fue realizado para un concreto de  $f'c=210\text{kg/cm}^2$ , asentamiento de 3.0"-4.5" y una relación agua cemento de 0.56.
- Método de ensayo: Para este ensayo se elaboraron 60 especímenes de prueba para concreto normal según el método ACI, al 0.0% de ceniza, 2.5%, 5.0%, 10.0% y 15.0% del peso del cemento para roturas a los 7, 14, 28 y 90 días, en una prensa ELE Modelo ADR 1500.
- Resultado de ensayo experimental:



Tabla 3: Ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días de curado para mezclas de concreto con sustitución porcentual de ceniza volante de 0%, 2.5%, 5%, 10% y 15%

Nomenclatura de la mezcla	% de sustitución de ceniza volante	Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
M1	0.0	218
M2	2.5	223
M3	5.0	231
M4	10.0	200
M5	15.0	192

Fuente: Elaboración propia.

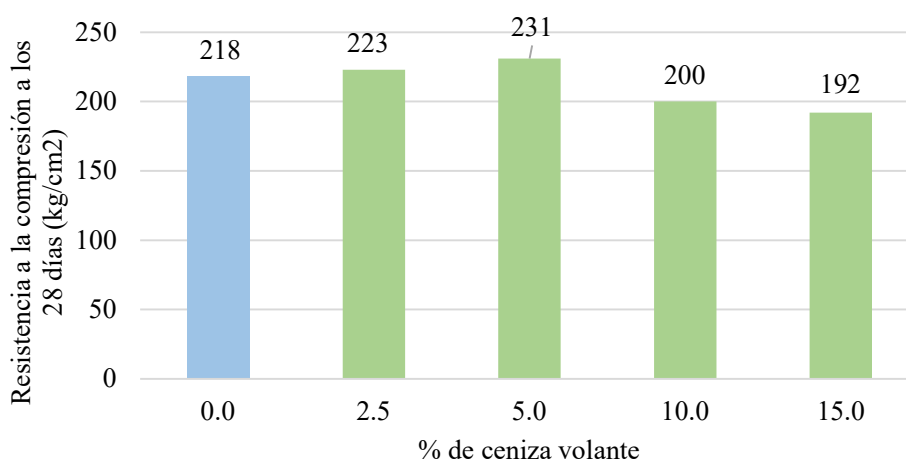


Figura 10: Resistencia a la compresión a 28 días vs Porcentaje de sustitución.

Fuente: Elaboración propia

Imrose et al. (2018).

- Tipo de ceniza volante: La ceniza volante usada es del tipo F, producidas normalmente a partir de la combustión de antracitas y de carbones bituminosos, etc.
- Contenido de Mezcla: En este estudio, el cemento portland tipo 1, según la norma de ISO 679:2009, la resistencia a la compresión del cemento durante 28 días se determina en 49.5 MPa. Agregado ligero: Tiene una densidad seca de partículas de 1.32g/cm, el agregado tiene una absorción de agua del 5%, 8% y 10% a 1 hora, 24 horas y 7 días respectivamente. Materiales Cementosos Suplementarios: En este estudio se utilizaron el humo de sílice,

la escoria de alto horno y las cenizas volantes. El diseño fue el reemplazo de cenizas volantes de 5%,15%, 25% y 35% en peso del cemento, donde la relación de a/c = 0.4.

- Método de Prueba: Para la prueba de asentamiento, se realizó el ensayo de cono de abrams (Diámetro interno superior = 102 mm y diámetro interno inferior = 203 mm con una altura de 305 mm). Para comprobar la resistencia a la compresión se utilizó una máquina de compresión digital con una capacidad de 3000 kN a una tasa de carga constante. La máquina tiene un error es de +- 0.5 % de la carga indicada. A partir de los resultados de las pruebas de tres muestras de cada tipo, se toma el promedio como resistencia a la compresión.
- Resultado de ensayo experimental:

Tabla 4: Ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días de curado para mezclas de concreto con sustitución porcentual de ceniza volante de 0%, 5%, 15%, 25% y 35%.

Nomenclatura de la mezcla	% de sustitución de ceniza volante	Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
CONTROL	0.0	459
FA-I	5.0	500
FA-II	15.0	555
FA-III	25.0	489
FA-IV	35.0	444

Fuente: Elaboración propia.

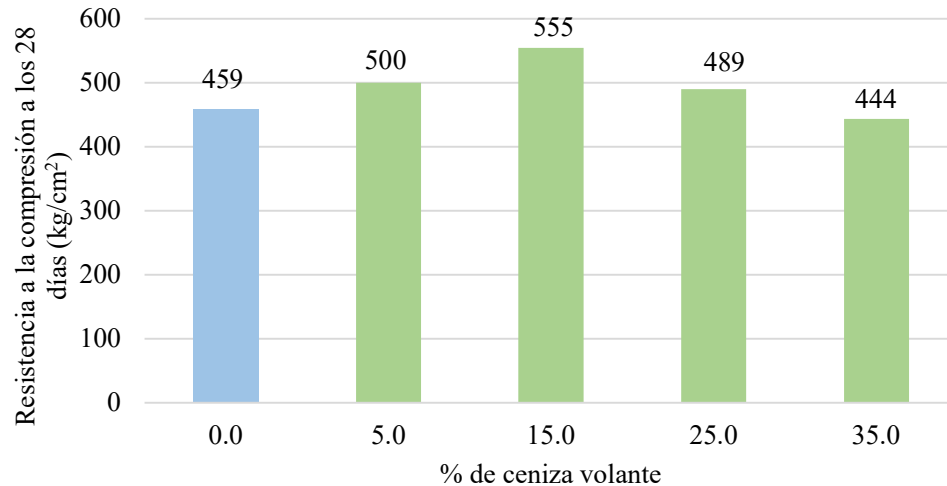


Figura 11: Resistencia a la Compresión a 28 días vs Porcentaje de sustitución.

Fuente: Elaboración propia

Yapuchura (2019).

- Tipo de ceniza volante: La ceniza volante usada es del tipo F, producidas normalmente a partir de la combustión de antracitas y de carbones bituminosos, etc.
- Contenido de mezcla: El diseño de mezclas fue realizado para un concreto del diseño de mezclas fue realizado para un concreto de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ , asentamiento de 3"-4" y relación de a/c de 0.558. La determinación de la proporción en peso del diseño, mostro los siguientes resultados: Cemento  $345.63/345.63 =1$ , Agregado Fino  $657.74/345.63=1.9$ , Agregado Grueso:  $1196.63/345.63=3.46$ , Agua  $182. /345.63=0.558$
- Métodos de Prueba: Para comprobar la resistencia a la compresión se utilizó una máquina de compresión hidráulica para poder obtener resultados a los 7, 14, 28 y 90 días.
- Resultado de ensayo experimental:

Tabla 5: Ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días de curado para mezclas de concreto con sustitución porcentual de ceniza volante de 0%, 2.5%, 5%, 10% y 15%.

Nomenclatura de la mezcla	% de sustitución de ceniza volante	Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
P-0	0.0	222
P-2.5	2.5	236
P-5	5.0	249
P-10	10.0	230
P-15	15.0	194

Fuente: Elaboración propia.

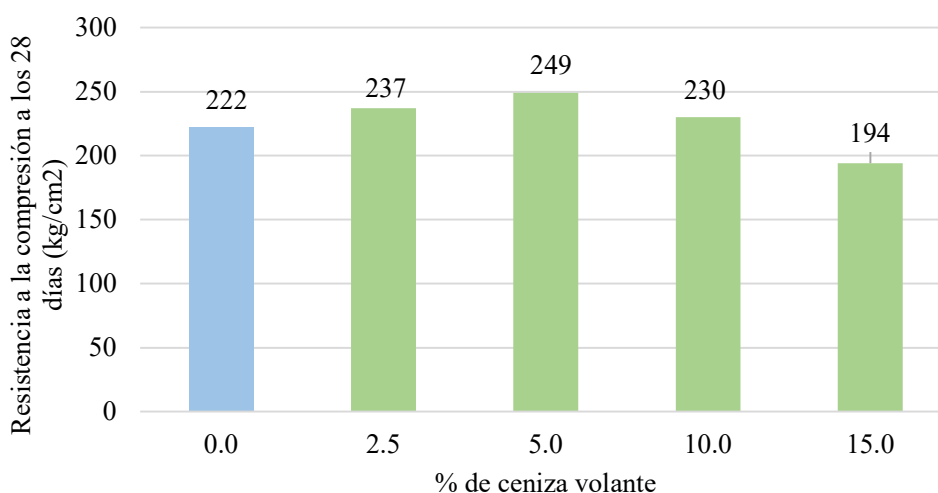


Figura 12: Resistencia a la compresión a 28 días vs Porcentaje de sustitución.

Fuente: Elaboración propia

Mariluz y Ulloa (2018).

- Tipo de ceniza volante: La ceniza volante usada es del tipo F, producidas normalmente a partir de la combustión de antracitas y de carbones bituminosos, etc.
- Contenido de mezcla: Se elaboró un concreto de acuerdo con el método de diseño de mezclas del comité ACI 211, donde los insumos a emplear son el cemento portland donde su peso seco del agregado es 367.38kg/m<sup>3</sup>, agregado fino es de 799.18 kg/cm<sup>3</sup>, agregado grueso 994.61 kg/cm<sup>3</sup> y agua 205 kg/cm<sup>3</sup>

donde en las múltiples mezclas se efectuará una adición de 5%, 10%, y 20% de ceniza volante.

- Métodos de Prueba: Para determinar la resistencia a la compresión de las probetas cilíndricas patrón y las reforzadas con cenizas volantes de carbón, se realizaron los ensayos de laboratorio convenientes según lo denotado en la NPT 339.034. Dicho ensayo mencionado se basó en aplicar una fuerza de compresión axial a los cilindros moldeados a una velocidad reglamentada en un rango prescrito mientras se produce la falla.
- Resultado de Ensayo experimental:

Tabla 6 : Ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días de curado para mezclas de concreto con sustitución porcentual de ceniza volante de 0%, 7%, 12%, 17% y 22%.

Nomenclatura de la mezcla	% de sustitución de ceniza volante	Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
CC	0.0	257
CV-7%	7.0	331
CV-12%	12.0	316
CV-17%	17.0	298
CV-22%	22.0	263

Fuente: Elaboración propia

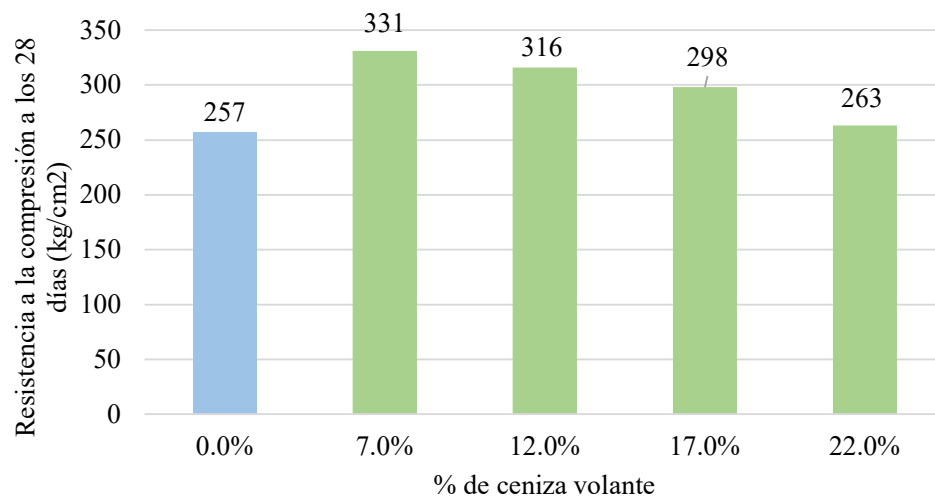


Figura 13 : Resistencia a la compresión a 28 días vs Porcentaje de sustitución.

Fuente: Elaboración propia

Nagrokiene y Daugela (2018).

- Tipo de ceniza volante: La ceniza volante usada es del tipo F, producidas normalmente a partir de la combustión de antracitas y de carbones bituminosos, etc.
- Contenido de Mezcla: En las pruebas se utilizó cemento portland tipo I, la ceniza volante de biomasa y también se utilizaron materiales como agregado fino y grueso, el agua que se adicionara tendrá que ser limpia y sea potable. Se adiciono un plastificante a base de resina de policarboxilato, valor de pH 4,5 densidad de la solución es 1040kg/m<sup>3</sup>. Se produjeron 7 lotes de mezclas de hormigos (5 muestras de cada mezcla) en condiciones de laboratorio para las pruebas, los lotes se diferencian por el contenido de ceniza que oscilaba entre el 0% y el 30% en peso de cemento.
- Método de prueba: Después de 7 y 28 días de curado en agua, se midió la resistencia a la compresión de las probetas según EN 12390-3: 2009 (la carga de compresión se añadió a una tasa de 5 kN / s), la densidad se midió según EN 12390- 7: 2009, y la velocidad del pulso ultrasónico se midió de acuerdo con EN 12504-4: 2004 (la frecuencia de oscilación fue de 40 a 100 kHz).
- Resultado de Ensayo experimental:

Tabla 7: Ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días de curado para mezclas de concreto con sustitución porcentual de ceniza volante de 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% y 30%.

Nomenclatura de la mezcla	% de sustitución de ceniza volante	Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
1	0.0	373
2	5.0	495
3	10.0	400
4	15.0	391
5	20.0	390
6	25.0	383
7	30.0	272

Fuente: Elaboración propia.

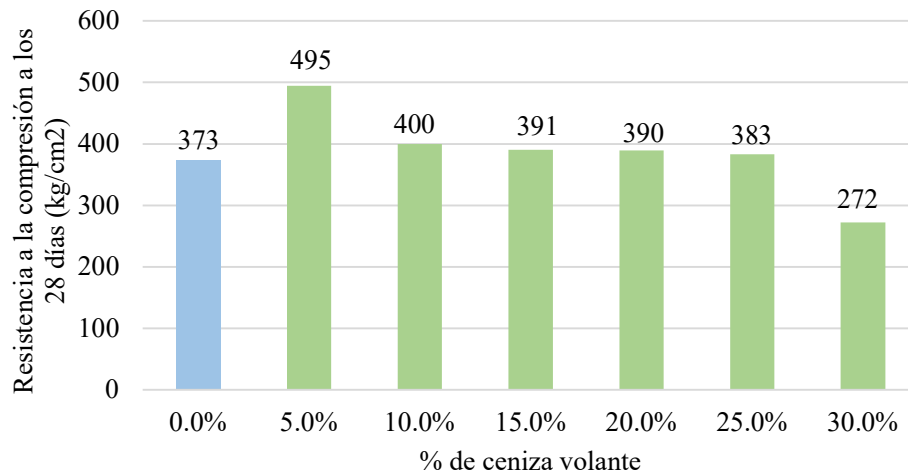


Figura 14: Resistencia a la compresión a 28 días vs Porcentaje de sustitución.

Fuente: Elaboración propia.

Analizando el porcentaje de ceniza volante como sustituto del cemento para reducir la permeabilidad del concreto.

Silva et al. (2018).

