



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

“INFLUENCIA DE LA ADICIÓN AL 2%, 3% Y 5% DE CENIZA
VOLANTE EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS
DEL MORTERO DE CEMENTO EN CAJAMARCA, 2019”

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERA CIVIL

Autor:

Viviana Lisset Angulo Zavaleta

Asesor:

Ing. Erick Rafael Muñoz Barboza

Cajamarca - Perú

2020

DEDICATORIA

A mis padres, puesto que son mi vida entera y mi mejor ejemplo para superarme día a día, tanto personal como profesionalmente.

A mi mami Juana, porque, a pesar de ya no tenerla conmigo, ocupa un valioso e importante lugar en mi corazón, siendo constantemente mi motivación.

A mi abuela Marina, porque sé que se alegra con cada uno de mis logros.

Viviana.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, porque todo lo que he podido lograr y alcanzar en la vida es gracias a su voluntad y a la fe que le tengo.

A mi madre, Elizabeth Zavaleta, por animarme constantemente, por su gran fortaleza y amor, lo cual me inspira a seguir adelante.

A mi padre, Manuel Angulo, por su amor, exigencia y porque me impulsa a ir tras mis sueños, los cuales van creciendo día a día.

A André, por no dejar de incentivar me y confiar en mí, por estar a mi lado apoyándome.

A mi asesor y docentes, por su tiempo y apoyo en la elaboración y culminación de la tesis.

Viviana.

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE ECUACIONES	9
RESUMEN	10
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	11
1.1. Realidad problemática.....	11
1.2. Formulación del problema	21
1.3. Objetivos	21
1.4. Hipótesis.....	21
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	22
2.1. Tipo de investigación	22
2.2. Variables de estudio	23
2.3. Población y muestra	23
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.....	24
CAPÍTULO III. RESULTADOS	33
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	40
REFERENCIAS	46
ANEXOS	49
ANEXO 1: Operacionalización de variables.....	49
ANEXO 2: Resultados del análisis químico de la muestra de ceniza volante	50

ANEXO 3: Panel fotográfico	51
ANEXO 4: Peso específico del cemento	60
ANEXO 5: Contenido de humedad del agregado fino	61
ANEXO 6: Análisis granulométrico del agregado fino.....	62
ANEXO 7: Peso unitario suelto y compactado del agregado fino	64
ANEXO 8: Peso específico y absorción del agregado fino.....	65
ANEXO 9: Método de ensayo para el análisis granulométrico y Módulo de fineza (NTP 400.012).....	66
ANEXO 10: Método de ensayo para el contenido de humedad (NTP 339.127).....	67
ANEXO 11: Método de ensayo para la densidad de los agregados (NTP 400.017).....	68
ANEXO 12: Método de ensayo para la gravedad específica y absorción de los agregados finos (NTP 400.022).....	70
ANEXO 13: Método de ensayo para el peso específico del cemento (NTP 334.005).....	71
ANEXO 14: Método de ensayo para la resistencia a compresión de mortero de cemento usado en especímenes cúbicos: NTP 334.051	72
ANEXO 15: Método de ensayo para la absorción, de acuerdo a la norma: Densidad, absorción y vacíos en concreto endurecido ASTM C 642	73
ANEXO 16: Método de ensayo para la capilaridad: Método de prueba estándar para la medición de la tasa de absorción de agua por hormigones de cemento hidráulico ASTM C 1585	74
ANEXO 17: Protocolos de los ensayos realizados.....	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Tipos de mortero</i>	14
Tabla 2 <i>Clasificación de morteros de pega para mampostería simple, según resistencia a la compresión a 28 días y según dosificación (ASTM C-270)</i>	15
Tabla 3 <i>Granulometría de la arena gruesa</i>	16
Tabla 4 <i>Características químicas de las puzolanas</i>	17
Tabla 5 <i>Operacionalización de variable independiente</i>	23
Tabla 6 <i>Operacionalización de variable dependiente</i>	23
Tabla 7 <i>Población y muestra</i>	24
Tabla 8 <i>Componentes químicos de la ceniza volante</i>	30
Tabla 9 <i>Determinación de puzolanidad de la ceniza volante</i>	31
Tabla 10 <i>Resistencia a compresión axial (Kg/cm²)</i>	33
Tabla 11 <i>Variación de porcentajes de muestras a compresión axial</i>	36
Tabla 12 <i>Absorción (%)</i>	37
Tabla 13 <i>Capilaridad (gr*min/cm²)</i>	38
Tabla 14 <i>Comparación de propiedades físico-mecánicas del mortero de cemento al adicionar porcentajes de ceniza volante</i>	39
Tabla 15 <i>Operacionalización de variables</i>	49
Tabla 16 <i>Peso específico del cemento hidráulico</i>	60
Tabla 17 <i>Contenido de humedad del agregado fino</i>	61
Tabla 18 <i>Resultado de análisis granulométrico del agregado fino</i>	62
Tabla 19 <i>Peso unitario suelto y compactado del agregado fino</i>	64
Tabla 20 <i>Peso específico y absorción del agregado fino</i>	65
Tabla 21 <i>Límites granulométricos para arena gruesa</i>	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Protocolo de compresión axial de cemento</i>	25
Figura 2 <i>Capilaridad de morteros de cemento hidráulico</i>	26
Figura 3 <i>Absorción de morteros de cemento hidráulico</i>	27
Figura 4 <i>Comparación de resistencia a compresión axial del mortero con y sin adición (Kg/cm²)</i>	33
Figura 5 <i>Resistencia a la Compresión del Mortero Patrón</i>	33
Figura 6 <i>Resistencia a la Compresión del Mortero con adición del 2%</i>	34
Figura 7 <i>Resistencia a la Compresión del Mortero con adición del 3%</i>	34
Figura 8 <i>Resistencia a la Compresión del Mortero con adición del 5%</i>	35
Figura 9 <i>Comparación de absorción del mortero con y sin adición (%)</i>	37
Figura 10 <i>Comparación de capilaridad del mortero con y sin adición (gr*min/cm²)</i>	38
Figura 11 <i>Análisis químico de la muestra de ceniza volante de carbón</i>	50
Figura 12 <i>Obtención de arena gruesa de Cantera Margarita - Chilete</i>	50
Figura 13 <i>Obtención de ceniza volante de carbón de piedra de la Ladrillera Dobertin - Cerrillo</i>	51
Figura 14 <i>Tamizado del agregado fino</i>	52
Figura 15 <i>Ensayo de contenido de humedad del agregado fino</i>	52
Figura 16 <i>Ensayo de peso unitario suelto del agregado fino</i>	52
Figura 17 <i>Ensayo de peso unitario compactado del agregado fino</i>	53
Figura 18 <i>Secado superficialmente seco del agregado fino</i>	53
Figura 19 <i>Pruebas con el molde cónico para revisar si el agregado ya se encuentra superficialmente seco</i>	53
Figura 20 <i>Picnómetro con agua y agregado fino superficialmente seco</i>	54

Figura 21	<i>Peso del agregado fino para el ensayo del peso específico</i>	<u>54</u>
Figura 22	<i>Ensayo de peso específico del cemento hidráulico tipo I</i>	<u>54</u>
Figura 23	<i>Moldes de madera para mortero de cemento</i>	<u>55</u>
Figura 24	<i>Elaboración del mortero de cemento</i>	<u>55</u>
Figura 25	<i>Colocación de mortero en los moldes de madera</i>	<u>55</u>
Figura 26	<i>Probetas de mortero de cemento con diferentes adiciones</i>	<u>56</u>
Figura 27	<i>Desmoldaje de mortero de cemento</i>	<u>56</u>
Figura 28	<i>Curado de mortero de cemento</i>	<u>56</u>
Figura 29	<i>Medición de probetas de mortero para ser ensayadas a la resistencia a la compresión axial</i>	<u>57</u>
Figura 30	<i>Ensayo de resistencia a la compresión de mortero de cemento</i>	<u>57</u>
Figura 31	<i>Peso de muestra húmeda para ensayo de absorción</i>	<u>57</u>
Figura 32	<i>Muestras en el horno para ser pesadas posteriormente</i>	<u>58</u>
Figura 33	<i>Peso de muestra seca para ensayo de absorción</i>	<u>58</u>
Figura 34	<i>Muestras en recipiente con agua a 1cm durante 3 horas, para ensayo de capilaridad</i>	<u>58</u>
Figura 35	<i>Peso de muestra luego de estar con agua a 1cm para ensayo de capilaridad</i>	<u>59</u>
Figura 36	<i>Curva granulométrica de la arena gruesa</i>	<u>62</u>

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. <i>Módulo de fineza</i>	66
Ecuación 2. <i>Contenido de humedad</i>	67
Ecuación 3. <i>Densidad del agregado suelto</i>	68
Ecuación 4. <i>Densidad del agregado compactado</i>	69
Ecuación 5. <i>Esfuerzo a compresión axial</i>	72
Ecuación 6. <i>Deformación unitaria</i>	72
Ecuación 7. <i>Absorción de los morteros</i>	73
Ecuación 8. <i>Área lateral del fleco capilar</i>	74
Ecuación 9. <i>Capilaridad</i>	74

RESUMEN

La presente tesis tiene el objetivo de evaluar la influencia de la adición de ceniza volante de carbón, residuo de la fabricación de ladrillo de arcilla, en la elaboración de mortero de cemento; con la finalidad de reutilizar los residuos de la construcción en la creación de nuevos materiales, disminuyendo el gasto en materias primas y contribuyendo con el medio ambiente. Se comparó el mortero de cemento patrón diseñado para una resistencia de 125Kg/cm^2 con adiciones al 2%, 3% y 5% de ceniza volante, en pruebas de compresión axial, absorción y capilaridad. Los morteros con adición del 2% y 3% de ceniza volante llegaron a la resistencia diseñada pero no superaron al mortero patrón, con resistencias de 129.04Kg/cm^2 y 128.33Kg/cm^2 respectivamente, mientras que la adición del 5% llegó a 123.05Kg/cm^2 . La capilaridad con adición al 2% disminuye el 29.59% en relación al mortero patrón, al 3% aumenta 1.52% y al 5% disminuye 2.49%; la absorción en la adición al 2% varía con el patrón en un 0.29%, en las demás adiciones se incrementa. Se demuestra que, la ceniza volante funciona como puzolana artificial favoreciendo en las propiedades físico-mecánicas del mortero de cemento hidráulico, siendo viable su utilización en pequeñas adiciones.