- Tipo de ceniza volante: Ceniza volante tipo F.
- Contenido de Mezcla: Para la evaluación de las propiedades mecánicas y de durabilidad se elaboraron mezclas de concreto adicionadas con CV (35% y 50%) y E (35% y 50%) como reemplazo del cemento. Los agregados utilizados son el agregado grueso de tamaño máximo nominal es de 19 mm, peso específico de 2760 kg/m<sup>3</sup>. La arena, con peso específico de 2680 kg/m<sup>3</sup>. La relación agua/material cementante se mantuvo constante (0,36, 0.38 y 0.39).
- Método de prueba: Se evaluó mediante los ensayos de absorción superficial inicial (Initial Surface Absortivity Test, ISAT) Norma británica BS3 1881 parte 208, succión capilar y permeabilidad rápida a cloruros (ASTM C1202).
- Resultado de Ensayo experimental:

Tabla 8: Ensayo de Permeabilidad a los cloruros a los 28 días de curado con un porcentaje de sustitución de volante de 0%, 35% y 50%.

Nomenclatura de la mezcla	% de sustitución de ceniza volante	Carga Coulomb (Permeabilidad al cloruro)
PATRON	0.0	3425
CV 35%	35.0	989
CV 50%	50.0	715

Fuente: Elaboración propia.

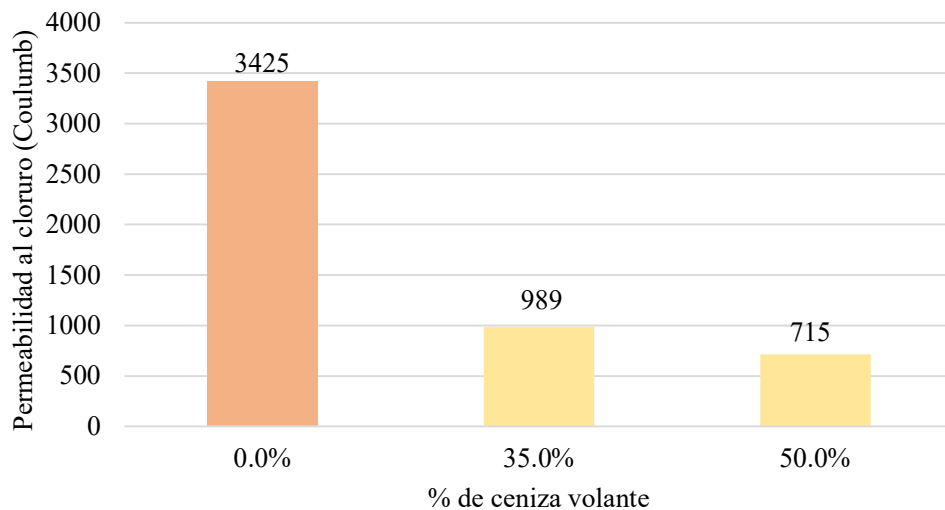


Figura 15: Permeabilidad al cloruro vs Porcentaje de ceniza volante.

Fuente: Elaboración propia.

Kumer (2018).

- Tipo de ceniza volante: La ceniza volante usada es del tipo F, producidas normalmente a partir de la combustión de antracitas y de carbones bituminosos, etc.
- Contenido de Mezcla: En el presente estudio, se utilizaron materiales de construcción disponibles localmente en WA. El cemento Portland se clasifica como de uso general, según la norma australiana AS 3972 y las cenizas volantes de clase F según ASTM 618 fueron los aglutinantes principales.
- Método de prueba: Se evaluó mediante los ensayos de sortividad y penetración al cloruro (Norma ASTM 1202).
- Resultado de Ensayo experimental:



Tabla 9: Ensayo de Permeabilidad a los cloruros a los 28 días de curado con un porcentaje de sustitución de ceniza volante de 0%, 10%, 20%, 30% y 40%.

Nomenclatura de mezcla	% de ceniza volante	Permeabilidad al cloruro (Coulomb)
FA0	0.00	2321.0
FA10	10.00	1844.0
FA20	20.00	1412.0
FA30	30.00	1100.0
FA40	40.00	905.0

Fuente: Elaboración propia

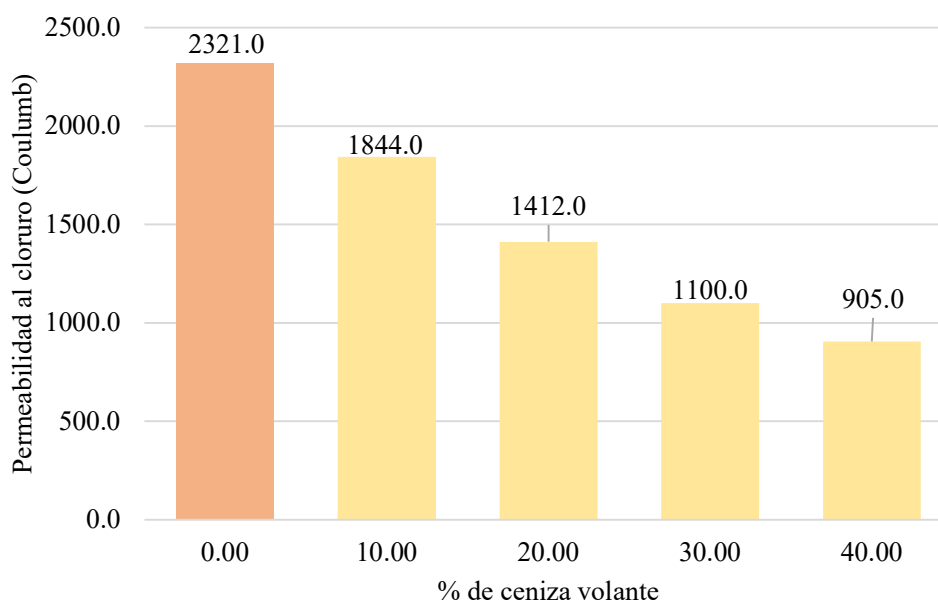


Figura 16: Medida de Coulomb vs Porcentaje de sustitución.

Fuente: Elaboración propia

Rendón et al. (2019).

- Tipo de ceniza volante: La ceniza volante usada es del tipo F, producidas normalmente a partir de la combustión de antracitas y de carbones bituminosos, etc.
- Contenido de Mezcla: Las materias primas utilizadas en esta investigación fueron activadas por AF mediante la adición de productos químicos del polvo y la molienda en un molino de bolas, piedra caliza y agua del grifo. Como se ve, el 90% de las partículas de CPC y cenizas volantes activadas (AFA) tienen

un tamaño inferior a 20  $\mu\text{m}$ , mientras que el FA tiene un tamaño de partícula mayor cuando se recibe por primera vez.

- Método de prueba: Se evaluó la permeabilidad mediante la prueba de permeabilidad rápida al cloruro según la norma ASTM C1202-10
- Resultado de Ensayo experimental:

Tabla 10: Ensayo de Permeabilidad a los cloruros a los 28 días de curado con un porcentaje de sustitución de ceniza volante de 0%, 30%, 50%, 65% y 75%.

Nomenclatura de mezcla	% de ceniza volante	Permeabilidad al cloruro (Coulomb)
M1	0.0	2751.0
M2	30.0	600.0
M3	50.0	400.0
M4	65.0	358.0
M5	75.0	435.0

Fuente: Elaboración propia.

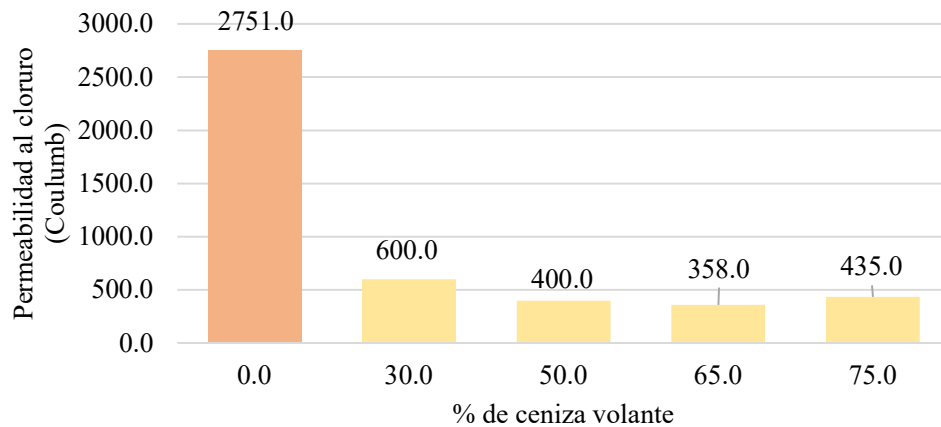


Figura 17: Medida de Coulomb vs Porcentaje de sustitución.

Fuente: Elaboración propia.

Rendón et al. (2019).

- Tipo de ceniza volante: La ceniza volante usada es del tipo F, producidas normalmente a partir de la combustión de antracitas y de carbones bituminosos, etc.

- **Contenido de Mezcla:** Las mezclas de concreto se fabricaron de acuerdo con el procedimiento estipulado en la norma NMX-C-159, hidratadas con agua potable del suministro municipal y curadas conforme a la norma NMX-C-148. Se obtuvieron tres mezclas denominadas: MA', MB' y MC' con porcentajes de sustitución de ceniza volante activada del 0, 50 y 65% respecto al peso de cemento. De cada mezcla se obtuvieron 57 especímenes cilíndricos con dimensiones de 10 cm de diámetro por 20 cm de longitud. Posterior al período de curado (28 días)
- **Método de prueba:** Se evaluó la permeabilidad mediante la prueba de permeabilidad rápida al cloruro según la norma ASTM C1202
- **Resultado de Ensayo experimental:**

Tabla 11: Ensayo de Permeabilidad a los cloruros a los 28 días de curado con un porcentaje de sustitución de ceniza volante de 0%, 50% y 65%.

Nomenclatura de mezcla	% de ceniza volante	Permeabilidad al cloruro (Coulomb)
MA	0.00	2750.0
MB	50.00	315.0
MC	65.00	283.0

Fuente: Elaboración propia.

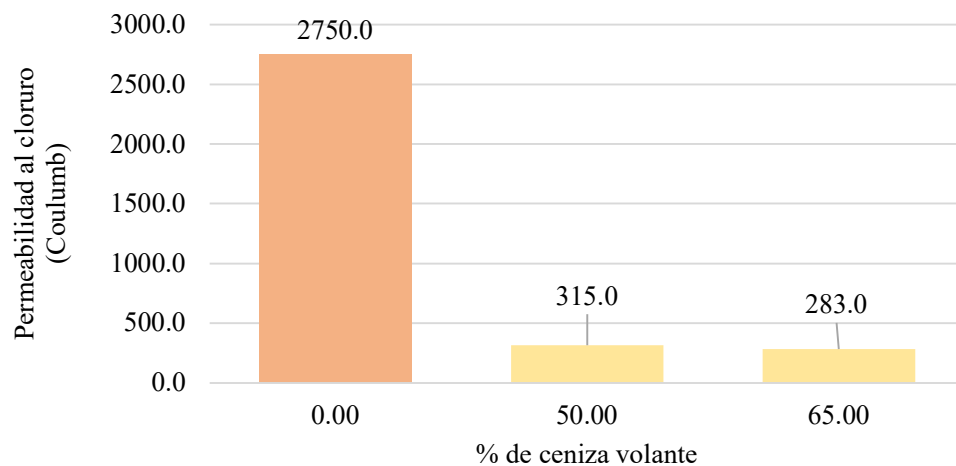


Figura 18: Medida de Coulomb vs Porcentaje de sustitución.

Fuente: Elaboración propia.

Wang et al. (2018).

- Tipo de ceniza volante: La ceniza volante usada es del tipo F, producidas normalmente a partir de la combustión de antracitas y de carbones bituminosos, etc.
- Contenido de Mezcla: El cemento Portland ordinario Tipo I 42,5. Las cenizas volantes de clase II fabricadas de acuerdo con el estándar chino GB / T18736 fueron respaldadas por la planta de energía de Yangluo. El reductor de agua con ácido policarboxílico (PCE) con una concentración de sólidos del 20% en peso fue producido por Sobute New Materials Co., Ltd. de la provincia de Jiangsu de China. Los tamaños medios de partículas de los materiales de origen se probaron mediante LPAS (analizador de tamaño de partículas por láser). El agregado fino utilizado fue arena de río natural con un módulo de finura de 2.9. El agregado grueso fue grava lavada de 5 a 25 mm con clasificación continua.
- Método de prueba: Se evaluó la permeabilidad mediante la prueba de permeabilidad rápida al cloruro según la norma ASTM C1202
- Resultado de Ensayo experimental:

Tabla 12: Ensayo de Permeabilidad a los cloruros a los 28 días de curado con un porcentaje de sustitución de ceniza volante de 0%, 10%, 20% y 30%.

Nomenclatura de mezcla	% de ceniza volante	Permeabilidad al cloruro (Coulomb)
C0	0.0%	1020
CF10	10.0%	1140
CF20	20.0%	700
CF30	30.0%	450

Fuente: Elaboración propia

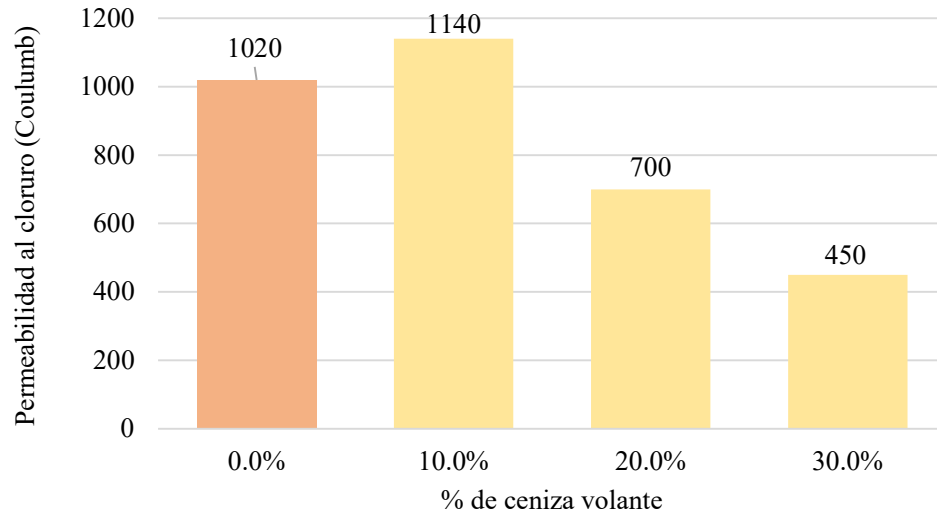


Figura 19: Medida de Coulomb vs Porcentaje de sustitución.

Fuente: Elaboración propia

Analizando el porcentaje de ceniza volante como sustituto del cemento para mejorar la trabajabilidad del concreto.

Juárez et al. (2017).

- Tipo de ceniza volante: La ceniza volante usada es del tipo F, producidas normalmente a partir de la combustión de antracitas y de carbones bituminosos, etc.
- Contenido de Mezcla: Los materiales utilizados para esta investigación para la elaboración de la mezcla fueron: Cemento Portland CPC 30R, ceniza volante clase F, los agregados empleados en la elaboración de la mezcla son grava con tamaño máximo nominal de 10mm, agregado fino de tamaño máximo nominal de 4.75 mm. Una relación  $a/c$  de 0.6 y 0.7.
- Método de prueba: Se evaluó la trabajabilidad de la mezcla mediante la prueba de revenimiento (ensayo de cono de Abrams), para medir el asentamiento de la mezcla.
- Resultado de Ensayo experimental:

Tabla 13: Asentamiento de mezclas para porcentajes de sustitución de 0%, 20%, 40% y 60%, para relaciones a/c de 0.6 y 0.7

Nomenclatura de la mezcla	Relación a/c	relación a/c=0.6	relación a/c=0.7
	% de sustitución	Asentamiento (pulgadas)	Asentamiento (pulgadas)
CV 1	0.0%	3.54	9.25
CV 2	20.0%	4.13	9.65
CV 3	40.0%	4.53	10.04
CV 4	60.0%	5.12	10.43

Fuente: Elaboración propia

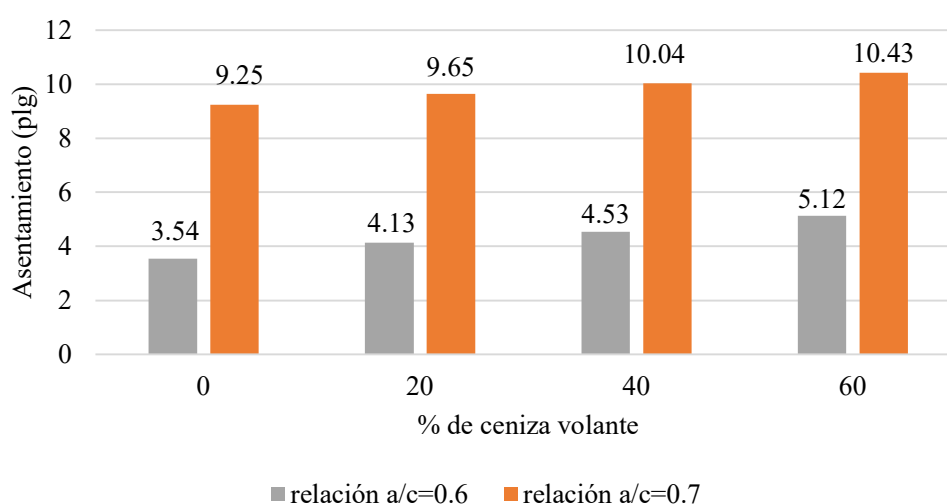


Figura 20: Asentamiento de mezclas para porcentajes de sustitución de 0%, 20%, 40% y 60%, para relaciones a/c de 0.6 y 0.7.

Fuente: Elaboración propia.

Sun et al. (2018).

- Tipo de ceniza volante: La ceniza volante usada es del tipo F.
- Contenido de Mezcla: Los materiales utilizados para esta investigación para la elaboración de la mezcla fueron: Cemento Portland tipo I/II, ceniza volante clase F, el agregado fino tiene tamaño máximo nominal de 4.75mm, una gravedad específica de 2.62 g/cm<sup>3</sup> y un porcentaje de absorción de 0.12%. El agregado grueso o grava presenta un tamaño máximo de 19mm, una gravedad específica de 2.79 g/cm<sup>3</sup>, y un porcentaje de absorción de 0.39, se utilizó una relación a/c de 0.45 para la mezcla.

- Método de prueba: Se evaluó la trabajabilidad de la mezcla de acuerdo con la norma ASTM C143/143M, para medir el asentamiento de la mezcla.
- Resultado de Ensayo experimental:

Tabla 14: Asentamiento de la mezcla de concreto con porcentajes de sustitución de cemento por cenizas volantes de 0%, 40%, 55% y 70% según ASTM C143/143M.

Nomenclatura de la mezcla	% de ceniza volante	Asentamiento (pulgadas)
CONTROL	0	2.0
PC60FA40	40	5.8
PC45FA55	55	8.5
PC30FA70	70	12.0

Fuente: Elaboración Propia

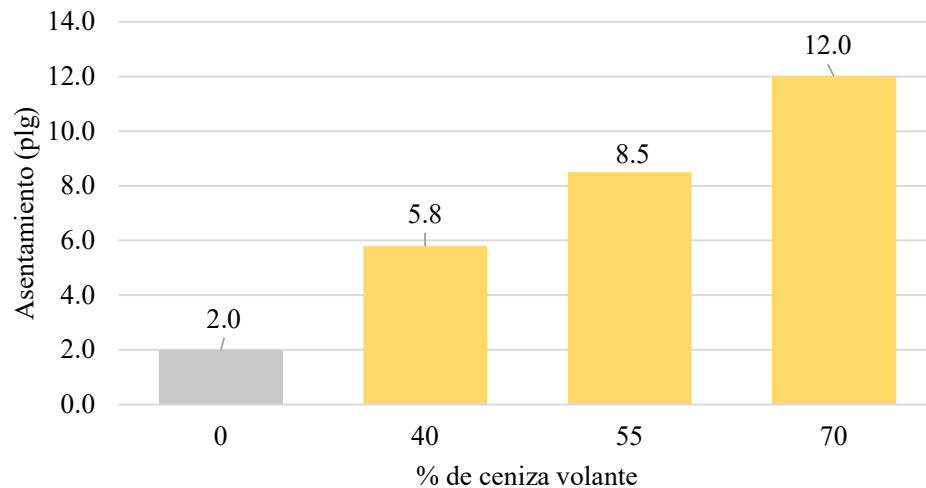


Figura 21: Asentamiento de la mezcla de concreto con porcentajes de sustitución de cemento por cenizas volantes de 0%, 40%, 55% y 70% según ASTM C143/143M

Fuente: Elaboración propia

Ghazali et al. (2021).

- Tipo de ceniza volante: La ceniza volante usada es del tipo F de acuerdo con ASTM C618.
- Contenido de Mezcla: Los materiales utilizados para esta investigación para la elaboración de la mezcla fueron: Cemento Portland Ordinario (OPC),

ceniza volante clase F, el agregado fino o arena, aditivo reductor de agua de alto rango y Clinker de aceite de palma, se utilizó una relación a/c de 0.45 para la mezcla.

- Método de prueba: La mezcla se sometió a una prueba de asentamiento siguiendo el procedimiento de BS EN 12350 – 2 para determinar la trabajabilidad de la mezcla.
- Resultado de Ensayo experimental:

Tabla 15 : Resultados de asentamiento para diferentes sustituciones de ceniza volante en la mezcla.

Nomenclatura de la mezcla	% de ceniza volante	Asentamiento (pulgadas)
FA0	0	2.5
FA10	10	3.0
FA20	20	3.5
FA30	30	3.9
FA40	40	4.1

Fuente: Elaboración propia.

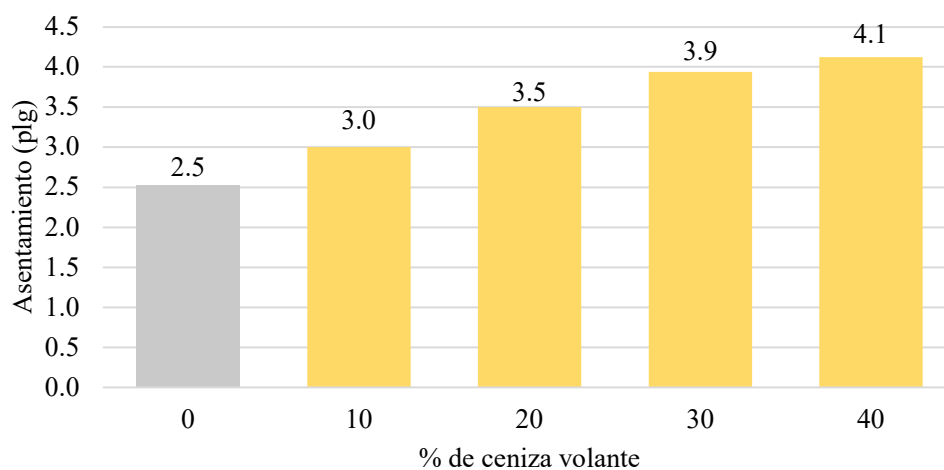


Figura 22: Resultados del asentamiento de la mezcla de mortero con una sustitución de cemento por ceniza volante de 0%, 10%, 20%, 30% y 40%.

Fuente: Elaboración propia



Castañeda y Salcedo (2020)

- Tipo de ceniza volante: La ceniza volante usada es del tipo F.
- Contenido de Mezcla: Los materiales utilizados para esta investigación para la elaboración de la mezcla fueron: Cemento Portland Ordinario (OPC), ceniza volante clase F, las características de los agregados son los siguientes, el agregado fino tiene un peso unitario suelto de  $1644 \text{ kg/m}^3$ , un peso específico de  $2640 \text{ kg/m}^3$ , un módulo de fineza de 2.32, un porcentaje de absorción de 1.4 y un porcentaje de humedad del 0.7%. Mientras que el agregado grueso tiene un peso unitario suelto de  $1438 \text{ kg/m}^3$ , un peso específico de  $2700 \text{ kg/m}^3$  un módulo de fineza de 6.6, un TMN de  $\frac{3}{4}$ ", un porcentaje de absorción de 0.9% y un porcentaje de humedad e 0.5%, se utilizó una relación a/c de 0.55 para la mezcla, para un diseño de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ .
- Método de prueba: La prueba para medir el asentamiento de la mezcla fue el cono de Abrams, según la NTP 339.035:2009
- Resultado de Ensayo experimental:

Tabla 16: Resultados del asentamiento de la mezcla de mortero con una sustitución de cemento por ceniza volante de 0%, 7%, 12%, 17% y 22%.

Nomenclatura de la mezcla	% de sustitución de ceniza volante	Asentamiento (plg)
CC	0.0	4.7
CV-7%	7.0	4.3
CV-12%	12.0	3.5
CV-17%	17.0	2.6
CV-22%	22.0	1.6

Fuente: Elaboración propia.

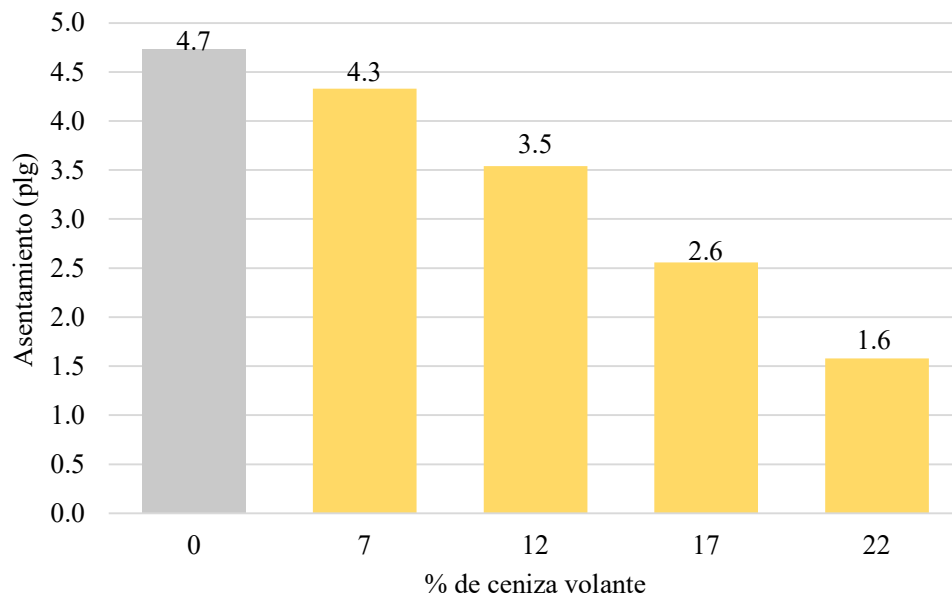


Figura 23: Resultados del asentamiento de la mezcla de mortero con una sustitución de cemento por ceniza volante de 0%, 7%, 12%, 17% y 22%.

Fuente: Elaboración propia.

Chinh et al. (2019).

- Tipo de ceniza volante: La ceniza volante usada es del tipo F.
- Contenido de Mezcla: Los materiales utilizados para esta investigación para la elaboración de la mezcla fueron: Cemento Portland Ordinario (OPC), ceniza volante clase F, el agregado fino fue arena natural, el agregado grueso fue piedra caliza triturada con un TMN de 20mm.
- Método de prueba: Para medir el asentamiento de la mezcla se utilizó el ensayo de cono de Abrams para mezclas con sustitución porcentual de cemento por cenizas volantes de 0%, 10%, 20% y 40%. Con relaciones agua cemento de 0.42, 0.5 y 0.55 para cada mezcla.
- Resultado de Ensayo experimental:

Tabla 17: Resultados del asentamiento de la mezcla de mortero con una sustitución de cemento por ceniza volante de 0%, 10%, 20% y 40%.

Nomenclatura de la mezcla	Relación a/c	% de sustitución de ceniza volante	Asentamiento (plg)
M1	0.42	0.0	1.2
M2	0.42	10.0	1.4
M3	0.42	20.0	1.4
M4	0.42	40.0	2.2
M5	0.5	0.0	2.8
M6	0.5	10.0	4.4
M7	0.5	20.0	7.6
M8	0.5	40.0	8
M9	0.55	0.0	4
M10	0.55	10.0	8
M11	0.55	20.0	10
M12	0.55	40.0	11.6

Fuente: Elaboración propia.

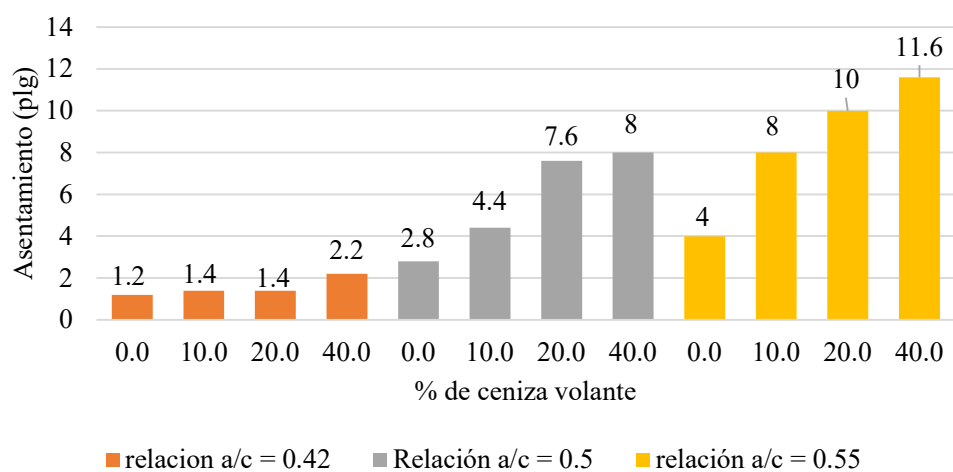


Figura 24: Resultados del asentamiento de la mezcla de mortero con una sustitución de cemento por ceniza volante de 0%, 10%, 20% y 40%, para relaciones a/c de 0.42, 0.5 y 0.55.

Fuente: Elaboración propia.

Analizando el porcentaje de ceniza volante como sustituto del cemento para mejorar la resistencia a la flexión del concreto.

Ghazali et al. (2021).