Palabras clave: Mortero de cemento, ceniza volante, resistencia a compresión axial, absorción, capilaridad.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Este estudio tiene por finalidad emplear un residuo de la fabricación de materiales de construcción que sirve como adición puzolánica para mejorar las propiedades físicas y mecánicas de los morteros; reduciendo, con su uso, la contaminación generada por el sector construcción.

Se ha demostrado que las puzolanas son materiales que mejoran las propiedades del cemento debido a su composición química y su reacción con el hidróxido de calcio; es por ello que, en la presente investigación, se emplea la puzolana artificial de ceniza volante, residuo proveniente de los hornos que fabrican ladrillos artesanales de arcilla en la ciudad de Cajamarca, para adicionarse al mortero convencional, realizándose 04 muestras de mortero de cemento, una convencional y las otras con adición parcial de dicha puzolana al 2%, 3% y 5%, dichas muestras se realizaron con el objetivo de evaluar la influencia de esta puzolana en las propiedades físico-mecánicas del mortero de cemento, a través de pruebas de laboratorio, específicamente en sus propiedades de absorción, capilaridad y resistencia a la compresión axial, considerando que de mantener o incrementar estas propiedades, se puede implementar su utilización en construcciones reales y con ello contribuir positivamente con el medio ambiente.

En la actualidad se está prestando mayor atención e importancia a la concientización ambiental, por lo que es necesario recalcar que la industria de la construcción es la principal consumidora de recursos naturales, así como generadora de residuos, causando un impacto ambiental durante todo el ciclo de vida del proyecto, además consume entre el 45% y 60% de los materiales extraídos de la litósfera y al utilizarlos origina la mitad de las emisiones de CO₂ (Borsani, 2011).

Por ello, es importante reconocer que existe la necesidad de integrar la sostenibilidad a la ingeniería civil de manera que pueda mejorar la calidad de vida de los pobladores ofreciendo alternativas sostenibles sin dejar de ser económicas, para lo cual se requiere evaluar el empleo de nuevos materiales con diferentes adiciones, ya sean naturales o artificiales, que ofrezcan las mismas o mejores propiedades físicas y mecánicas.

Los residuos provocados por los procesos industriales van aumentando progresivamente, siendo necesario considerar su aprovechamiento y revaloración, disminuyendo el gasto en materias primas y sobre todo contribuyendo con el medio ambiente al reutilizarlos en lugar de desecharlos.

Debido a lo expuesto, actualmente se buscan alternativas respecto al uso de materiales que puedan brindar un equilibrio, ya sea reutilizando o reciclando los desperdicios y empleándolos como materia prima para nuevos productos y materiales.

Esta elección de materiales influye no sólo en el diseño sino en el rendimiento del proyecto, los efectos que producen se dan en cada etapa de la vida útil de la construcción, yendo desde su fabricación, procesamiento, transporte, construcción y mantenimiento hasta su demolición y reciclaje; es por ello que, la selección adecuada de materiales influirá en el rendimiento medioambiental del edificio y entorno (Borsani, 2011).

En España, se fabrican más de 21 millones de toneladas de materiales cerámicos, de los cuales 1.2 millones son de tejas de arcilla cocida, el porcentaje de desecho es del 5%, cifra que constituye un volumen importante de residuos (Sánchez de Rojas et al., 2001).

Un artículo realizado en Colombia, indica que la incorporación de puzolanas, entre ellas la ceniza volante, subproducto industrial proveniente de procesos de

combustión y gasificación del carbón, contribuye a la reducción de la permeabilidad y por ende incrementa la durabilidad de los concretos, además de generar beneficios económicos y ecológicos, al emplear recursos provenientes de fuentes naturales. (Burgos et al., 2012)

En Perú, predominan las viviendas con materiales de ladrillo o bloques de cemento, por lo que es necesario pensar en opciones de mejoras para este tipo de materiales y sistemas constructivos, recalcando que para la fabricación de estos ladrillos se emplea carbón, el cual al ser utilizado genera cenizas y junto con los residuos de la arcilla calcinada se convierten en deshechos sin utilización.

A nivel nacional existen 1840 productores de ladrillo, existiendo en Cajamarca 490 ladrilleras, de acuerdo al estudio realizado por la Dirección Regional de Producción de Cajamarca (Soriano, 2012), estas ladrilleras emplean como combustible briquetas, aceite quemado y/o carbón de piedra para la fabricación de los ladrillos artesanales, los mismos que luego de ser empleados quedan como residuos que son desechados sin tener ningún uso posterior.

La gran cantidad de productores de ladrillo a nivel regional, nacional e incluso internacional, resalta la importancia de buscar la elaboración de nuevos materiales con adiciones que aprovechen los residuos provenientes de la industria de la construcción, disminuyendo la contaminación y mejorando, a la vez, las propiedades de estos nuevos materiales.

El mortero es de gran importancia en el sistema constructivo de la albañilería, puesto que es utilizado en el asentado del ladrillo y en los tarrajeos, debido a sus propiedades de adherencia, permeabilidad, capilaridad y su resistencia a la compresión axial; en una tesis se evaluaron sus propiedades al adicionar dosificaciones de ceniza de cascarilla de arroz, resultando que con arena gruesa, el diseño óptimo fue con esta

puzolana al 1%, mejorando su resistencia a compresión y disminuyendo su absorción inicial y secundaria y densidad (Aliaga, 2018).

Los materiales puzolánicos en una mezcla con cemento ayudan a mitigar algunas desventajas que tienen los cementos portland convencionales como la liberación de gran cantidad de hidróxido cálcico, la posibilidad de reacciones de carácter expansivo y, sobre todo, el carácter fuertemente exotérmico de las reacciones de hidratación. (Sánchez de Rojas et al., 2001).

Es por esto que, esta investigación se centra en la comparación de las propiedades físico-mecánicas de un mortero convencional con un mortero con adición de 2%, 3% y 5% de ceniza volante de carbón, esta es una puzolana artificial que resulta de la fabricación de ladrillos o tejas de arcilla, residuos que son desechados y no tienen ningún valor actualmente.

De acuerdo a la normativa, “el mortero estará constituido por una mezcla de aglomerantes y agregado fino a los cuales se añadirá la máxima cantidad de agua que proporcione una mezcla trabajable, adhesiva y sin segregación del agregado” (MVCS, 2006, p.298). En la misma, se especifica la clasificación del mortero de acuerdo a sus fines estructurales, con proporciones volumétricas en estado suelto, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 1

Tipos de mortero

Tipos de mortero				
Tipo	Componentes			Usos
	Cemento	Cal	Arena	
P1	1	0 a ¼	3 a 3 ½	Muros portantes
P2	1	0 a ½	4 a 5	Muros portantes
NP	1	-	Hasta 6	Muros no portantes

Fuente: MVCS, 2006, p.298

En la presente investigación nos concentraremos en un mortero de tipo P2 de acuerdo a la Norma E.070 Albañilería del Reglamento Nacional de Edificaciones, para muros portantes, además de considerar que será un mortero para asentado de ladrillo.

Tabla 2

Clasificación de morteros de pega para mampostería simple, según resistencia a la compresión a 28 días y según dosificación (ASTM C-270)

Tipo de mortero	Resistencia a la compresión			Cemento Portland	Cemento albañilería	Cal	Agregado fino suelto
	(MPa)	(Kg/cm ²)	(p.s.i.)				
M	17.2	175	2500	1 1	1 -	0.25	
S	12.4	126	1800	0.5 1	1 -	0.25 a 0.50	Entre 2.25 y 3 veces la suma de cemento y cal utilizados
N	5.2	53	750	- 1	1 -	0.50 a 1.25	
O	2.4	25	350	- 1	1 -	1.25 a 2.50	
K	0.5	5	75	1	-	2.50 a 4.00	

Fuente: Sánchez de Guzmán, 2001

El mortero a emplear es de tipo S con una resistencia de 126 Kg/cm², aspecto a tener en cuenta para la realización del diseño de mezcla del mortero de cemento.

El cemento es un material aglomerante que tiene propiedades de adherencia y cohesión, permitiendo unir minerales para formar un conglomerado con resistencia y durabilidad (Arriola, 2009). El cemento Portland es el material principal dentro de la mezcla de mortero, este producto es obtenido por la pulverización del Clinker, con la adición de otros materiales siempre y cuando no excedan el 1% del peso total y deben ser pulverizados a la misma vez que el Clinker (MVCS, 2019).

La norma ASTM C150 o – NTP 334.090, establece una clasificación de cementos según su uso:

- Tipo I: De uso general.
- Tipo II: De moderada resistencia a los sulfatos y moderado calor de hidratación.
- Tipo III: Desarrollo rápido de resistencia con elevado calor de hidratación.

- Tipo IV: De bajo calor de hidratación.
- Tipo V: Alta resistencia a los sulfatos.

Según la NTP 400.011: Agregados, definición y clasificación de agregados para uso en morteros y concretos, “el agregado es un conjunto de partículas de origen natural o artificial, ya sean tratados o elaborados y de acuerdo a los límites para sus dimensiones se pueden dividir en agregados gruesos y finos” (INDECOPI, 2009).

El agregado fino es el agregado artificial de rocas o piedras que proviene de la disgregación natural o artificial, este debe pasar por el tamiz normalizado de 3/8 pulg o 9.5mm y debe cumplir con los límites establecidos en la NTP 400.037.

Para los morteros, “el agregado fino será arena gruesa natural, libre de materia orgánica y sales” (MVCS, 2006, p.298), además debe tener un módulo de finura entre el 1.6 y 2.5, cumpliendo con la granulometría indicada en la siguiente tabla:

Tabla 3

Granulometría de la arena gruesa

Granulometría de la arena gruesa	
Malla ASTM	% que pasa
Nº4 (4.75mm)	100
Nº8 (2.36mm)	95 a 100
Nº16 (1.18mm)	70 a 100
Nº30 (0.60mm)	40 a 75
Nº50 (0.30mm)	10 a 35
Nº100 (0.15mm)	2 a 15
Nº200 (0.075mm)	Menos de 2

Fuente: MVCS, 2006, p.298

Las puzolanas, de acuerdo a la norma ASTM C 618, se definen como materiales silicios o silicios y aluminosos, que ante la presencia de humedad reaccionan químicamente con el hidróxido de calcio a la temperatura ambiente para formar compuestos con propiedades cementantes (ASTM C618, 2019).

Se clasifican en puzolanas naturales (de origen volcánico o rocas sedimentarias), como sedimentarias e ígneas, y artificiales (subproducto de diversos procesos

industriales y agrícolas), como cenizas volantes, humo de sílice, escoria de horno alto, arcilla calcinada, escorias metalúrgicas, cenizas de cáscaras de arroz, ceniza de bagazo de caña, residuos de calcinación de esquistos y pizarras (Frías, M et al., 2008).

La norma ASTM C 618 clasifica a las puzolanas en:

- Clase F, cenizas volantes procedentes de la quema de antracita o carbón bituminoso.
- Clase C, cenizas volantes procedentes de la quema de lignita o carbón sub-bituminoso.
- Clase N, puzolanas naturales, como tierras diatomeas, pizarras o cenizas volcánicas.

Tabla 4

Características químicas de las puzolanas

Características químicas		Puzolana		
		Clase F	Clase C	Clase N
SiO ₂ + Al ₂ O ₂ + Fe ₂ O ₂	% mín	70	50	70
SO ₂	%máx	5	5	4
Contenido de humedad	%máx	3	3	3

Fuente: ASTM C 618

De acuerdo a esta clasificación, la puzolana a emplear en la presente tesis es de tipo artificial y de Clase C, puesto que es una ceniza volante proveniente de la quema de carbón sub-bituminoso.

Ceniza volante es “el residuo finamente dividido que resulta de la combustión del carbón molido o en polvo, y que es transportado por los gases de combustión” (ASTM C618, 2019). En las ladrilleras artesanales, se emplea el carbón de piedra en forma de “cisco” o molida, para la cocción de los ladrillos o tejas de arcilla, quedando luego como desperdicio la ceniza volante de carbón, formando parte de una puzolana con propiedades que puede emplearse para la mezcla de morteros y concretos.

Resistencia a la compresión, referido al esfuerzo máximo que puede resistir un material bajo una carga de aplastamiento, es una propiedad del mortero para soportar las tensiones que actúan sobre él, evitando la formación de fisuras y grietas, esta resistencia “depende de la relación A/C y de la adición usada, y muy especialmente de la granulometría de la arena, la cual se establece mediante el módulo de finura” (Salamanca, 2001).

El ensayo de resistencia a la compresión axial de morteros de cemento se realiza en base a la NTP 334.051, la cual establece el procedimiento para la realización del ensayo, realizándose en muestras cúbicas de 50mm, con 3 especímenes por cada mezcla de mortero para cada edad de curado. (INDECOPI, 2013a)

Absorción se refiere al incremento en masa del mortero debido a la penetración de agua en los poros de las partículas, durante un período de tiempo determinado.

El ensayo de absorción, de acuerdo a la norma: Densidad, absorción y vacíos en concreto endurecido ASTM C642, indica que las muestras se pesan en estado húmedo y seco, para obtener con ello el porcentaje de absorción promedio del mortero. (ASTM C642, 2013)

Capilaridad, “corresponde al desplazamiento de un frente líquido a través de un capilar, como consecuencia de la interacción de las fuerzas de contacto líquido sólido” (Peña & Contreras, 2017).

El ensayo de capilaridad, de acuerdo a la norma: Método de prueba estándar para la medición de la tasa de absorción de agua por hormigones de cemento hidráulico ASTM C1585, consiste en introducir las muestras a 1cm de agua dentro de un recipiente, medir la ascensión capilar y obtener los pesos de la muestra seca y con el agua absorbida para obtener la capilaridad promedio. (ASTM C1585, 2020)

El proceso de fabricación de los ladrillos y tejas de arcilla genera residuos sólidos como cenizas de combustible sólido y pedazos rotos de ladrillos cocidos conocido como “cascajo”. Estas cenizas son vertidas en sus alrededores y van acumulándose o siendo dispersadas por el viento, arrojadas en ríos y quebradas, ocasionalmente son empleadas como material de construcción en algunas edificaciones temporales dentro de la misma zona (Ministerio de la Producción, 2010).

Los residuos industriales pueden ser reutilizados en la elaboración de otros materiales, no existiendo una norma para la adición de éstos en los concretos o cementos, es por ello que es necesario investigar en qué medida se puede incrementar las propiedades físico-mecánicas del mortero, ya que, tal como lo expresa Frías, M et al., (2008), los residuos industriales tales como el cascote cerámico, que está compuesto por residuos de tejas de arcilla, son aptos para su adición al cemento Portland debido a su alta actividad puzolánica, la misma que no se manifiesta en los primeros días de reacción, pero alcanza gran actividad a los 28 y 90 días.

Es así que, Jiménez (2016) en su investigación “Resistencia a la compresión del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con la adición de diferentes porcentajes de ceniza de bagazo de caña de azúcar, UPNC 2016” tuvo como objetivo “determinar la influencia de diferentes porcentajes de ceniza de bagazo de caña de azúcar en la resistencia a compresión del concreto $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ ”, en donde el mejor resultado fue entre el rango de 8% y 10% llegando a los 28 días a una resistencia de 245.18 kg/cm^2 y 245.31 kg/cm^2 respectivamente.

De igual manera, Aliaga (2018) en su tesis denominada “Evaluación de ceniza de cascarilla de arroz y tipos de agregados finos sobre la compresión, sorptividad y densidad de morteros de cemento portland tipo I, Trujillo 2017” tuvo como objetivo “evaluar de qué manera influye la adición de ceniza de cascarilla de arroz en la

resistencia a compresión, sorptividad y densidad del mortero de cemento con proporción cemento y arena 1:4”, en donde determinó que se mejoran dichas propiedades para los morteros de arena fina con el reemplazo del 2% de ceniza de cascarilla de arroz por arena, mientras que para los morteros con arena gruesa el diseño óptimo fue con el reemplazo del 1%.

La tesis denominada “Análisis de la resistencia a la compresión y permeabilidad en el concreto adicionando dosificaciones de cenizas volantes de carbón en la mezcla” tuvo como objetivo “aumentar la resistencia a la compresión y disminuir la permeabilidad en el concreto añadiendo cenizas volantes de carbón en dosificaciones del 1.5%, 3%, 4.5% y 6% en la mezcla”, verificando que el concreto patrón tuvo una resistencia a los 28 días de 218 kg/cm^2 mientras que con una adición del 6% de ceniza volante de carbón llegó a los 241 kg/cm^2 , de igual forma, para el concreto patrón obtuvo una profundidad de penetración de agua promedio de 137mm, mientras que para la adición al 6% de ceniza volante de carbón se obtuvo una penetración promedio de 52.5mm, con ello se constata que la adición de ceniza volante mejora considerablemente la resistencia a compresión y la permeabilidad del concreto. (Peña & Contreras, 2017)

En base a lo expuesto anteriormente, la presente investigación se basa en comparar las propiedades físico-mecánicas del mortero de cemento convencional con el mortero con adición de diferentes porcentajes de ceniza volante de carbón, escogiendo este aditivo puesto que es una puzolana artificial resultante de un proceso industrial que siempre se encontrará en los hornos de fabricación de ladrillos de arcilla, determinándose adicionar ceniza volante de carbón en un 2%, 3% y 5%.