- Tipo de ceniza volante: La ceniza volante usada es del tipo F.
- Contenido de Mezcla: Entre los materiales utilizados para la preparación de las muestras en esta investigación se encuentra la arena, el cemento portland, agua del grifo, cenizas volantes, el aditivo reductor de agua de alto rango. Se utilizaron 5 tipos de mezclas de hormigón con agregado ligero de Clinker de aceite de palma, se preparó una de control y el resto de las mezclas se preparó integrando diversos porcentajes de cenizas volantes.
- Método de prueba: El ensayo que se va a emplear es de la rotura de una viga de concreto con aplicación de fuerza a los tercios de luz de él espécimen. La máquina de ensayo debe cumplir con lo establecido en la norma NTP 339.078 y ASTM C78 (Resistencia a flexión de vigas de concreto – carga a los tercios) y las normas elaboración y curado de especímenes.
- Resultado de Ensayo experimental:

Tabla 18: Resultados del asentamiento de la mezcla de mortero con una sustitución de cemento por ceniza volante de 0%, 10%, 20%, 30% y 40%.

Nomenclatura de la mezcla	% de ceniza volante	Resistencia a la flexión a los 28 días (kg/cm <sup>2</sup> )
FA0	0.0	35
FA10	10.0	56
FA20	20.0	43
FA30	30.0	41
FA40	40.0	42

Fuente: Elaboración propia.

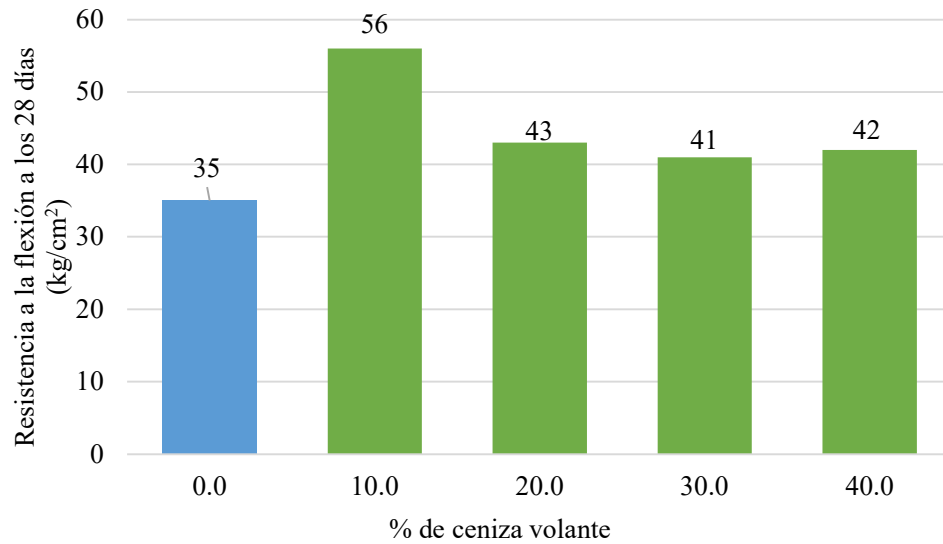


Figura 25: Resultados del asentamiento de la mezcla de mortero con una sustitución de cemento por ceniza volante de 0%, 10%, 20%, 30% y 40%.

Fuente: Elaboración propia.

Kara et al. (2020).

- Tipo de ceniza volante: La ceniza volante usada es del tipo F.
- Contenido de Mezcla: Se utilizaron dos tipos de cemento: cemento Portland CEM I 52.5 R HES (CEMI) y cemento de escoria de alto horno CEM III / A 42.5 N LA (CEMIII) con una densidad de 2985 kg / m<sup>3</sup> y 2991 kg / m<sup>3</sup>, respectivamente. Se utilizaron dos tipos de cenizas volantes Clase F: cenizas volantes separadas (FA1) con tamaño de partícula <9.3 micrómetro cenizas volantes ultrafinos (FA2) <4,6 micrómetro. FA2 es una sub-fracción de FA1 y se obtuvo mediante un prototipo de DPS de 0,2 toneladas.
- Método de prueba: El ensayo que se va a emplear es de la rotura de una viga de concreto con aplicación de fuerza a los tercios de luz de él espécimen. La máquina de ensayo debe cumplir con lo establecido en la norma NTP 339.078 y ASTM C78 (Resistencia a flexión de vigas de concreto – carga a los tercios) y las normas elaboración y curado de especímenes.
- Resultado de Ensayo experimental:

Tabla 19: Resultados del ensayo resistencia a la flexión a 28 días con una sustitución de cemento por ceniza volante de 0%, 15%, 25%, 35% y 50%.

Nomenclatura de la mezcla	% de ceniza volante	Resistencia a la flexión a los 28 días (kg/cm <sup>2</sup> )
CEM I - REF	0.0	104
CEM I - FA I - 15	15.0	97
CEM I - FA I - 25	25.0	92
CEM I - FA I - 35	35.0	87
CEM I - FA I - 50	50.0	80

Fuente: Elaboración propia.

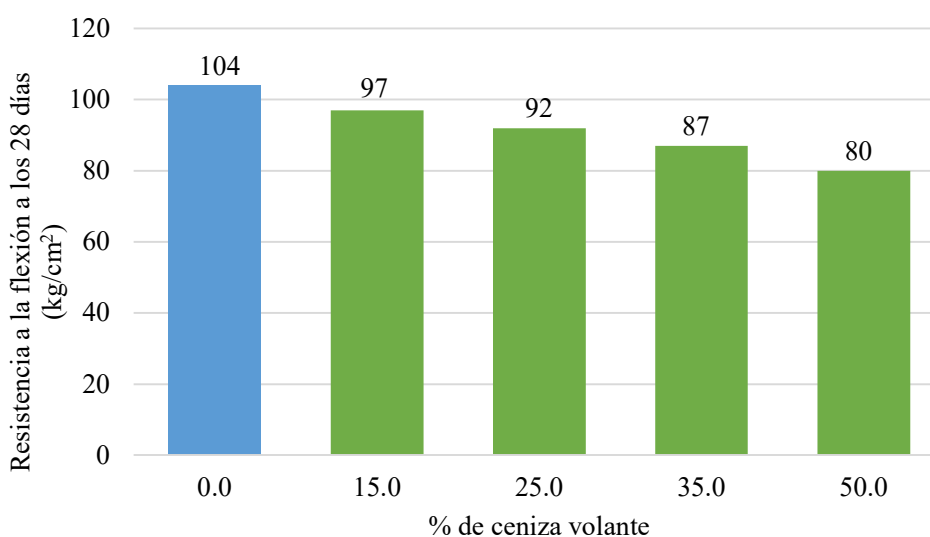


Figura 26: Resultados del ensayo resistencia a la flexión a 28 días con una sustitución de cemento por ceniza volante de 0%, 15%, 25%, 35% y 50%.

Fuente: Elaboración propia.

Yapuchura (2019).

- Tipo de ceniza volante: La ceniza volante usada es del tipo F.
- Contenido de Mezcla: Como insumos primordiales en este estudio se está utilizando el cemento portland, agregado grueso y fino, agua y ceniza volante.
- Método de prueba: El ensayo que se va a emplear es de la rotura de una viga simple cargada en los tercios de la luz, el ensayo se realizó mediante la norma ASTM C78 (resistencia a flexión de vigas de concreto – carga a los tercios)

- Resultado de Ensayo experimental:

Tabla 20: Resultados del ensayo resistencia a la flexión a 28 días con una sustitución de cemento por ceniza volante de 0%, 2.5%, 5%, 10% y 15%.

Nomenclatura de la mezcla	% de ceniza volante	Resistencia a la flexión a los 28 días (kg/cm <sup>2</sup> )
P-0	0.0	38
P-2.5	2.5	40
P-5	5.0	41
P-10	10.0	36
P-15	15.0	31

Fuente: Elaboración propia.

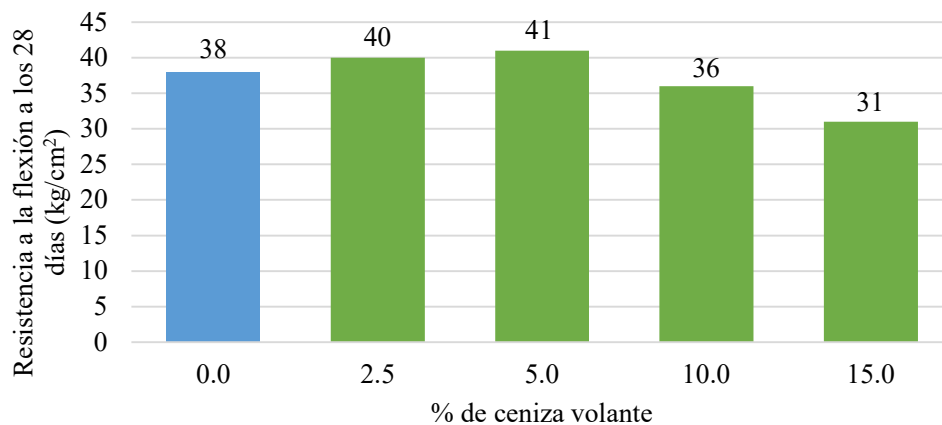


Figura 27: Resultados del ensayo resistencia a la flexión a 28 días con una sustitución de cemento por ceniza volante de 0%, 2.5%, 5%, 10% y 15%.

Fuente: Elaboración propia.

Jun y Gengying (2016).

- Tipo de ceniza volante: La ceniza volante usada es del tipo F.
- Contenido de Mezcla: En los experimentos se utilizó cemento Portland ordinario. Las cenizas volantes se utilizaron como reemplazo parcial de cemento Portland. La superficie específica de cemento y cenizas volantes fue de 462 kg/m<sup>2</sup> y 565 kg/m<sup>2</sup>, respectivamente. El agregado grueso fue piedra triturada con un tamaño máximo de 20 mm y el agregado fino fue arena natural con un tamaño máximo de 5mm.

- Método de prueba: El ensayo que se va a emplear es de la rotura de una viga de concreto con aplicación de fuerza a los tercios de luz de él espécimen. La máquina de ensayo debe cumplir con lo establecido en la norma NTP 339.078 y ASTM C78 (Resistencia a flexión de vigas de concreto – carga a los tercios) y las normas elaboración y curado de especímenes.
- Resultado de Ensayo experimental:

Tabla 21: Resultados del ensayo resistencia a la flexión a 28 días con una sustitución de cemento por ceniza volante de 0%, 20%, 40% y 60%.

Nomenclatura de la mezcla	% de ceniza volante	Resistencia a la flexión a los 28 días (kg/cm <sup>2</sup> )
SCC-0	0.0	32.0
SCC-20	20.0	29.0
SCC-40	40.0	25.0
SCC-60	60.0	19.0

Fuente: Elaboración propia.

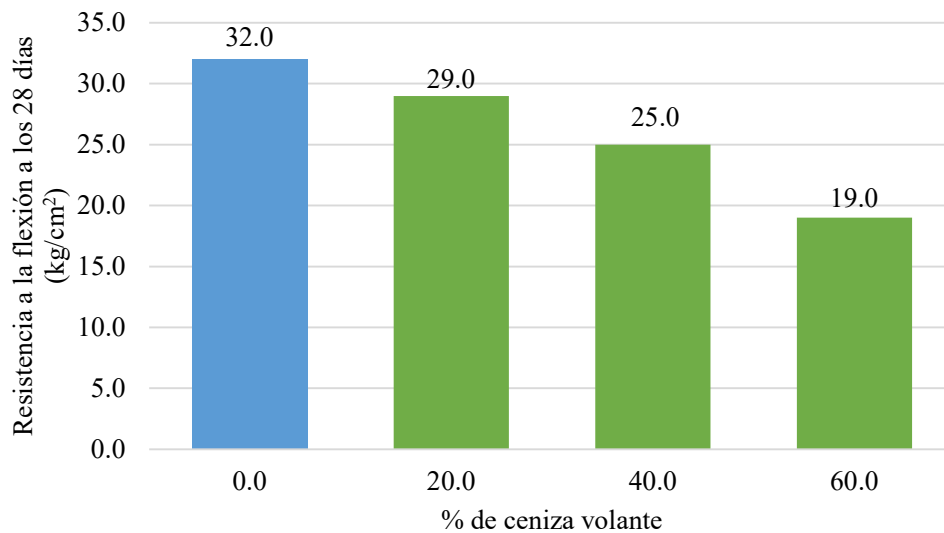


Figura 28: Resultados del ensayo resistencia a la flexión a 28 días con una sustitución de cemento por ceniza volante de 0%, 20%, 40% y 60%.

Fuente: Elaboración propia.



Tangle (2019).

- Tipo de ceniza volante: La ceniza volante usada es del tipo F.
- Contenido de Mezcla: En esta investigación se utilizó cemento portland tipo IP, agregado fino de las canteras de Cunyac y Pisac y una relación a/c de 0.51.
- Método de prueba: El ensayo que se va a emplear es el de ensayos a flexión para moldes prismáticos de 4x4x16cm de lado según la NTP-334.120,2016.
- Resultado de Ensayo experimental:

Tabla 22: Resultados del ensayo resistencia a la flexión a 28 días con una sustitución de cemento por ceniza volante de 0%, 5%, 10% y 15%.

Nomenclatura de la mezcla	% de ceniza volante	Resistencia a la flexión a los 28 días (kg/cm <sup>2</sup> )
DP	0.0%	52.0
DCV5%	5.0%	50.0
DCV10%	10.0%	45.0
DCV15%	15.0%	50.0

Fuente: Elaboración propia

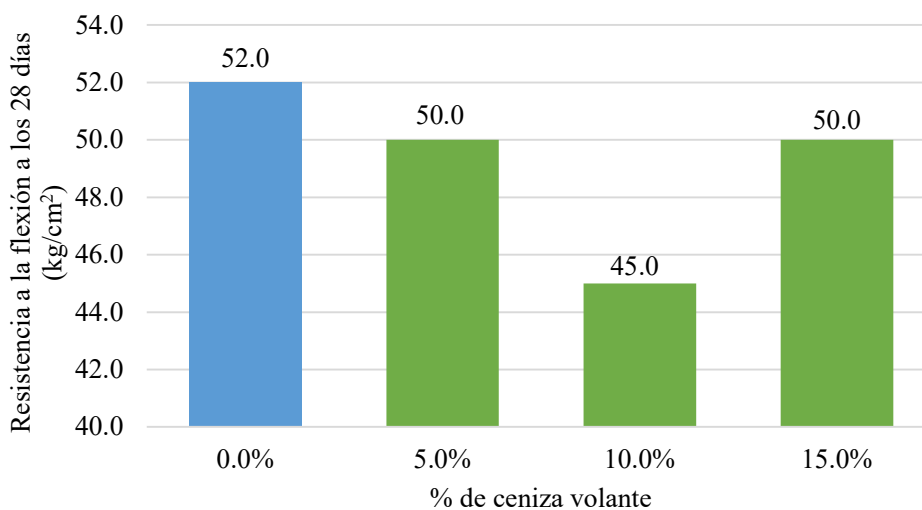


Figura 29: Resultados del ensayo resistencia a la flexión a 28 días con una sustitución de cemento por ceniza volante de 0%, 5%, 10% y 15%.

Fuente: Elaboración propia

## 5.2 Análisis e interpretación de los resultados

Analizando los resultados del porcentaje de ceniza volante como sustituto del cemento para aumentar la resistencia a la compresión del concreto.

Huaquisto y Belizario (2018).