La finalidad de este trabajo es indicar si los porcentajes adicionados del 2%, 3% y 5% de esta puzolana artificial, mejoran las propiedades físicas y mecánicas del

mortero de cemento, sobre todo en absorción, capilaridad y resistencia a la compresión axial; para, en base a los resultados, implementar su aplicabilidad en situaciones reales, contribuyendo con la reutilización de este residuo industrial y con ello contribuir con el medio ambiente.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la influencia en las propiedades físico-mecánicas del mortero de cemento al adicionar 2%, 3% y 5% de ceniza volante?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar la influencia en las propiedades físico-mecánicas del mortero de cemento al adicionar 2%, 3% y 5% de ceniza volante.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar la resistencia a la compresión del mortero de cemento patrón y el mortero de cemento al adicionar la ceniza volante, en porcentajes de 2%, 3% y 5%.
- Determinar la absorción y capilaridad del mortero de cemento patrón y el mortero de cemento al adicionar la ceniza volante, en porcentajes de 2%, 3% y 5%.
- Comparar la influencia de las propiedades físicas y mecánicas del mortero de cemento patrón con el mortero de cemento al adicionar el 2%, 3% y 5% de ceniza volante.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

La influencia al adicionar el 2%, 3% y 5% de ceniza volante en el mortero de cemento, incrementará su resistencia a la compresión axial en un 2% progresivamente, y reducirá en un 4%, 6% y 8% respectivamente su absorción y capilaridad.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

2.1.1. Enfoque

La investigación tiene un enfoque cuantitativo, puesto que se están recolectando datos obtenidos a través de las pruebas de laboratorio, para posteriormente hacer una medición y comparación numérica.

2.1.2. Alcance

El alcance de investigación es correlacional, ya que pretende analizar la influencia de una variable sobre la otra, conociendo cómo se puede comparar la variable al conocer el comportamiento de la otra.

2.1.3. Diseño de investigación

El diseño de la investigación es experimental, basada en pruebas de laboratorio para ver la influencia de una variable respecto a la otra, con el objetivo de validar o rechazar la hipótesis en la cual se va a determinar si los porcentajes adicionados de ceniza volante, incrementan o disminuyen las propiedades físico-químicas de absorción, capilaridad y resistencia a la compresión del mortero de cemento.

Asimismo, el presente trabajo se dividió en cuatro etapas a seguir. La primera etapa consistió en las coordinaciones entre el autor y el asesor para definir correctamente el tema. La segunda etapa, en la revisión y recopilación de información bibliográfica para tener conocimientos previos sobre el tema y poder definir los porcentajes a adicionar al mortero, así como las pruebas que eran necesarias realizar de acuerdo a las normativas. La tercera etapa fue experimental, en la que se realizaron los ensayos en laboratorio para obtener las propiedades de los materiales, realizar el diseño de mezcla y probetas de mortero y las pruebas del mismo. La cuarta etapa y final, consistió en analizar y contrastar los datos obtenidos para poder redactar las conclusiones.

De esta manera, se optó por adicionar 2%, 3% y 5% de la ceniza volante en el mortero y realizar los ensayos de resistencia a la compresión axial, absorción y capilaridad, para lo cual se elaboraron 03 probetas de mortero para cada ensayo a los 07, 14 y 28 días de curado.

2.2. Variables de estudio

2.2.1. Independiente

Tabla 5

Operacionalización de variable independiente

Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores
Ceniza volante	Material inorgánico y puzolánico, se obtiene a través de un proceso de calcinación del carbón.	Químicas	Contenido de Óxido de Silicio (SiO_2), Óxido de Aluminio (Al_2O_2) y Óxido Férrico (Fe_2O_3)

2.2.2. Dependiente

Tabla 6

Operacionalización de variable dependiente

Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores
Resistencia a la compresión axial	Capacidad para soportar una carga axial	Propiedad mecánica	σ (Kg/cm^2)
Capilaridad	La cantidad de líquido que se eleva en la zona de contacto de un sólido	Propiedad física	Capilaridad promedio ($\text{gr} \cdot \text{min}/\text{cm}^2$)
Absorción	Capacidad para absorber un líquido, depende de la porosidad.	Propiedad física	Absorción promedio (%)

2.3. Población y muestra

2.3.1. Población

Debido a que el estudio es experimental se consideró una población finita, tomándose como objeto de estudio la elaboración de 108 probetas de mortero de cemento.

2.3.2. Muestra

Muestreo no probabilístico, en donde se cuenta con 03 muestras por cada ensayo, para cada probeta y edad de curado, de manera que se tenga como resultado el promedio de estos 03 ensayos, de acuerdo a lo establecido en la NTP 334.051 (p. 8).

Tabla 7

Población y muestra

Mortero de cemento con % de adición de ceniza volante	Ensayos	7 días	14 días	28 días	Total
0%	Resistencia a la compresión Axial	3	3	3	27
	Absorción	3	3	3	
	Capilaridad	3	3	3	
2%	Resistencia a la compresión Axial	3	3	3	27
	Absorción	3	3	3	
	Capilaridad	3	3	3	
3%	Resistencia a la compresión Axial	3	3	3	27
	Absorción	3	3	3	
	Capilaridad	3	3	3	
5%	Resistencia a la compresión Axial	3	3	3	27
	Absorción	3	3	3	
	Capilaridad	3	3	3	

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

La técnica empleada para la recolección de datos fue la observación directa, recolectando y registrando los datos a través de instrumentos como los protocolos y guías que fueron elaborados y validados por la UPN en base a las normas ASTM, MTC y NTP, empleándose para la elaboración de los diferentes ensayos de la presente tesis. En base a los ensayos realizados se pudo realizar el diseño de mezcla y elaborar las probetas de mortero. Se realizaron los ensayos de absorción, capilaridad y resistencia a la compresión axial del mortero y se registraron los datos en los protocolos.

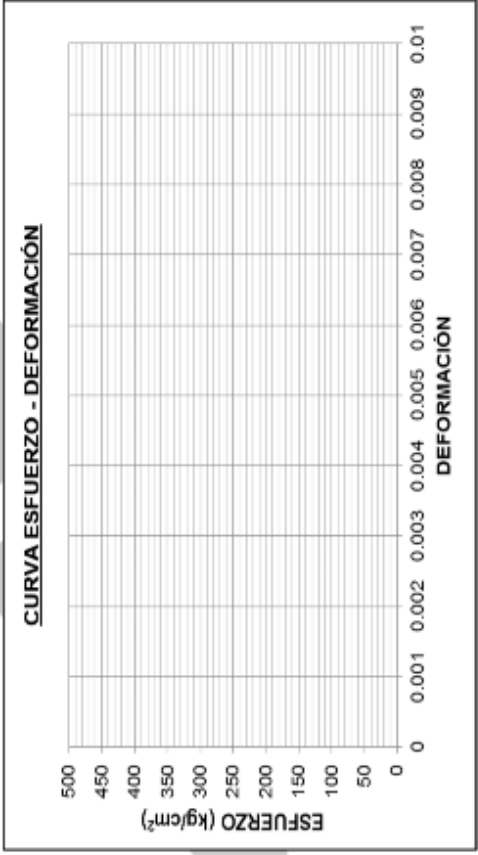
Figura 1

Protocolo de compresión axial de cemento

LABORATORIO DE CONCRETO – UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA				
PROTOCOLO				
ENSAYO	COMPRESIÓN DE MORTEROS DE CEMENTO HIDRÁULICO (CUBOS 50.8mm)			CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
NORMA	MTC E609 / ASTM C109 / NTP 334.051			CMCH-LC-UPNC:
TESIS				
ID. MORTERO (especimen):		ANCHO CARA PROM. (cm):		
FECHA DE ELABORACIÓN:		LARGO CARA PROM. (cm):		
FECHA DE ENSAYO:		ÁREA CARA PROM. (cm ²):		
EDAD DEL MORTERO:		RESPONSABLE:		
N° DE ESPECIMENES:		REVISADO POR:		

N°	Carga (Kg-f)	Deformación	σ (kg/cm ²)	cu
1	0			
2	500			
3	1000			
4	1500			
5	2000			
6	2500			
7	3000			
8	3500			
9	4000			
10	4500			
11	5000			
12	5500			
13	6000			
14	6500			
15	7000			
16	7500			
17	8000			
18	8500			
19	9000			
20	9500			
21	10000			
22	10500			
23	11000			
24	11500			
25	12000			

CURVA ESFUERZO - DEFORMACIÓN



OBSERVACIONES:		
RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
NOMBRE:	NOMBRE:	NOMBRE:
FECHA:	FECHA:	FECHA:

Figura 2

Capilaridad de morteros de cemento hidráulico

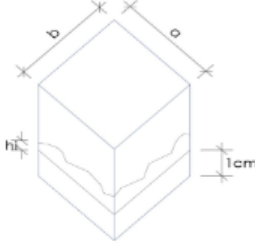

LABORATORIO DE CONCRETO – UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA																																															
PROTOCOLO																																															
ENSAYO	CAPILARIDAD DE MORTEROS DE CEMENTO HIDRÁULICO (CUBOS 50mm)		CÓDIGO DEL DOCUMENTO: CMCH-LC-UPNC:																																												
NORMA	ASTM C1585																																														
TESIS																																															
FECHA DE ELABORACIÓN:		TIPO DE CEMENTO:																																													
FECHA DE ENSAYO:		TIPO DE AGREGADO:																																													
EDAD DEL MORTERO:		ADICIÓN DE CENIZA VOLANTE:																																													
N° DE ESPECÍMENES:		MORTERO DE CEMENTO:																																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>ESPECIMEN N°</th> <th>C1</th> <th>C2</th> <th>C3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PESO SECO (gr)</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>PESO MUESTRA ABSORBIDA (gr)</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>P PESO DE AGUA ABSORBIDA (gr)</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>a ANCHO PROMEDIO (cm)</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>b PROFUNDIDAD PROMEDIO (cm)</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>hi ALTURA DE FLECO (cm)</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S ÁREA DE FLECO CAPILAR (cm²)</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>T TIEMPO (min)</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>K CAPILARIDAD (gr*min/cm²)</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Kprom CAPILARIDAD PROMEDIO (gr*min/cm²)</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <div style="text-align: right; margin-top: 10px;">  </div>				ESPECIMEN N°	C1	C2	C3	PESO SECO (gr)				PESO MUESTRA ABSORBIDA (gr)				P PESO DE AGUA ABSORBIDA (gr)				a ANCHO PROMEDIO (cm)				b PROFUNDIDAD PROMEDIO (cm)				hi ALTURA DE FLECO (cm)				S ÁREA DE FLECO CAPILAR (cm ²)				T TIEMPO (min)				K CAPILARIDAD (gr*min/cm ²)				Kprom CAPILARIDAD PROMEDIO (gr*min/cm ²)			
ESPECIMEN N°	C1	C2	C3																																												
PESO SECO (gr)																																															
PESO MUESTRA ABSORBIDA (gr)																																															
P PESO DE AGUA ABSORBIDA (gr)																																															
a ANCHO PROMEDIO (cm)																																															
b PROFUNDIDAD PROMEDIO (cm)																																															
hi ALTURA DE FLECO (cm)																																															
S ÁREA DE FLECO CAPILAR (cm ²)																																															
T TIEMPO (min)																																															
K CAPILARIDAD (gr*min/cm ²)																																															
Kprom CAPILARIDAD PROMEDIO (gr*min/cm ²)																																															
<p>FÓRMULA</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 200px; text-align: center;"> $S = 2(a + b) \cdot hi$ </div> <div style="width: 300px;"> <p>a = Ancho promedio de la muestra</p> <p>b = Profundidad o largo de la muestra</p> <p>hi = Altura que alcanza la humedad de la muestra</p> <p>P = Peso del agua absorbida (gr.)</p> <p>S = Área lateral del fleco capilar (cm²)</p> <p>T = Tiempo de exposición con el agua (min)</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: center; margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 150px; text-align: center;"> $k = \frac{P \cdot T}{S}$ </div> </div>																																															
OBSERVACIONES:																																															
RESPONSABLE DEL ENSAYO		COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR																																												
NOMBRE:		NOMBRE:	NOMBRE:																																												
FECHA: 31/10/2019		FECHA:	FECHA:																																												

Figura 3

Absorción de morteros de cemento hidráulico

		LABORATORIO DE CONCRETO – UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA			
		PROTOCOLO			
		ENSAYO	ABSORCIÓN DE MORTEROS DE CEMENTO HIDRÁULICO (CUBOS 50mm)	CÓDIGO DEL DOCUMENTO: CMCH-LC-UPNC:	
		NORMA	ASTM C642		
TESIS					
FECHA DE ELABORACIÓN:		TIPO DE CEMENTO:			
FECHA DE ENSAYO:		TIPO DE AGREGADO:			
EDAD DEL MORTERO:		ADICIÓN DE CENIZA VOLANTE:			
N° DE ESPECÍMENES:		MORTERO DE CEMENTO:			
ESPECIMEN - 0%					
SSS	PESO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO (gr)	D1	D2		
S	PESO MUESTRA SECA (gr)				
ABS	ABSORCIÓN (%)				
ABS _{prom}	ABSORCIÓN PROMEDIO (%)				
ESPECIMEN - 2%					
SSS	PESO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO (gr)	D1	D2		
S	PESO MUESTRA SECA (gr)				
ABS	ABSORCIÓN (%)				
ABS _{prom}	ABSORCIÓN PROMEDIO (%)				
ESPECIMEN - 3%					
SSS	PESO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO (gr)	D1	D2		
S	PESO MUESTRA SECA (gr)				
ABS	ABSORCIÓN (%)				
ABS _{prom}	ABSORCIÓN PROMEDIO (%)				
ESPECIMEN - 5%					
SSS	PESO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO (gr)	D1	D2		
S	PESO MUESTRA SECA (gr)				
ABS	ABSORCIÓN (%)				
ABS _{prom}	ABSORCIÓN PROMEDIO (%)				
FÓRMULA $ABS = \frac{SSS - S}{S}$					
ABS = Absorción (%) SSS = Peso de la muestra saturada superficialmente seca (gr) S = Peso de la muestra seca (gr)					
OBSERVACIONES:					
RESPONSABLE DEL ENSAYO		COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR		
NOMBRE:		NOMBRE:	NOMBRE:		
FECHA: 03/11/2019		FECHA:	FECHA:		

Para el análisis de datos se realizó un trabajo de gabinete con la utilización del programa Microsoft Excel, empleando la representación de gráficos y barras para sistematizar los resultados obtenidos, contrastarlos y obtener las conclusiones.

Tabla 8

Recolección de datos

	Variable	Técnica	Instrumentos	Análisis de datos
Dependiente	Resistencia a la compresión axial Capilaridad Absorción	Observación directa	Protocolos y guías de UPN	Análisis de datos con Microsoft Excel
Independiente	Ceniza Volante	Observación directa	Resultados de laboratorio	Comparación de datos con normativa

2.5.Procedimiento

- Obtención de agregado fino de la cantera Margarita de la ciudad de Chilete, para determinar sus propiedades físico – mecánicas en el laboratorio de tecnología del concreto de la Universidad Privada del Norte.
- Adquisición de bolsas de Cemento Pacasmayo Tipo I, para la preparación del mortero de cemento, identificando previamente su peso específico.
 - Peso específico del cemento hidráulico: NTP 334.005 (INDECOPI, 2011a)
- Obtención de la ceniza volante de carbón de la ladrillera Dobertin ubicada en Cerrillo, Cajamarca.
- Determinación de las propiedades físicas y mecánicas del agregado fino a emplear en el mortero:
 - Contenido de humedad: NTP 339.127 (INDECOPI, 1999)
 - Análisis granulométrico mediante el tamizado: NTP 400.012 (INDECOPI, 2001)
 - Peso unitario del agregado fino: NTP 400.017 (INDECOPI, 2011b)
 - Peso específico y absorción del agregado fino: NPT 400.022 (INDECOPI, 2013b)

- Determinación de las características químicas de la ceniza volante de carbón para ver su índice de puzolanidad, a través de un laboratorio externo.
- Elaboración del diseño de mezcla para el mortero de cemento según el diseño por pesos (Sánchez de Guzmán, 2001), para una resistencia de 125 Kg/cm².
- Elaboración de las probetas de mortero con los distintos porcentajes de ceniza volante de carbón.
- Realización de los ensayos en el laboratorio para la determinación de las propiedades físicas y mecánicas del mortero convencional y con adición de cada porcentaje de ceniza volante de carbón, a edades de 07 días, 14 días y 28 días.
 - Resistencia a compresión de mortero de cemento usado en especímenes cúbicos: NTP 334.051 (INDECOPI, 2013a)
 - Absorción, de acuerdo a la norma: Densidad, absorción y vacíos en concreto endurecido ASTM C642 (ASTM C642, 2013)
 - Capilaridad, de acuerdo a la norma: Método de prueba estándar para la medición de la tasa de absorción de agua por hormigones de cemento hidráulico ASTM C1585 (ASTM C1585, 2020)
- Procesamiento de datos para contrastarlos, comparar los resultados, determinar los porcentajes de variación del mortero convencional con el mortero con adición de cada porcentaje de ceniza volante de carbón, y validación de la hipótesis.

2.5.1. Caracterización de los materiales

2.5.1.1. Cemento Portland Tipo I.

Este cemento de Pacasmayo, es de uso general y se emplea para asentado de ladrillos.

2.5.1.2. Agregado fino.

El agregado fino natural y lavado, proviene de la Cantera Margarita, ubicada en el distrito de Chilete, Provincia de Contumazá, Región de Cajamarca. A este agregado

se le realizaron ensayos en el laboratorio de concreto de la Universidad Privada del Norte, tales como: ensayo de contenido de humedad, granulometría y módulo de finura, peso unitario suelto y compactado, peso específico y absorción.

2.5.1.3. Ceniza volante de carbón.

Este material fue obtenido de la Ladrillera Dobertin, ubicada en el Caserío de Cerrillo Alto, Región de Cajamarca. Esta ceniza volante es un material de desecho que proviene de la fabricación de ladrillos artesanales de arcilla en hornos y que, actualmente, no tienen ninguna utilidad. El ensayo químico para determinar las propiedades puzolánicas de este material se realizó en el Laboratorio G Ingeconsult & Lab, mostrando los siguientes resultados:

Tabla 9

Componentes químicos de la ceniza volante

Componentes	Cantidad (%)
Óxido de Silicio (SiO ₂)	39.20
Óxido de Aluminio (Al ₂ O ₃)	29.35
Óxido Férrico (Fe ₂ O ₃)	1.995
Óxido de Potasio (K ₂ O)	0.244
Óxido de Calcio (CaO)	0.006
Óxido de Magnesio (MgO)	0.046
Óxido de Sodio (Na ₂ O)	0.945
Contenido de carbón	14.40

Para la investigación fue necesario extraer la muestra de ceniza volante de carbón de una ladrillera de Cerrillo, Cajamarca, teniendo que moler el doble de la cantidad necesaria para tamizarla por la malla N° 100 (0.15mm) y emplear sólo este material, considerando que el tamaño de las partículas de la ceniza volante oscila entre 0.2 y 200 micras de diámetro.