En dicho artículo, se observa que los resultados de la resistencia a la compresión a los 28 días de curado para mezclas de concreto con sustitución porcentual de ceniza volante de 0%, 2.5%, 5%, 10% y 15% , que para adiciones de cenizas volantes de 2,5% y 5%, la resistencia a la compresión aumenta en un 2.3% y 6% respectivamente con respecto a la mezcla patrón, mientras que para adiciones de 10% y 15% la resistencia a la compresión disminuye en 8.26% y 11.93% respectivamente con respecto a la mezcla patrón. Esto nos lleva a deducir que el porcentaje óptimo para la sustitución de cemento por ceniza volante estaría entre 2.5% a 5% y que si la sustitución excede el 5% la resistencia a la compresión disminuye gradualmente.

Imrose et al. (2018).

En este artículo se observan los resultados de las resistencias a la compresión para 28 días de curado de concreto con sustitución porcentual de ceniza volante de 0%, 5%, 15%, 25% y 35% para mezclas con una relación a/c de 0.4, que la resistencia a la compresión para mezclas con sustitución de 5% de cemento por ceniza volante sería 8.93% mayor que la muestra control, para porcentaje de sustitución de 15% de cemento por ceniza volante sería 20.91% mayor a la resistencia de la muestra de control, para el porcentaje de sustitución de 25% de cemento por ceniza volante sería de 6.54% mayor al de la muestra control, en cambio para sustitución del 35% de cemento por ceniza volante, nos da que la resistencia a la compresión es 3.3% menor que la muestra control, lo que nos lleva a deducir que la óptima sustitución de cemento por ceniza volante sería de 15%, ya que nos da la resistencia a la compresión más elevada, y que a partir de la sustitución de aproximadamente 30% la resistencia a la compresión disminuye con respecto a la muestra control.

Yapuchura (2019).

En esta investigación se observan resultados de las resistencias a la compresión de concretos con sustitución porcentual de cemento por ceniza volante de 0%, 2,5%, 5%, 10% y 15%, para una relación a/c de 0.56 para un tiempo de curado de 28 días. Los resultados obtenidos fueron, para la sustitución del 2.5% de cemento por ceniza volante se tiene una resistencia 6.3% mayor que la de la muestra base, para una sustitución del 5% se tiene un 12.2% mayor a la muestra base, para una sustitución del 10% se tiene una resistencia 3.6% mayor que la de la muestra base, mientras que para una sustitución del 15% se tiene una resistencia a la compresión 12.6% menor al de la muestra base. Por lo que se deduce que el porcentaje óptimo de sustitución porcentual de cemento por ceniza volante es del 5%, mientras que para sustituciones de 15% o más, la resistencia a la compresión se ve afectada.

Mariluz y Ulloa (2018).

En esta investigación se tienen los resultados de los ensayos correspondientes para calcular la resistencia a la compresión del concreto a los 28 días de curado, para concreto con sustituciones porcentuales de cemento por ceniza volante del 0%, 7%, 12%, 17% y 22%, con una mezcla cuya relación a/c es 0.55 de manera constante en todas sus mezclas. Los resultados obtenidos para la sustitución porcentual de cemento por ceniza volante al 7% son el 28.8% mayores que la resistencia a la compresión tomada en la muestra base, para sustitución de 12% se tiene una resistencia a la compresión 23% mayor que al de la base, para concreto con sustitución del 17% se tiene una resistencia a la compresión 16% mayor que el de la muestra base, y para la sustitución del 22% es un 2.33% mayor a la resistencia a la compresión de la mezcla base. Por lo que se deduce que la sustitución porcentual de cemento por ceniza volante con un porcentaje entre un rango de 7% a 22% son beneficiosos para mejorar la resistencia a la compresión, también se observa que, a mayor adición de cemento por ceniza volante de concreto, la resistencia a la compresión se ve disminuida, según los datos obtenidos en esta investigación.

Nagrokiene y Daugela (2018).

En esta investigación se tiene los resultados correspondientes a los ensayos de resistencia a la compresión de concreto con sustituciones porcentuales de cemento por ceniza volante de 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% y 30 %, para una relación a/c de 0.52 constante en todas las mezclas. Los resultados obtenidos fueron los

siguientes, Para una sustitución de cemento por ceniza volante en la mezcla de 5%, 10%, 15%, 20% y 25% se obtienen mezclas cuya resistencia a la compresión es 32.7%, 7.2%, 4.83%, 4.82% y 2.7% respectivamente mayor que la resistencia a la compresión de la mezcla base, mientras que para la sustitución de cemento por ceniza volante equivalente al 30% se tiene una resistencia a la compresión 27.1% menor que el obtenido en la mezcla patrón o mezcla base. De acuerdo a estos resultados se puede deducir que el porcentaje óptimo de sustitución porcentual de cemento por ceniza volante es de 5% ya que nos ofrece la resistencia a la compresión a los 28 días de curado con mayor valor, mientras que para sustituciones mayores al 25%, se tiene que la resistencia a la compresión disminuye gradualmente conforme se le va a adicionando más cenizas volantes a la mezcla como sustituto porcentual del cemento.

Analizando los resultados del porcentaje de ceniza volante como sustituto del cemento para reducir la permeabilidad del concreto.

Silva et al. (2018).

En esta investigación se tienen los resultados correspondientes al ensayo de permeabilidad rápida a los cloruros a los 28 días de curado según la norma ASTM C1202 para concretos con sustituciones porcentuales de cemento por ceniza volante de 0%, 35% y 50%, con una relación a/c de 0.36 para la mezcla patrón, 0.38 para la mezcla con 35% de sustitución porcentual de cemento por ceniza volante y 0.39 para la mezcla con un porcentaje de sustitución de 50%. Los resultados obtenidos fueron, para la mezcla patrón, se tiene una permeabilidad al ion cloruro de 3425 Coulomb, para un porcentaje de sustitución de 35%, se tiene un valor de 989 Coulomb para la permeabilidad del ion cloruro, mientras que para una sustitución de 50% el valor de la permeabilidad rápida al ion cloruro sería 715 Coulomb. Esto nos lleva a deducir que, a mayor porcentaje de sustitución, la permeabilidad disminuye, lo que hace a la mezcla, un objeto impermeable.

Kumer (2018).

En esta investigación se tienen los resultados correspondientes al ensayo de permeabilidad rápida a los cloruros a los 28 días de curado según la norma ASTM C1202 para concretos con sustituciones porcentuales de cemento por ceniza volante de 0%, 10%, 20%, 30% y 40%, con una relación a/c constante de 0.35. Los resultados obtenidos fueron, para la mezcla patrón, se tiene una permeabilidad al

ion cloruro de 2321 Coulomb, para un porcentaje de sustitución de 10% se tiene un valor de 1844 Coulomb para la permeabilidad del ion cloruro, para un porcentaje de 20% se tiene un valor de 1412 C, para una sustitución de 30% el valor de la permeabilidad rápida al ion cloruro sería 1100 Coulomb, mientras que para una sustitución porcentual del 40% se tiene un valor de permeabilidad de 905 Coulomb. Esto nos lleva a deducir que, a mayor porcentaje de sustitución, la permeabilidad disminuye lo que hace a la mezcla un objeto impermeable.

Rendón et al. (2019).

En esta investigación se realizó el estudio de mezclas, cuya sustitución porcentual de cemento por ceniza volante es 0%, 30%, 50%, 65% y 75%, con una relación a/c de 0.35, el ensayo para medir la permeabilidad fue la prueba de permeabilidad rápida al cloruro, según la norma ASTM C1202-10, el ensayo fue hecho en un tiempo de curado de 28 días, Los resultados obtenidos fueron, para la mezcla de control o mezcla base (0% de sustitución) se tiene una permeabilidad a los cloruros de 2751 C, mientras que para la mezcla que tiene porcentaje de sustitución de 30%, 50%, 65% y 75%, se tiene 600 C, 400C, 358 C y 435 C respectivamente, mediante estos resultados se puede deducir claramente que las mezclas que contienen cenizas volantes disminuyen su permeabilidad considerablemente, esto quiere decir que hace el concreto más impermeable para tiempos de curado de 28 días.

Rendón et al. (2019).

En esta investigación se estudia la permeabilidad rápida al ion cloruro para mezclas con tiempo de curado de 28 días según la norma ASTM C1202, los porcentajes de sustitución estudiados fueron de 0%, 50% y 65%, para una mezcla con relación a/c de 0.35, los resultados obtenidos fueron, para la mezcla patrón se tuvo una permeabilidad a los cloruros de 2750 C, para un porcentaje de sustitución de cemento por ceniza volante de 50% la permeabilidad a los cloruros disminuyó a 315 C y para el 65% de sustitución de cemento por ceniza volante se obtuvo 283C de resistencia a cloruros.

Wang et al. (2018).

Esta investigación se enfocó en la permeabilidad mediante la prueba de permeabilidad rápida al cloruro según la norma ASTM C1202, las muestras ensayadas fueron con porcentajes de sustitución de cemento por ceniza volante de

0%, 10%, 20% y 30%, con una relación a/c de 0.35, los ensayos fueron tomados después de un tiempo de curado de 28 días, los resultados obtenidos para la muestra patrón o muestra de control fue de 1020 C, para el 10% de sustitución de cemento por ceniza volante se tuvo una permeabilidad a los cloruros de 1140 C, para el 20% de sustitución se tuvo como dato 700 C y para una mezcla con 30% de sustitución porcentual se tuvo una permeabilidad a los cloruros de 450 C, de acuerdo a estos resultados se puede deducir que la mezcla con 10% de sustitución porcentual de cemento por ceniza volante, la permeabilidad a los cloruros aumenta, mientras que para las mezclas de 20% y 30% de sustitución, la permeabilidad a los cloruros disminuye, haciendo a la mezcla más impermeable.

Analizando los resultados del porcentaje de ceniza volante como sustituto del cemento para mejorar la trabajabilidad del concreto.

Juárez et al. (2017).

En esta investigación se estudia la trabajabilidad del concreto por medio del ensayo de cono de Abrams, para medir el asentamiento de la mezcla, las mezclas analizadas fueron de 4 características diferentes y de 2 diferentes relaciones a/c, de acuerdo a su porcentaje de sustitución de cemento por ceniza volante, las cuales son del 0%, 20%, 40% y 60%, con una relación a/c de 0.6 y 0.7, teniendo como resultados para las mezclas con relación a/c de 0.6 los asentamientos de 3.54” para la mezcla base con sustitución porcentual de 0%, 4” para la mezcla con sustitución porcentual de 20%, 4.5” para la mezcla con sustitución porcentual de 40% y 5” para la mezcla con sustitución porcentual de 60%. Mientras que para las mezclas con relación a/c de 0.7 los asentamientos de 9.25” para la mezcla base con sustitución porcentual de 0%, 9.65” para la mezcla con sustitución porcentual de 20%, 10.04” para la mezcla con sustitución porcentual de 40% y 10.43” para la mezcla con sustitución porcentual de 60%. De acuerdo con los resultados obtenidos se puede apreciar que a mayor sustitución de cemento por ceniza volante mayor es el asentamiento, por ende, es más trabajable el concreto con ceniza volante como sustituto porcentual del cemento en la mezcla.

Sun et al. (2018).

Esta investigación evaluó la trabajabilidad de la mezcla de acuerdo con la norma ASTM C143/143M, para medir el asentamiento de la mezcla, las mezclas de

concreto evaluadas son 4, que se diferencian entre si en el porcentaje de sustitución de cemento por ceniza volante, los porcentajes de sustitución estudiados fueron de 0%, 40%, 55% y 70%, con una relación a/c común en todas las mezclas de 0.45. Los ensayos dieron como resultado un asentamiento de 2” para la mezcla control, 6” para la mezcla con 40% de sustitución de cemento por ceniza volante, 9” para la mezcla con 55% de sustitución de cemento por ceniza volante y 12” para la mezcla con 70% de sustitución de cemento por ceniza volante. De acuerdo con los resultados obtenidos se puede deducir que, a mayor sustitución de cemento por ceniza volante, mayor es su asentamiento y por ende su trabajabilidad también aumenta.

Ghazali et al. (2021).

Esta investigación evaluó la trabajabilidad de la mezcla de acuerdo con la norma ASTM C618, para medir el asentamiento de la mezcla, las mezclas de concreto evaluadas son 5, que se diferencian entre sí en el porcentaje de sustitución de cemento por ceniza volante, los porcentajes de sustitución estudiados fueron de 0%, 10%, 20%, 30% y 40%, con una relación a/c común en todas las mezclas de 0.45. Los ensayos dieron como resultado un asentamiento de 3” para la mezcla control, 3” para la mezcla con 10% de sustitución de cemento por ceniza volante, 4” para la mezcla con 20% de sustitución de cemento por ceniza volante, 4” para la mezcla con 30% de sustitución de cemento por ceniza volante y 4” para la mezcla con 40% de sustitución de cemento por ceniza volante. De acuerdo con los resultados obtenidos se puede deducir que, a mayor sustitución de cemento por ceniza volante, mayor es su asentamiento y por ende su trabajabilidad también aumenta.

Castañeda y Salcedo (2020).

Esta investigación evaluó la trabajabilidad de la mezcla mediante el ensayo de cono de Abrams de acuerdo con la NTP 339.035:2009, para medir el asentamiento de la mezcla, las mezclas de concreto evaluadas son 5, que se diferencian entre si en el porcentaje de sustitución de cemento por ceniza volante, los porcentajes de sustitución estudiados fueron de 0%, 7%, 12%, 17% y 22%, con una relación a/c común en todas las mezclas de 0.55. Los ensayos dieron como resultado un asentamiento de 4.7” para la mezcla control, 4.3” para la mezcla con 7% de sustitución de cemento por ceniza volante, 3.5” para la mezcla con 12% de

sustitución de cemento por ceniza volante, 2.6” para la mezcla con 17% de sustitución de cemento por ceniza volante y 16” para la mezcla con 22% de sustitución de cemento por ceniza volante. De acuerdo con los resultados obtenidos se puede apreciar que a mayor sustitución de cemento por ceniza volante menor es el asentamiento, por ende, es menos trabajable el concreto con ceniza volante como sustituto porcentual del cemento en la mezcla.

Chinh et al. (2019).

Esta investigación evaluó la trabajabilidad de la mezcla mediante el ensayo de cono de Abrams, para medir el asentamiento para mezclas con sustitución porcentual de cemento por cenizas volantes de 0%, 10%, 20% y 40%, con relaciones a/c de 0.42, 0.5 y 0.55 para cada mezcla. Los ensayos dieron como resultado para la relación a/c de 0.42 un asentamiento de 1.2” para mezclas con 0% de sustitución porcentual de cemento por ceniza volante, 1.4” para mezclas con 10% de sustitución porcentual, 1.4” para mezclas con 20% de sustitución porcentual, 2.2” para mezclas con 40% de sustitución porcentual. Para relación a/c de 0.5 un asentamiento de 2.8” para mezclas con 0% de sustitución porcentual de cemento por ceniza volante, 4.4” para mezclas con 10% de sustitución porcentual, 7.6” para mezclas con 20% de sustitución porcentual, 8” para mezclas con 40% de sustitución porcentual. Para relación a/c de 0.55 un asentamiento de 4” para mezclas con 0% de sustitución porcentual de cemento por ceniza volante, 8” para mezclas con 10% de sustitución porcentual, 10” para mezclas con 20% de sustitución porcentual, 11.6” para mezclas con 40% de sustitución porcentual. De acuerdo con los resultados obtenidos, se puede apreciar que, a mayor sustitución porcentual, el asentamiento es mayor y por lo cual la trabajabilidad mejora, también se pudo observar que a mayor relación a/c el concreto tiene un mayor asentamiento.

Analizando los resultados del porcentaje de ceniza volante como sustituto del cemento para mejorar la resistencia a la flexión del concreto.

Ghazali et al. (2021).

Esta investigación evaluó la resistencia a la flexión a los 28 días de curado, el ensayo que se empleó es el de la rotura de una viga de concreto con aplicación de fuerza a los tercios de luz del espécimen, procedimiento descrito en la norma ASTM C78, se realizó el ensayo en mezclas con sustitución porcentual de cemento por cenizas volantes de 0%, 10%, 20%, 30% y 40%, con una relación a/c constante de



0.45. Los ensayos dieron como resultado una resistencia a la flexión de 35 kg/cm<sup>2</sup> para la mezcla patrón sin sustitución de cemento por ceniza volante, 56 kg/cm<sup>2</sup> para la mezcla con 10% de sustitución de cemento por ceniza volante, 43 kg/cm<sup>2</sup> para la mezcla de 20% de sustitución, 41 kg/cm<sup>2</sup> para la mezcla con 30% de sustitución y 42 kg/cm<sup>2</sup> para la mezcla con 40% de sustitución de cemento con ceniza volante.

Kara et al. (2020).

Esta investigación evaluó la resistencia a la flexión a los 28 días de curado, el ensayo que se empleó es el de la rotura de una viga de concreto procedimiento descrito en la norma ASTM C78, se realizó el ensayo en mezclas con sustitución porcentual de cemento por cenizas volantes de 0%, 15%, 25%, 35% y 50%, con una relación a/c constante de 0.45. Los ensayos dieron como resultado una resistencia a la flexión de 104 kg/cm<sup>2</sup> para la mezcla patrón sin sustitución de cemento por ceniza volante, 97 kg/cm<sup>2</sup> para la mezcla con 15% de sustitución de cemento por ceniza volante, 92 kg/cm<sup>2</sup> para la mezcla de 25% de sustitución, 87 kg/cm<sup>2</sup> para la mezcla con 35% de sustitución y 80 kg/cm<sup>2</sup> para la mezcla con 50% de sustitución de cemento con ceniza volante. De acuerdo con los resultados obtenidos, se puede apreciar que a mayor sustitución porcentual de cemento por ceniza volante la resistencia a la flexión se ve afectada.

Yapuchura (2019).

Esta investigación evaluó la resistencia a la flexión a los 28 días de curado, el ensayo que se empleó es el de la rotura de una viga de concreto procedimiento descrito en la norma ASTM C78, se realizó el ensayo en mezclas con sustitución porcentual de cemento por cenizas volantes de 0%, 2.5%, 5%, 10% y 15%, con una relación a/c constante de 0.56. Los ensayos dieron como resultado una resistencia a la flexión de 38 kg/cm<sup>2</sup> para la mezcla patrón sin sustitución de cemento por ceniza volante, 40 kg/cm<sup>2</sup> para la mezcla con 2.5% de sustitución de cemento por ceniza volante, 41 kg/cm<sup>2</sup> para la mezcla de 5% de sustitución, 36 kg/cm<sup>2</sup> para la mezcla con 10% de sustitución y 31 kg/cm<sup>2</sup> para la mezcla con 15% de sustitución de cemento con ceniza volante. De acuerdo con los resultados obtenidos, se puede apreciar para sustituciones porcentuales de cemento por ceniza volante que mejoran la resistencia a la flexión están en un rango de 2.5% y 5%, en cambio para sustituciones mayores como la del 10% se observa que la resistencia a la flexión disminuye.

Jun y Gengying (2016).

Esta investigación evaluó la resistencia a la flexión a los 7 y 28 días de curado, el ensayo que se empleó es el de la rotura de una viga de concreto procedimiento descrito en la norma China GB/ T 50081 - 2002, se realizó el ensayo en mezclas con sustitución porcentual de cemento por cenizas volantes de 0%, 20%, 40% y 60%, con una relación a/c constante de 0.36. Los ensayos dieron como resultado una resistencia a la flexión de 32 kg/cm<sup>2</sup> para la mezcla patrón sin sustitución de cemento por ceniza volante, 29 kg/cm<sup>2</sup> para la mezcla con 20% de sustitución de cemento por ceniza volante, 25 kg/cm<sup>2</sup> para la mezcla de 40% de sustitución y 19 kg/cm<sup>2</sup> para la mezcla con 60% de sustitución. De acuerdo con los resultados obtenidos, se puede apreciar mediante los resultados que la resistencia a la flexión disminuye con el aumento del contenido de cenizas volantes.

Tangle (2019).

Esta investigación evaluó la resistencia a la flexión a los 7, 14 y 28 días de curado, el ensayo que se empleó fue el análisis de la resistencia a flexión de viguetas de mortero, se consideró los parámetros de la NTP-334.120, 2016. Se realizó el ensayo en mezclas con sustitución porcentual de cemento por cenizas volantes de 0%, 5%, 10% y 15%, con una relación a/c constante de 0.51. Los ensayos dieron como resultado una resistencia a la flexión de 52 kg/cm<sup>2</sup> para la mezcla patrón sin sustitución de cemento por ceniza volante, 50 kg/cm<sup>2</sup> para la mezcla con 5% de sustitución de cemento por ceniza volante, 44 kg/cm<sup>2</sup> para la mezcla de 10% de sustitución y 50 kg/cm<sup>2</sup> para la mezcla con 15% de sustitución. De acuerdo con los resultados obtenidos, se puede apreciar que al sustituir el cemento con ceniza volante en porcentajes de 5%, 10% y 15% se obtuvo una resistencia a la compresión por debajo del mortero patrón.

### 5.3 Contrastación de hipótesis

5.3.1 Al determinar el óptimo porcentaje de ceniza volante como sustituto del cemento se mejora la resistencia a la compresión del concreto.

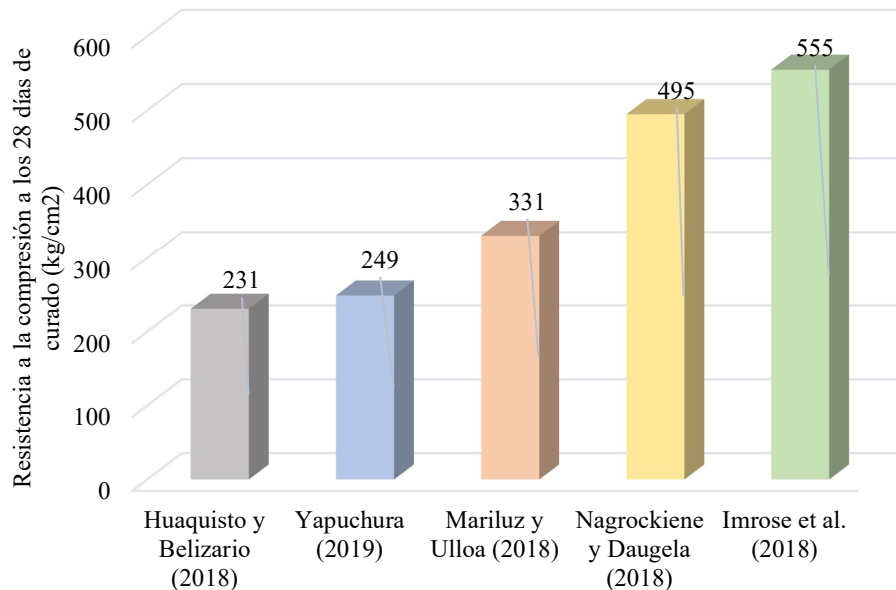


Figura 30 : Resultado de la resistencia a la compresión del concreto con óptimos porcentajes de ceniza volante en reemplazo del cemento vs Autores.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la figura 30, según Huaquisto y Belizario (2018), se tiene que la sustitución de cemento por ceniza volante en la mezcla mejora la resistencia a la compresión del concreto a los 28 días de curado, siendo la sustitución óptima la del 5%, que nos da un resultado de 231 kg/cm<sup>2</sup> el cual es 6% mayor con respecto a la muestra patrón con una relación a/c constante de 0.56. Para Imrose et al. (2018), Se observa que la resistencia a la compresión también aumenta con la sustitución de cemento por ceniza volante y que la sustitución optima es de 15% porque su resistencia a la compresión a los 28 días de curado es 555 kg/cm<sup>2</sup> que es 20.91% mayor que la muestra de control con una relación a/c constante de 0.4. Para Yapuchura (2019), para una relación a/c de 0.56 se observa que la resistencia a la compresión también aumenta con la sustitución de cemento por ceniza volante y que la sustitución optima es de 5% porque su resistencia a la compresión a los 28 días de curado es 249 kg/cm<sup>2</sup> que es 12.2% mayor que la muestra de control. Para Mariluz, y Ulloa (2018), con una relación a/c 0.55 se observa que la resistencia a la compresión también aumenta con la sustitución de

cemento por ceniza volante y que la sustitución óptima es de 7% porque su resistencia a la compresión a los 28 días de curado es 316 kg/cm<sup>2</sup> que es 12.2% mayor que la muestra de control. Para Nagrockiene y Daugela (2018), con una relación a/c de 0.52 se observa que la sustitución óptima de cemento por ceniza volante de carbón es la de 5% ya que nos ofrece la resistencia a la compresión a los 28 días de curado con mayor valor que es 495 kg/cm<sup>2</sup>, siendo esta 32.7% mayor con respecto a la muestra base.

Para todos los casos la resistencia a la compresión aumenta ya que se obtiene una mezcla patrón y las mezclas con ceniza volante como sustituto del cemento son mayores a esta, sin embargo, en la mayoría se concuerda que la sustitución porcentual mayor al 20% no mejora la resistencia a la compresión del concreto, por el contrario, le afecta.

- Hipótesis Auxiliar

H0: Al analizar el porcentaje de ceniza volante como sustituto del cemento en la mezcla no mejora la resistencia a la compresión del concreto.

H1: Al analizar el porcentaje de ceniza volante como sustituto del cemento en la mezcla si mejora la resistencia a la compresión del concreto.

Se rechaza la hipótesis nula H0 y se acepta la hipótesis alterna H1 puesto que en todos los casos el uso de ceniza volante como sustituto porcentual de cemento en la mezcla mejora su resistencia a la compresión.

5.3.2 Al determinar el óptimo porcentaje de ceniza volante como sustituto del cemento se reducirá la permeabilidad del concreto.

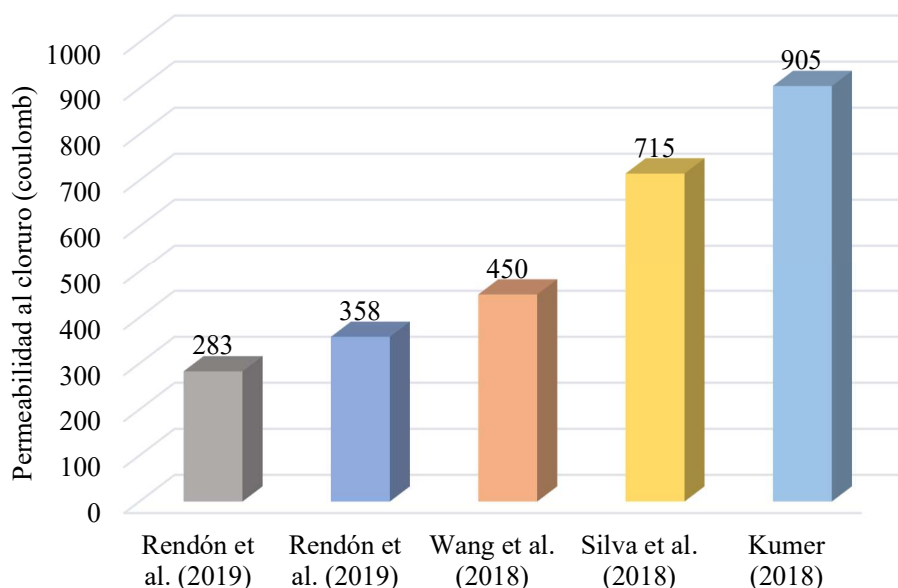


Figura 31: Resultado de la permeabilidad rápida al cloruro del concreto con óptimos porcentajes de ceniza volante en reemplazo del cemento vs Autores.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la Figura 31, y según Silva et al. (2018), se observa que los resultados de los ensayos que, a mayor porcentaje de reemplazo de cemento por ceniza volante, menor es la permeabilidad a los cloruros, siendo la sustitución óptima la del 50% cuyo valor es 715 coulomb para la prueba de penetración al cloruro, con una relación a/c de 0.38. Para Kumer (2018), se logra observar claramente que, a mayor porcentaje de reemplazo de cemento por ceniza volante en la mezcla, la permeabilidad es cada vez menor, siendo la sustitución óptima la del 40%, cuya carga es de 905 coulomb para la prueba de penetración al cloruro. Según Rendón, et al. (2019), se observa que, para mayores sustituciones de cemento por ceniza volante de carbón, la permeabilidad al cloruro es mucho menor, siendo la sustitución óptima la del 65% cuya carga es 358 coulomb. Según Rendón et al. (2019), con una relación a/c de 0.35 se observa que, a mayores sustituciones de cemento por ceniza volante de carbón, la permeabilidad se reduce en la mezcla, siendo la sustitución óptima la del 65%, cuya carga es 283 coulomb. Según Wang et al. (2018), con una relación a/c de 0,35 se observa que para sustituciones de 10% de cemento por ceniza volante, la permeabilidad aumenta, pero para sustituciones

de 20% y 30% la permeabilidad a los cloruros disminuye, lo que hace a la mezcla más impermeable, siendo la sustitución óptima la del 30%, cuya carga es 450 coulomb.

En todas las investigaciones tomadas para este específico se llega a la misma conclusión, que la permeabilidad rápida a los cloruros disminuye, ya que en todas las investigaciones se tiene una mezcla patrón y diferentes mezclas con sustituciones de cemento por ceniza volante de carbón, y los resultados nos indican que, a mayor porcentaje de reemplazo de cemento por ceniza volante, menor es la permeabilidad a los cloruros.

- Hipótesis Auxiliar

H0: Al analizar el porcentaje de ceniza volante como sustituto del cemento en la mezcla no reduce la permeabilidad del concreto.

H1: Al analizar el porcentaje de ceniza volante como sustituto del cemento en la mezcla reduce la permeabilidad del concreto.

Se rechaza la hipótesis nula H0 y se acepta la hipótesis alterna H1 puesto que en todos los casos el uso de ceniza volante como sustituto porcentual de cemento en la mezcla reduce la permeabilidad del concreto.

5.3.3 Al determinar el óptimo porcentaje de ceniza volante como sustituto del cemento se mejorará la trabajabilidad del concreto.