De acuerdo a las características que establece la ASTM C 618, la ceniza de carbón calcinado pertenece al grupo de puzolanas artificiales que, a su vez, muestra

semejanza con las propiedades de una puzolana tipo C que corresponde a una ceniza volante de carbón semi-bituminoso, empleado en la zona de Cajamarca y gran parte del territorio peruano.

Tabla 10

Determinación de puzolanidad de la ceniza volante

Componentes químicas	ASTM C 618 (Puzolana Tipo C)	Ceniza volante de carbón
SiO ₂ + Al ₂ O ₂ + Fe ₂ O ₂	50 % mín	70.545 %
SO ₂	5 % máx	0 %

- La tabla anterior confirma que la ceniza volante de carbón empleada en la presente tesis cumple con los componentes químicos para considerarse una puzolana.
- De acuerdo a la Tabla 9, se determina que la ceniza volante de carbón cuenta en porcentaje con mayor cantidad de sílice (SiO₂), siendo del 39.20%, esto asegura la trabajabilidad que puede tener la mezcla del mortero, ya que, al mezclarse con la arena y cemento, permite que estos materiales trabajen en conjunto. Esta misma sílice ofrece mayor resistencia a compresión axial en los morteros, debido a su forma cristalina en su estado sólido, lo cual se consigue luego del proceso de fragua.
- El porcentaje contenido de 29.35% de óxido de aluminio (Al₂O₂) trabaja conjuntamente con la sílice, evitando con ello su oxidación.
- El porcentaje de óxido férrico (Fe₂O₂) de 1.995% funciona junto con los otros 02 componentes como un ligante, favoreciendo la trabajabilidad.
- El óxido de calcio (CaO) de 0.006%, funciona como conglomerante lo cual hace que la mezcla sea más trabajable en su estado fresco.

- El óxido de potasio (K_2O) de 0.244%, funciona como un reactivo, reaccionando violentamente al entrar en contacto con el agua, absorbiéndola y haciendo que la mezcla se endure.
- La ventaja de no contener óxido de azufre (SO_3) es que evita la creación de enlaces entre las partículas de la mezcla, puesto que este reactivo reacciona violentamente al entrar en contacto con el agua.

2.5.1.4. Agua.

El agua empleada fue potable con PH neutro, la cual se empleó para la mezcla y para el curado.

2.6. Aspectos éticos

La investigación contiene resultados válidos, garantizando el análisis correcto de los datos de acuerdo a los resultados obtenidos por los ensayos en laboratorio, los mismos que se realizaron siguiendo las guías y normativas y realizando los ensayos en las fechas precisas de acuerdo a cada edad de curado.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

El presente capítulo presenta los resultados obtenidos en cada ensayo de laboratorio, los mismos que consisten en determinar y comparar las propiedades físico-mecánicas del mortero con y sin adición de ceniza volante mediante los ensayos de resistencia a compresión axial, absorción y capilaridad.

3.1. Resistencia a la compresión axial

Se ensayaron 03 muestras de cada probeta de mortero con y sin adición, a las edades de curado de 07, 14 y 28 días, por lo que los resultados obtenidos para la resistencia a la compresión axial de acuerdo a la NTP 334.051 fueron los siguientes:

Tabla 11

Resistencia a compresión axial (Kg/cm²)

Adición de ceniza volante (%)	Resistencia a la compresión axial (Kg/cm ²)		
	07 días	14 días	28 días
0	101.05	124.23	136.87
2	108.92	121.42	129.04
3	85.46	109.46	128.33
5	66.13	107.86	123.05