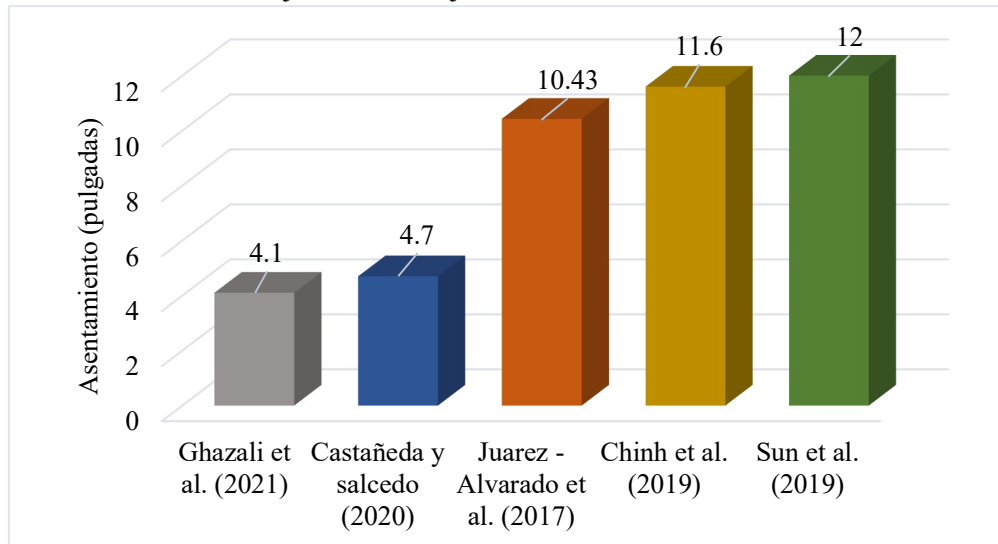


Figura 32: Resultado de asentamiento del concreto fresco con óptimos porcentajes de ceniza volante en reemplazo del cemento vs Autores.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la Figura 32, y según Juarez et al. (2017), con una relación a/c de 0.7 se observa que los resultados de los ensayos que, a mayor porcentaje de reemplazo de cemento por ceniza volante, mayor es la trabajabilidad del concreto, siendo la sustitución óptima la del 60%, cuyo asentamiento es de 10.43 pulgadas. Para Sun et al. (2018), con una relación a/c de 0.45 se logra observar claramente que, a mayor porcentaje de reemplazo de cemento por ceniza volante en la mezcla, la trabajabilidad es cada vez mayor, siendo la sustitución óptima la del 70%, cuyo asentamiento es 12 pulgadas. Según Ghazali et al. (2021), con una relación a/c de 0.45 se observa que, para mayores sustituciones de cemento por ceniza volante de carbón, la trabajabilidad es mayor, siendo la sustitución óptima la del 40%, cuyo asentamiento es 4.1 pulgadas. Según Castañeda y Salcedo (2020), se observa que, a mayores sustituciones de cemento por ceniza volante de carbón, la trabajabilidad se reduce en la mezcla. Según Chinh et al. (2019), con una relación a/c de 0,42, 0.5 y 0.55 se observa que, a mayor sustitución de cemento por ceniza volante, la trabajabilidad es mayor, siendo la sustitución óptima la del 40%, cuyo asentamiento es 11.6 pulgadas.

En la mayoría de las investigaciones tomadas para este específico se llega a la misma conclusión, que la trabajabilidad aumenta, ya que en la mayoría de las

investigaciones se tiene una mezcla patrón y diferentes mezclas con sustituciones de cemento por ceniza volante de carbón, y los resultados nos indican que, a mayor porcentaje de reemplazo de cemento por ceniza volante, mayor es la trabajabilidad de la mezcla.

- Hipótesis Auxiliar

H0: Al analizar el porcentaje de ceniza volante como sustituto del cemento en la mezcla no mejora la trabajabilidad del concreto.

H1: Al analizar el porcentaje de ceniza volante como sustituto del cemento en la mezcla mejora la trabajabilidad del concreto.

Se rechaza la hipótesis nula H0 y se acepta la hipótesis alterna H1 puesto que en la mayoría de los casos el uso de ceniza volante como sustituto porcentual de cemento en la mezcla mejora la trabajabilidad del concreto.

5.3.4 Al determinar el óptimo porcentaje de ceniza volante como sustituto del cemento se mejora la resistencia a la flexión del concreto.

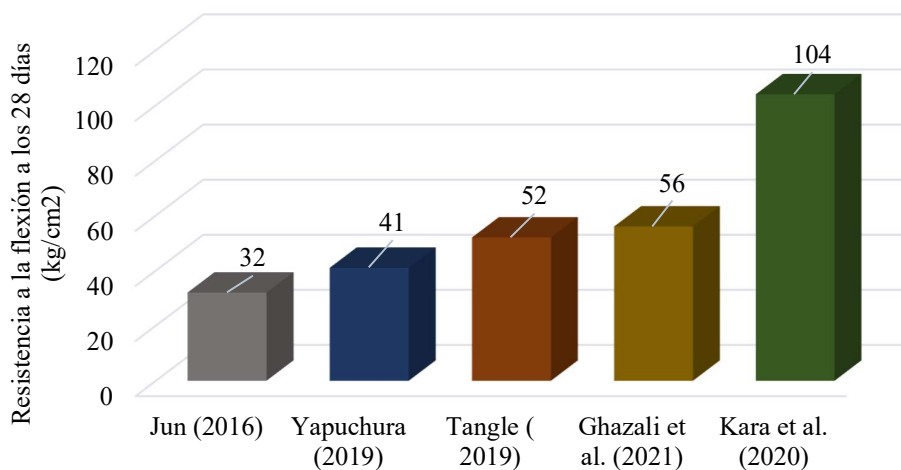


Figura 33: Resultado de la resistencia a la flexión del concreto fresco con óptimos porcentajes de ceniza volante en reemplazo del cemento vs Autores.

Fuente: Elaboración propia.

Se puede apreciar en la figura 33, y según Ghazali et al. (2021), se observa que la sustitución de cemento por ceniza volante en la mezcla mejora la resistencia a la flexión a los 28 días de curado, la sustitución optima es la de 10%, cuyo valor es de 42 kg/cm<sup>2</sup> y es mayor a la muestra patrón. Para Kara et al. (2020), se observa que



la resistencia a la flexión disminuye con respecto a la mezcla patrón. Para Yapuchura (2019), para una relación a/c de 0.56 se observa que la sustitución óptima de cemento por ceniza volante de carbón es la de 5% debido a que mejora su resistencia a la flexión a los 28 días de curado, siendo su valor 41 kg/cm<sup>2</sup>, para sustituciones mayores de cemento por ceniza volante, la resistencia a la flexión es menor a la mezcla patrón. Para Jun et al. (2016), se observa que la sustitución óptima de cemento por ceniza volante de carbón disminuye la resistencia a la flexión del concreto. Para Tangle (2019), se observa que la sustitución óptima de cemento por ceniza volante de carbón no mejora la resistencia a la flexión del concreto.

Para la mayoría de los casos estudiados, la resistencia a la flexión disminuye ya que se obtiene una mezcla patrón y las mezclas con ceniza volante como sustituto del cemento son con un porcentaje de sustitución elevado, la sustitución óptima para este específico es 5%.

- Hipótesis Auxiliar

H0: Al analizar el porcentaje de ceniza volante como sustituto del cemento en la mezcla no mejora la resistencia a la flexión del concreto.

H1: Al analizar el porcentaje de ceniza volante como sustituto del cemento en la mezcla si mejora la resistencia a la flexión del concreto.

Se rechaza la hipótesis nula H0 y se acepta la hipótesis alterna H1 puesto que para el porcentaje de sustitución óptima de cemento por ceniza volante la resistencia a la flexión mejora con respecto a la mezcla patrón.

## DISCUSIÓN

En esta investigación hubo una gran variedad de resultados debido a que los agregados y el cemento que componen la mezcla de concreto utilizados por estos fueron de diferentes características, así como también la composición de la ceniza volante.

Los resultados de la resistencia a la compresión de las investigaciones relacionadas a este específico, se determinó que los porcentajes de ceniza volante como sustituto del cemento en la mezcla de concreto que benefician a esta van en el rango de 2.5% a 17% obteniendo valores de resistencia a la compresión de entre 2.3% y 28.8% mayores al concreto de referencia que no contiene ceniza volante, siendo el porcentaje óptimo en la mayoría de los casos la sustitución del 5% de ceniza volante.

Los resultados de la permeabilidad en los ensayos de permeabilidad rápida al cloruro en las investigaciones relacionadas a este específico, indican que a medida que aumenta el porcentaje de ceniza volante en sustitución del cemento en la mezcla de concreto, la carga aplicada en unidad de medida Coulomb se reduce, tomando como ejemplo a Kumer (2018) cuyo concreto patrón tuvo una carga aplicada de 2321C y las mezclas con adición de concreto de 10%, 20%, 30% y 40% cuyas cargas para el ensayo de permeabilidad rápida al cloruro fueron de 1844, 1412, 1100 y 905 respectivamente, siendo estas menores en 21%, 39%, 53% y 61% con respecto a la mezcla patrón.

Los resultados de la trabajabilidad de las investigaciones relacionadas a este específico, realizado mediante el ensayo de asentamiento o Slump, que reportan en su mayoría una mejor trabajabilidad de la mezcla de concreto con sustitución de cemento por ceniza volante, tomando como ejemplo a Ghazali et al. (2021) cuyo concreto patrón tuvo un slump de 2.5 plg y las mezclas con adición de concreto de 10%, 20%, 30% y 40% cuyos slump fueron de 3 pulgadas, 3.5 pulgadas, 3.9 pulgadas y 4.1 pulgadas respectivamente.

Los resultados de la resistencia a la flexión del concreto de las investigaciones relacionadas a este específico planteado en la tesis, realizado mediante el ensayo de rotura de una viga de concreto con aplicación de fuerza a los tercios de luz del espécimen, se determinó que los porcentajes de ceniza volante como sustituto del cemento en la mezcla de concreto que benefician a esta, van en el rango de 2.5% a 10%. Obteniendo valores de resistencia a la flexión entre 5% y 60% respectivamente, mayores a la muestra de referencia, la cual no tiene contenido de ceniza volante.

## CONCLUSIONES

1. Para esta investigación, se concluye que la ceniza volante como sustituto porcentual del cemento en la mezcla, mejora la resistencia a la compresión y disminuye la permeabilidad del concreto para porcentajes óptimos de reemplazo, para la resistencia a la compresión se tiene como porcentaje óptimo de reemplazo el 7% el cual tuvo una resistencia del 28.8% mayor a la resistencia de la muestra base. Mientras que para la permeabilidad se sostiene que, a mayor porcentaje de reemplazo, menor es la permeabilidad del concreto.
2. Para el ensayo de la resistencia a la compresión a los 28 días de curado, se determina en los resultados obtenidos, que la resistencia a la compresión aumenta para dosis que van en un rango de 2.5% a 20% de sustitución de ceniza volante de carbón con el cemento en la mezcla.
3. La permeabilidad del concreto con sustitución de ceniza volante de carbón por el cemento en la mezcla disminuye, debido a que al ser la ceniza volante un material más fino que el cemento, disminuye los vacíos de la mezcla y dificulta el paso del agua por esta.
4. Para la trabajabilidad del concreto fresco, se concluye en esta investigación que a mayor porcentaje de sustitución de ceniza volante por cemento en la mezcla mejor es la trabajabilidad del concreto en su estado fresco.
5. Para la resistencia a la flexión, se concluye en esta investigación que la ceniza volante como sustituto porcentual del cemento en la mezcla, aumenta la resistencia a la flexión del concreto para porcentajes óptimos de sustitución de ceniza volante de carbón por cemento en la mezcla, el cual es del 5% de sustitución, para sustituciones mayores a 10% se observa que la resistencia a la flexión se ve afectada.

## RECOMENDACIONES

1. Usar la ceniza volante como sustituto del cemento en la mezcla de concreto para poder evaluar la resistencia a la compresión del concreto agregando dosificaciones en un rango de 5% a 15% con intervalos menores para así poder encontrar más exacto el porcentaje óptimo de ceniza volante.
2. Para la permeabilidad, se debería estudiar ensayos de absorción y de succión capilar y penetración de agua para muestra de concreto que oscilen entre 5% y 25% para tener una base más sólida para este específico.
3. Para mejorar la trabajabilidad o manejabilidad de la mezcla de concreto se recomienda usar una relación a/c alta o súper-plastificantes para tener una mezcla uniforme y que su uso sirva para las obras civiles.
4. Sobrepasar la dosis de 10% de sustitución porcentual del cemento por ceniza volante genera una disminución de la resistencia a la flexión del concreto, por lo que es de vital importancia realizar ensayos con mezclas, cuya sustitución porcentual oscile entre 2,5% y 15% y con pequeños intervalos para encontrar la dosis óptima para la resistencia a la flexión.
5. Realizar un análisis comparativo de costos entre mezclas de concreto con sustitución porcentual de ceniza volante por cemento en la mezcla y las mezclas convencionales utilizadas comúnmente, para ver cuál es el impacto económico que generaría el uso de la ceniza volante en las diferentes obras civiles.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Angulo, V. (2020). *Influencia de la adición al 2%, 3%, y 5% de ceniza volante en las propiedades* Angulo, V. (2020). *Influencia de la adición al 2%, 3%, y 5% de ceniza volante en las propiedades físico-mecánicas del mortero de cemento en Cajamarca, 2019. Universidad Privada del Norte, Lima-Peru.* Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/25359>
- Asad, M., Ali, B., Ali, L., Usman, H., Hussain, I., Masood, B., & Safdar, S. (2020). *Effect of sulfate activator on mechanical and durability properties of concrete incorporating low calcium fly ash. Case Studies in Construction Materials.* Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214509520300796?via%3Dihub>
- Balcázar, A., & Castillo, L. (2014). *Uso de cenizas volantes provenientes de calderos de lecho fluidizado en concretos autocompactantes y su influencia en la resistencia a la compresión. Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú.*
- Cano, E. (2017). *Ceniza volante de carbón mineral para adición en mezclas de concreto. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.* Obtenido de <https://huajsapata.unap.edu.pe/index.php/ria/article/view/48>
- Cardenas, J., Lizarazo, J., & Aperador, W. (2016). *Mechanical performance of cementitious binary systems (Portland cement - fly ash - blast furnace slag). Rev. LatinAm.* Obtenido de [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0255-69522016000200009](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0255-69522016000200009)
- Castañeda, M., & Salcedo, F. (2020). *Influencia del porcentaje de ceniza volante como sustituto parcial del cemento portland tipo I sobre la resistencia a compresión, trabajabilidad y costo del concreto, Trujillo 2020. Universidad Privada del Norte, Trujillo, Perú.* Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/26495>
- CEDEX. (2011). *Cenizas volantes de carbón y cenizas de hogar o escorias. Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente, España.*
- Chinh, V. N., Lambert, P., & Tran, Q. H. (s.f.). *Effect of vietnamese fly ash on selected physical properties, durability and probability of corrosion of steel in concrete. Materials.* Obtenido de doi:<http://dx.doi.org/10.3390/ma12040593>

- Choudhary, R., Gupta, R., Nagar, R., & Jain, A. (2020). *Sorptivity characteristics of high strength self-consolidating concrete produced by marble waste powder, fly ash, and micro silica*. *Materials*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785320303692?via%3Dihub>
- Chuquihuaraca, C., & Crisostomo, J. (2020). *Sustitución de cemento por ceniza volante y su efecto en la permeabilidad del concreto 280 kg/cm<sup>2</sup> para estructuras hidráulicas, Lima - 2020*. Universidad César Vallejo, Lima, Perú. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/57335>
- Contreras, K., & Peña, J. (2017). *Análisis de la resistencia a la compresión y permeabilidad en el concreto adicionando dosificaciones de cenizas volantes de carbón en la mezcla*. Universidad Privada del Norte, Trujillo, Perú. Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/10778>
- Espada, M., & Morales, L. (2020). *Influencia de la adición de la ceniza volante de carbón en las propiedades del concreto, en muros portuarios, Lima, sector balneario de Ancon, 2018*. Universidad Privada del Norte, Lima, Perú. Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/23949>
- Esquinas, A., Álvarez, J., Jiménez, J., & Fernández, J. (2018). *Durability of self-compacting concrete made from non-conforming fly ash from coal-fired power plants*. *Construction and building materials*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061818322335?via%3Dihub>
- Esquinas, A., Ledesma, E., Otero, R., Jiménez, J., & Fernández, J. (2018). *Mechanical behaviour of self-compacting concrete made with non-conforming fly ash from coal-fired power plants*. *Construction and building materials*. Obtenido de [https://www.uco.es/politecnica-belmez/images/documentos/tesis/Portada\\_Trabajo4\\_Alvaro\\_Romero\\_Esqinas.pdf](https://www.uco.es/politecnica-belmez/images/documentos/tesis/Portada_Trabajo4_Alvaro_Romero_Esqinas.pdf)
- Ghazali, N., Muthusamy, K., Embong, R., Rahim, I., Muhamad, N., Yahaya, F., . . . Wan, S. (2021). *Effect of fly ash as partial cement replacement on workability and compressive strength of palm oil clinker lightweight concrete*. *IOP Conference Series. Earth and Environmental Science*. Obtenido de <https://www.proquest.com/docview/2512986877>

- Gopalakrishnan, R., Sounthararajan, V., Mohan, A., & Tholkapiyan, M. (2020). *The strength and durability of fly ash and quarry dust light weight foam concrete. Materials Today: Proceedings*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785319340039?via%3Dihub>
- Huaquisto, S. (2015). *Effect of fly ash concrete strength under natural weather. Revista Científica " Investigación Andina "*. Obtenido de <https://revistas.uancv.edu.pe/index.php/RCIA/article/view/95>
- Huaquisto, S., & Belizario, G. (2018). *Use of the flying ash in the dosing of the concrete as a substitute for the cement. Revista de Investigaciones Altoandinas*.
- Imrose, B., Sheikh, S., Zaman, F., & Ullah, M. (2018). *Effects of multiple supplementary cementitious materials on workability and strength of lightweight aggregate concrete. Jordan Journal of Civil Engineering*. Obtenido de <https://www.proquest.com/docview/1993159879?pq-origsite=gscholar&fromopenview=true>
- Juarez, A. C., González, J., Mendoza, J., & Zaldivar, A. (2017). *Low impact fiber reinforced material composite. Revista ALCONPAT*. Obtenido de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-68352017000200135&lang=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-68352017000200135&lang=es)
- Jun, C., & Gengying, L. (2016). *Mechanical properties and drying shrinkage of self-compacting concrete containing fly ash. Romanian journal of materials*. Obtenido de <https://solacolu.chim.upb.ro/p480-484.pdf>
- Kapustin, F., & Vishnevsky, A. (s.f.). *The use of fly ash in the production of concrete and products based on it. Solid State Phenomena*. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.309.8>
- Kara, P., Craeye, B., Snellings, R., Kazemi-Kamyab, H., Loots, M., Janssens, K., & Nuyts, G. (2020). *Effect of ultra-fine fly ash on concrete performance and durability. Construction and building materials*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061820324983>
- Kumer, A. (2018). *Effect of class F fly ash on the durability properties of concrete. Sustainable Environment Research*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468203917301334?via%3Dihub>

- Lamine, M., Azline, N., & Safiee, A. (2019). *Fly ash as supplementary material in concrete: A review. IOP Conf. Series: Earth and environmental science.* Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10973-018-7578-z>
- Laura, S. (2006). *Diseño de mezclas de concreto. Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.*
- Leung, H., Kim, J., Nadeem, A., Jaganathan, J., & Anwar, M. (2016). *Sorptivity of self-compacting concrete containing fly ash and silica fume. Construction and building materials.* Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061816303671>
- Ludwik, G. (2017). *Improvement of fracture toughness of green concrete as a result of addition of coal fly ash. Characterization of fly ash microstructure. Materials characterization.* Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1044580317315905?via%3Dihub>
- Mariluz, M., & Ulloa, 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/bitstream/handle/UNS/3288/48966.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Mariluz, P., & Ulloa, P. (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. Universidad Nacional del Santa, Chimb.* Obtenido de <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/UNS/3288>
- Meneses, L., & Díaz, W. (2019). *Efecto de la adición de ceniza volante en las propiedades mecánicas y de resistencia a la penetración del ion cloruro en el mortero. Universidad Católica de Colombia, Bogota, Colombia.*
- Mohammad, A., Hossain, S., Uddin, I., Elahi, M., Rahman, H., Tam, V., & S, I. (2020). *Assessing the influence of fly ash and polypropylene fiber on fresh, mechanical and durability properties of concrete. Journal of King Saud University - Engineering Sciences.* Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S101836392100088X>



- Molina, O., Morangues, A., & Gálvez, J. (2008). *The influence of flying ashes as a substitute partial of portland cement in concrete durability: Physical properties, diffusion of chloride ion and carbon dioxide*. Departamento de Ingeniería Civil: Construcción E.T.S.I. de Caminos. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/45315694\\_La\\_influencia\\_de\\_las\\_cenizas\\_volantes\\_como\\_sustituto\\_parcial\\_del\\_cemento\\_Portland\\_en\\_la\\_durabilidad\\_del\\_hormigon\\_propiedades\\_fisicas\\_difusion\\_del\\_ion\\_cloruro\\_y\\_del\\_dioxido\\_de\\_carbono](https://www.researchgate.net/publication/45315694_La_influencia_de_las_cenizas_volantes_como_sustituto_parcial_del_cemento_Portland_en_la_durabilidad_del_hormigon_propiedades_fisicas_difusion_del_ion_cloruro_y_del_dioxido_de_carbono)
- Muthu, S., Govindasamy, V., & Bari, A. (2021). *Experimental investigation on flexural performance of functionally graded concrete beams using fly ash and red mud*. Revista *Matéria*. Obtenido de <https://www.scielo.br/j/rmat/a/Xjv87pWYjHj7YRbphXMTQ3d/?lang=en>
- Nagrockiene, D., & Daugela, A. (2018). *Investigation into the properties of concrete modified with biomass combustion fly ash*. *Construction and Building Materials*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061818309322?via%3Dihub>
- Najmi, A., Mariyana, A., Shek, P., Nurizatya, Z., Ramli, M., Alel, M., . . . Tohami, M. (2021). *Effect of water-cement ratio on mechanical properties of rubberized fly ash concrete*. *IOP Conf. Series: Materials science and engineering*. Obtenido de <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1144/1/012017/meta>
- Neville, A. (1988). *Tecnología del concreto*. Limusa.
- Promsawat, P., Chatveera, B., Sua-iam, G., & Makul, N. (2020). *Properties of self-compacting concrete prepared with ternary portland cement-high volume fly ash-calcium carbonate blends*. *Case studies in construction materials*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221450952030098X?via%3Dihub>
- Rendón, M., Martínez, M., Martínez, R., & Arroyo, M. (2019). *Durable hybrid concretes and sustainable, with flying ash contents*. *IMT Publicacion tecnica N°559*. Obtenido de <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt583.pdf>
- Rendón, M., Martínez, M., Martínez, R., & Pérez, J. (2019). *Durability of concrete mixtures with different contents of activated fly ash*. *Revista ALCONPAT*. Obtenido de <https://revistaalconpat.org/index.php/RA/article/view/313>

- Rivva, E. (2008). *Materiales para concreto. Instituto de la Construcción y Gerencia. Lima, Perú.*
- Roa, O. (2016). *Las mezclas de concreto hidráulico con aditivos inclusores de aire "cenizas volantes". Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas, Bogota, Colombia.* Obtenido de <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/5069/RoaParraOscarAdolfo2016.pdf;jsessionid=5CCDBB69A9D4ECAD553CE63DB8648017?sequence=1>
- Robayo, E. (2013). *Comportamiento mecánico y durabilidad de morteros de cenizas volantes activadas alcalinamente. Pontificia Universidad Javeriana, Bogota, Colombia.*
- Rodriguez, J. (1988). *Empleo de cenizas volantes en la fabricación de los hormigones. Revista de obras publicas.*
- Sanchez, V. (2018). *Determinación de las características físico – mecánicas de un concreto de alta resistencia de  $f'c = 500 \text{ kg/cm}^2$  con adición de ceniza volante. Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.* Obtenido de <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/1991>
- Santaella, L., & Salamanca, R. (2004). *Concrete behavior with low ash percentages steering whell (thermopaipa IV) and constant water. Ciencia e Ingenieria Neogranadina.* Obtenido de <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rcin/article/view/1264>
- Shanmugan, S., Deepak, V., Nagaraj, J., Jangir, D., Viyagula, S., & Palani, S. (2020). *Enhancing the use of coal-fly ash in coarse aggregates concrete. Materials today: Proceedings.* Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785320343467?via%3Dihub>
- Silva, Y., W, V., & Delvasto, S. (2018). *Self-compacting concrete with high content of coal combustion sub-products. Informador Técnico.* Obtenido de [http://revistas.sena.edu.co/index.php/inf\\_tec/article/view/1485](http://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/article/view/1485)
- Sun, J., Shen, X., Tan, G., & Tanner, J. (2018). *Compressive strength and hydration characteristics of high-volume fly ash concrete prepared from fly ash. Journal of thermal analysis and calorimetry.* Obtenido de <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/357/1/012025/meta>

- Tangle, 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://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UACI\\_8ebbf09ea98a4866482bb7a768ffdfd](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UACI_8ebbf09ea98a4866482bb7a768ffdfd)
- Torres, A. (2018). *Valorización de cenizas volantes de plantas de producción de energía y residuos de construcción y demolición en morteros industriales.* Universidad de Cordoba, Cordoba, España. Obtenido de <https://helvia.uco.es/xmlui/handle/10396/16381>
- Valderrama, C., Torres, J., & Mejía, R. (2011). *A high unburned carbon fly ash concrete's performance characteristics.* *Ingeniería e investigación.* Obtenido de [https://redcol.minciencias.gov.co/vufind/Record/UNACIONAL\\_d1031df14a3e28400f7fe5f9a3c4f934](https://redcol.minciencias.gov.co/vufind/Record/UNACIONAL_d1031df14a3e28400f7fe5f9a3c4f934)
- Valdez, P., Durán, A., Fajardo, G., & Juárez, C. (2008). *Influencia de la carbonatación en morteros de cemento Pórtland y ceniza volante.* *Ingeniería Investigación y Tecnología, Ciudad de México, México.*
- Valencia, W., R., R., & Mejía, R. (2021). *Engineering properties of alkali-activated hybrid concretes based on fly ash high contents: an analysis at long ages.* *Revista UIS Ingenierías.* Obtenido de <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistauisingenierias/article/download/11172/11337/>
- Ventura, E. (2018). *Resistencia del concreto  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup> con cenizas de carbon vegetal.* Universidad San Pedro. Obtenido de <http://repositorio.usanpedro.edu.pe/handle/USANPEDRO/11363>
- Vergara Polo, B. (2018). *Influencia de los aditivos plastificantes tipo a sobre la Compresion, peso unitario y asentamiento en el concreto Estructural.* Universidad Nacional de Trujillo , Trujillo , Peru. Obtenido de <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/11042>
- Wang, Y., Shui, Z., Sn, T., Huang, Y., & Wang, G. (2018). *Effect of fly ash, sinking beads and metakaolin on the workability, strength, free shrinkage and chloride resistance of concretes: A comparative study.* Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs13369-018-3068-7>

- Wang, Y., Tan, Y., Wang, Y., & Liu, C. (2020). *Mechanical properties and chloride permeability of green concrete mixed with fly ash and coal gangue*. *Construction and building materials*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061819326182?via%3Dihub>
- Yañez, L. (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*. *Universidad de Chile, Santiago, Chile*.
- Yapuchura, R. (2019). *Influencia de la ceniza volante en el incremento de la resistencia a la compresión y flexión para losas de concreto de  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> utilizando agregado de la cantera Arunta – Tacna*. *Universidad Privada de Tacna, Tacna, Perú*. Obtenido de <https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/812>
- Zahedi, M., Jafari, k., & Rajabipour, F. (2020). *Properties and durability of concrete containing fluidized bed combustion (FBC) fly ash*. *Construction and building materials*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061820316688>

## ANEXOS

### Anexo 2: Matriz de consistencia.

Título: Cenizas volantes de carbón para mejorar la resistencia a la compresión y permeabilidad del concreto

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLES	INDICE	METÓDO
<b>1. Problema principal</b>	<b>2. Objetivo General</b>	<b>3. Hipotesis General</b>	<b>INDEPENDIENTES</b>	<b>INDICADORES</b>	
¿De que manera la ceniza volante de carbon como sustituto porcentual de cemento influye en la resistencia a la compresión y permeabilidad del concreto?	Analizar la ceniza volante de carbon como sustituto porcentual de cemento para incrementar la resistencia a la compresión y reducir la permeabilidad del concreto?	Al determinar la dosis de ceniza volante de carbon como sustituto porcentual de cemento incrementa la resistencia a la compresión y reduce la permeabilidad del concreto?	Ceniza volante de carbon como sustituto porcentual de cemento	Porcentaje de ceniza volante de carbon	El método de investigación es cuantitativo ya que recopila información de tablas y graficos
<b>1.1 Problema Especificos</b>	<b>2.1 Objetivos especificos</b>	<b>3.1 Hipotesis Especificas</b>	<b>DEPENDIENTES</b>		
¿De que manera el porcentaje de ceniza volante como sustituto del cemento influye en la resistencia a la compresión del concreto?	Determinar el óptimo porcentaje de ceniza volante como sustituto del cemento para mejorar la resistencia a la compresión del concreto	Al determinar el óptimo porcentaje de ceniza volante como sustituto del cemento se mejora mejora la resistencia a la compresión del concreto		Resistencia a la compresión	
¿De que manera el porcentaje de ceniza volante como sustituto del cemento influye en la permeabilidad del concreto?	Determinar el óptimo porcentaje de ceniza volante como sustituto del cemento para Reducir la permeabilidad del concreto	Al determinar el óptimo porcentaje de ceniza volante como sustituto del cemento se reducir la permeabilidad del concreto	Resistencia a la compresión y permeabilidad del concreto .	Permeabilidad	El tipo de investigación es descriptiva, ya que explicará las propiedades físicas-mecánicas del concreto al agregar ceniza volante de carbon.
¿De qué manera el porcentaje de ceniza volante como sustituto del cemento mejora la trabajabilidad del concreto?	Determinar el óptimo porcentaje de ceniza volante como sustituto del cemento para mejorar la trabajabilidad del concreto	Al determinar el óptimo porcentaje de ceniza volante como sustituto del cemento mejora la trabajabilidad del concreto		Trabajabilidad	
¿De qué manera el porcentaje de ceniza volante como sustituto del cemento influye en la resistencia a la flexión del concreto?	Determinar el óptimo porcentaje de ceniza volante como sustituto del cemento para mejorar la resistencia a la flexión del concreto	Al determinar el óptimo porcentaje de ceniza volante como sustituto del cemento mse mejora la resistencia a la flexión del concreto		Resistencia a la flexión	

Fuente: Elaboración propia