Figura 4

Comparación de resistencia a compresión axial del mortero con y sin adición

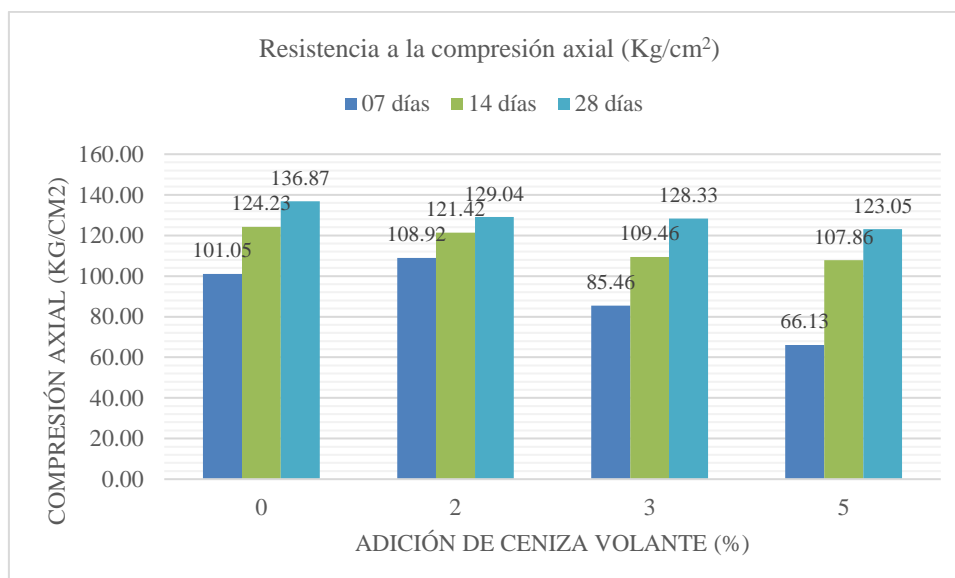


Figura 5

Resistencia a la Compresión del Mortero Patrón

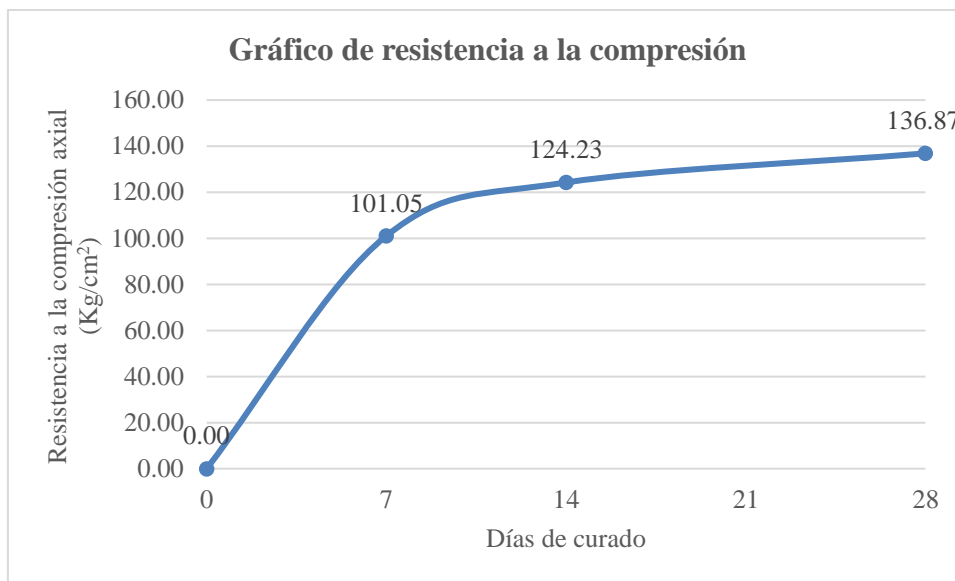


Figura 6

Resistencia a la Compresión del Mortero con adición del 2%

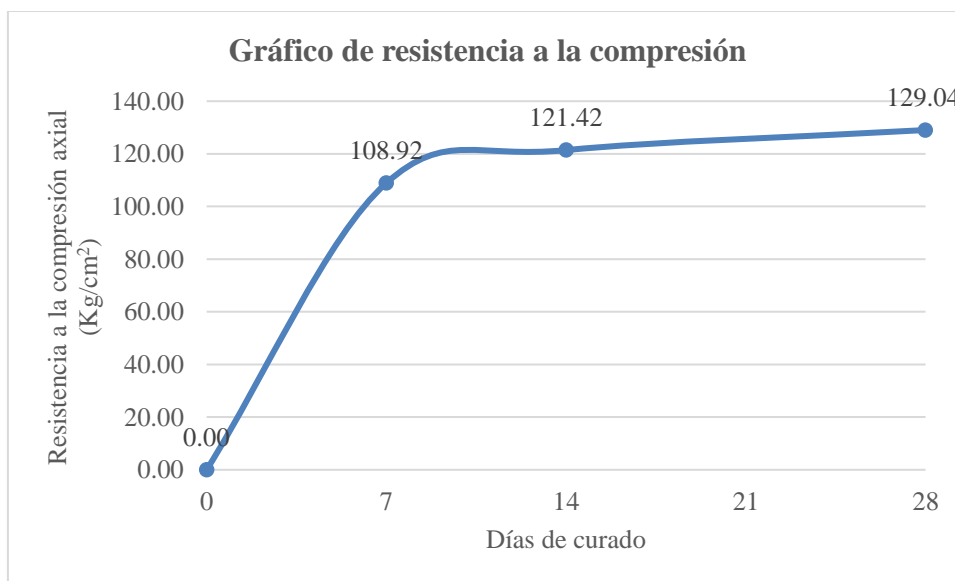


Figura 7

Resistencia a la Compresión del Mortero con adición del 3%

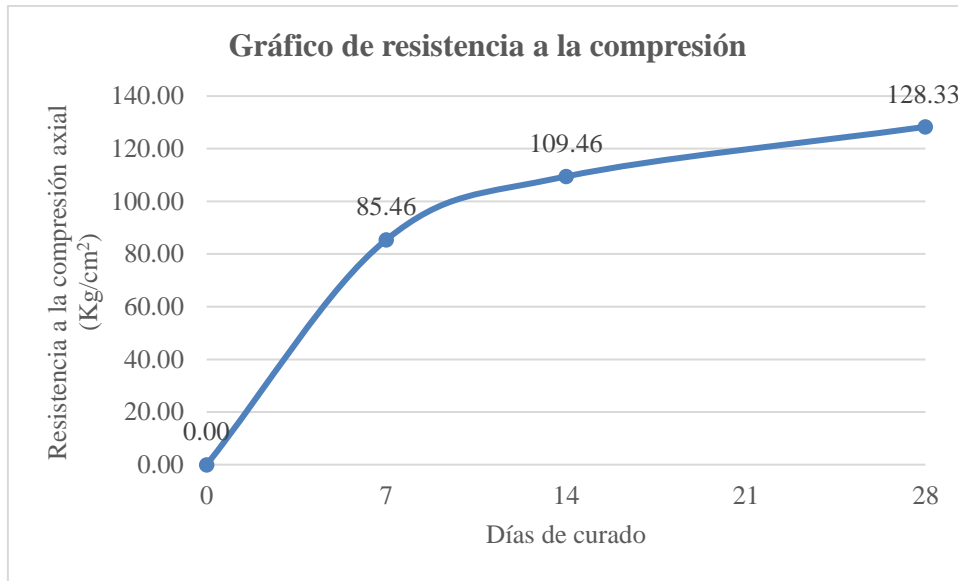
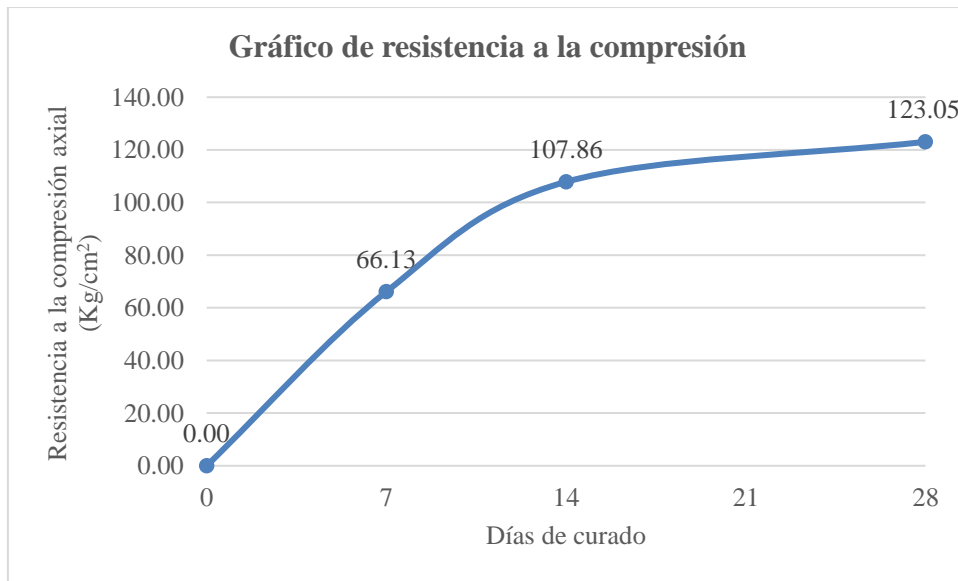


Figura 8

Resistencia a la Compresión del Mortero con adición del 5%



Se observa que, la resistencia a compresión axial de los morteros con adición de ceniza volante de carbón es baja en la primera edad de curado, incrementando considerablemente su resistencia en la siguiente edad de curado, se cumple con la resistencia de diseño para las adiciones de 2% y 3%, mientras que para el 5% esta resistencia es baja.

La disminución de resistencia es debido a que la ceniza cuenta con material grueso que pasa la malla N°100, haciendo que los vacíos que existían en la mezcla de mortero de cemento se saturan por completo con la ceniza, por lo cual no se pudo generar la reacción química en la mezcla, influyendo considerablemente en la resistencia.

El grupo de probetas para cada muestra no supera el 8.7% de variación respecto al promedio de las 03 probetas, de acuerdo a lo dispuesto en la NTP 334.051; cumpliéndose con este requisito para la presente investigación, esto se puede visualizar en la siguiente tabla.

Tabla 12

Variación porcentual de muestras a compresión axial

Adición de ceniza volante (%)	Muestra	Carga aplicada (Kg-f)	Resistencia Compresión (Kg/cm ²)	Promedio (Kg/cm ²)	Variación respecto al promedio (%)	Desviación estándar
0	7 días	1	2518	101.05	99.33	1.70%
		2	2564		101.14	-0.09%
		3	2603		102.68	-1.61%
	14 días	1	3148	124.23	125.67	-1.16%
		2	3160		123.91	0.25%
		3	3102		123.10	0.91%
	28 días	1	3448	136.87	134.40	1.80%
		2	3517		138.73	-1.36%
		3	3534		137.48	-0.45%
2	7 días	1	2764	108.92	108.17	0.69%
		2	2803		109.91	-0.91%
		3	2755		108.67	0.22%
	14 días	1	3015	121.42	119.41	1.66%
		2	3096		121.88	-0.38%
		3	3099		122.98	-1.28%
	28 días	1	3226	129.04	128.53	0.40%
		2	3236		128.93	0.09%
		3	3248		129.66	-0.48%
3	7 días	1	2129	85.46	83.15	2.70%
		2	2164		84.52	1.10%
		3	2267		88.72	-3.81%
	14 días	1	2593	109.46	102.49	6.37%
		2	2164		113.68	-3.85%
		3	2267		112.22	-2.52%
	28 días	1	3322	128.33	131.04	-2.11%

		2	3097	120.96		5.74%		
		3	3378	132.99		-3.63%		
		1	1740	68.77		-4.00%		
	7 días	2	1710	67.19	66.13	-1.60%	3.300	
		3	1589	62.43		5.59%		
		1	2832	111.27		-3.16%		
	5	14 días	2	2705	106.91	107.86	0.87%	3.052
		3	2661	105.39		2.29%		
		1	2948	115.83		5.87%		
	28 días	2	3214	125.78	123.05	-2.21%	6.322	
		3	3253	127.56		-3.66%		

3.2. Absorción

Los resultados obtenidos del ensayo de absorción fueron los siguientes:

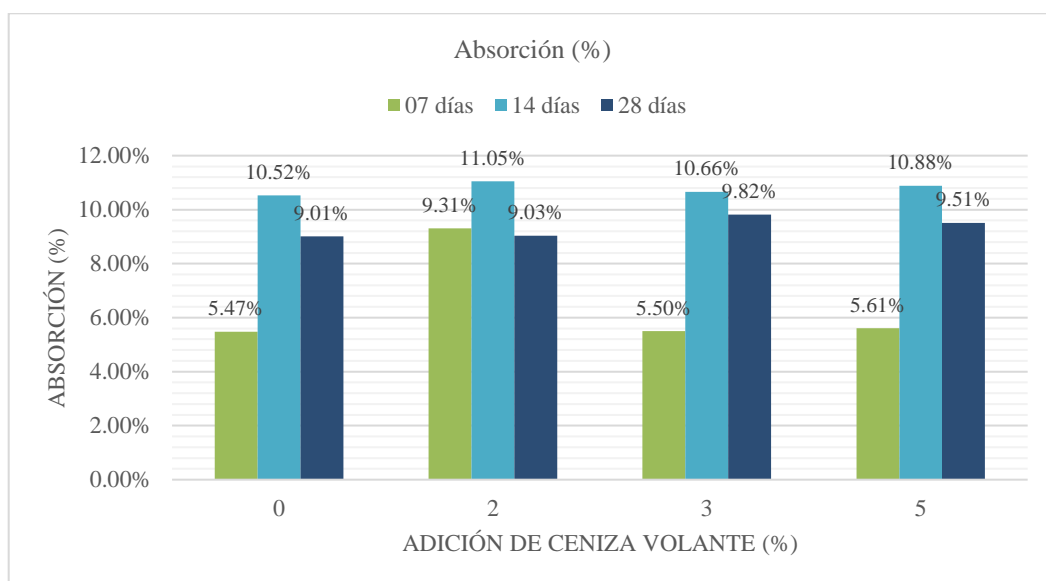
Tabla 13

Absorción (%)

Adición de ceniza volante (%)	Absorción (%)		
	07 días	14 días	28 días
0	5.47%	10.52%	9.01%
2	9.31%	11.05%	9.03%
3	5.50%	10.66%	9.82%
5	5.61%	10.88%	9.51%

Figura 9

Comparación de absorción del mortero con y sin adición (%)



3.3. Capilaridad

De acuerdo a los ensayos de capilaridad en base a la ASTM C 1585, se obtuvieron los siguientes resultados:

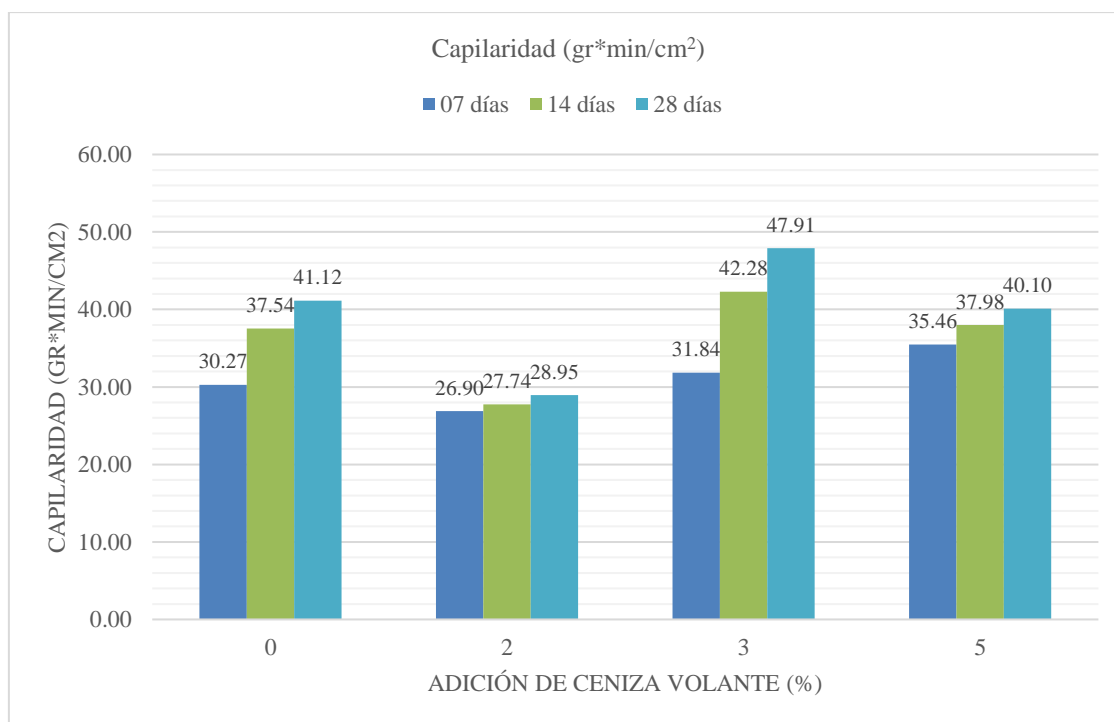
Tabla 14

Capilaridad ($gr \cdot min/cm^2$)

Adición de ceniza volante (%)	Capilaridad ($gr \cdot min/cm^2$)		
	07 días	14 días	28 días
0	30.27	37.54	41.12
2	26.90	27.74	28.95
3	31.84	42.28	47.91
5	35.46	37.98	40.10

Figura 10

Comparación de capilaridad del mortero con y sin adición ($gr \cdot min/cm^2$)



3.4. Comparación de la variación entre las diferentes adiciones de ceniza volante en el mortero de cemento hidráulico

Al adicionar diferentes porcentajes de ceniza volante en la mezcla de mortero de cemento, se han identificado las siguientes variaciones:

Tabla 15

Comparación de propiedades físico-mecánicas del mortero de cemento al adicionar porcentajes de ceniza volante

Adición de ceniza volante (%)	Resistencia a la compresión axial (Kg/cm ²)	Absorción (%)	Capilaridad (gr*min/cm ²)
0	136.87	9.01%	41.12
2	129.04	9.03%	28.95
3	128.33	9.82%	47.91
5	123.05	9.51%	40.10

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

Tal como lo expresa Aliaga (2017), la ceniza de cascarilla de arroz es un material puzolánico con alto porcentaje de sílice del 91%, a diferencia de la ceniza de carbón, ambas son puzolanas, pero esta última cuenta sólo con el 39.20%, esta diferencia puede darse debido al control de la calcinación, así como la finura del material, siendo la ceniza de carbón más gruesa.

Analizando los resultados de los ensayos de las probetas de mortero de cemento, se muestra una comparación de los mismos a las edades de curado de 7, 14 y 28 días, para contrastar si las propiedades físico-mecánicas del mortero convencional aumentan o disminuyen en relación con los morteros adicionados.

De acuerdo a estos ensayos, el mortero adicionado en un 2% con ceniza volante de carbón tiene una resistencia a compresión axial superior a su resistencia de diseño, llegando a los 129.04 Kg/cm², sin superar la resistencia del mortero patrón, mientras que los demás no logran superar esta resistencia; así mismo es necesario recalcar que los morteros adicionados han tenido una resistencia inicial baja, la misma que ha incrementado considerablemente en las últimas edades de curado, aun así para el 5% de adición esta resistencia no logra llegar a los 125Kg/cm².

Esto es similar a los resultados obtenidos por Aliaga (2017), que obtuvo una resistencia a compresión baja para morteros con arena gruesa y reemplazo por ceniza de cascarilla de arroz, obteniendo una mejora de resistencia en la adición al 1% de 226Kg/cm² para un mortero 1:4, más rico, estando dentro del rango también las adiciones de 2% con 196.9 Kg/cm² y 3% de 175.5Kg/cm², pero disminuyendo la resistencia para la adición del 4% con 142.7Kg/cm².

Dentro de los resultados de la adición de ceniza volante de carbón en concretos, se obtuvo un incremento continuo con cada adición de dicha puzolana, siendo la más alta resistencia a la compresión la adición del 6% con una resistencia a los 28 días de 241 kg/cm^2 , con ello se demuestra que “las cenizas volantes pueden contribuir a mejorar la resistencia a la compresión del concreto a edades tan tempranas como los 28 días, dándole la calidad requerida” (Peña & Contreras, 2017).

Estos resultados muestran que las puzolanas tienden a tener una resistencia a compresión baja en las primeras edades, pero a partir de los 28 días alcanzan y pueden sobrepasar su resistencia a comparación de morteros convencionales sin adición, esto debido a sus altos contenidos de sílice y alúmina.

Tanto la absorción como la capilaridad son indicadores de la permeabilidad de los morteros o concretos, es así que Peña & Contreras (2017) concluyeron que con una adición al 6% de ceniza volante de carbón en el concreto obtienen una penetración promedio de 52.5mm a diferencia del concreto patrón de 137mm, comprobando que disminuyen la permeabilidad contribuyendo con la mejora de la durabilidad.

En absorción Aliaga (2017) determina que, en el mortero con arena gruesa requiere una menor cantidad de agua que un mortero de arena fina por lo que generará un mayor porcentaje de vacíos al momento de evaporarse el agua que serán llenados por la ceniza; esto genera menor porcentaje de poros y por ende de absorción.

En la presente investigación se determinó que, la absorción para todos los morteros es baja, a los 14 días aumenta considerablemente, mientras que a los 28 días vuelve a disminuir, siendo la adición del 2% la que se asemeja al motero patrón y las demás son más elevadas.

En cuanto a la capilaridad se resalta que la adición al 2% disminuye notoriamente su índice de capilaridad en relación al mortero patrón, por lo que es beneficioso puesto que contribuye en evitar el paso del agua al disminuir su velocidad de penetración de agua. La ceniza al ser mezclada con la arena gruesa, solo logra ocupar los poros dejados por la mezcla al evaporarse el agua ya que es un componente permanentemente insoluble, por lo cual disminuye la velocidad capilar.

Tal como lo demuestra Aliaga (2017), en su mezcla de ceniza con arena fina obtuvo mayor absorción de agua a diferencia de la mezcla con arena gruesa, alcanzándose menor velocidad capilar en la adición de 1%.

Se reconoce que, la absorción capilar está relacionada directamente con la porosidad del mortero, puesto que, si es más porosa la probeta, mayor contenido de agua se absorberá, factor que influye en la vida útil de las estructuras, demostrándose que la adición de esta ceniza volante u otra puzolana pueden disminuir la porosidad del mortero convencional.

Con esta investigación se resalta la importancia de contribuir con el medio ambiente mediante el empleo o reutilización de los residuos que genera la misma construcción desde la fabricación de materiales, hasta la demolición de las construcciones; pero buscando siempre que el empleo de estos nuevos materiales pueda mantener o mejorar sus propiedades respecto a los materiales convencionales.

Con la reutilización de la ceniza de carbón, se contribuye a la reducción de desechos producidos por las ladrilleras artesanales que existen en gran cantidad en nuestro país y específicamente en Cajamarca, demostrando que se pueden emplear para mejorar las propiedades del mortero evitando desecharlos y continuar generando residuos por parte de esta industria.

Como limitación principal se tuvo que por las fechas de realización de la presente tesis se contaba con mucha gente en el laboratorio, cubriendo el aforo del ambiente, por lo que se solucionó reservando con anticipación el laboratorio para las fechas precisas de acuerdo a cada edad de curado.

La implicancia práctica de esta investigación es el contribuir con la reutilización de un residuo generado por la fabricación de ladrillos de arcilla en la generación de nuevos materiales como el mortero de cemento y, con ello, disminuir la contaminación ambiental, considerando que el sector de la construcción consume gran cantidad de recursos naturales y genera muchos residuos; con la reutilización de la ceniza volante se puede incluir la sostenibilidad dentro de la ingeniería civil.

Se recomienda emplear el nuevo mortero para la construcción de muros portantes, puesto que se logra cumplir con la resistencia, y en ambientes con clima húmedo, debido a los resultados favorables del estudio de absorción y capilaridad.

Realizar los mismos ensayos de la presente tesis con ceniza volante de carbón de diferentes ladrilleras de diferentes zonas, para comparar su influencia en las propiedades físico-mecánicas del mortero de cemento.

Analizar la influencia de la calcinación del carbón en los hornos de las ladrilleras en las diferentes zonas y distinguir cómo afecta en la actividad puzolánica de la ceniza volante en los morteros.

Tener cuidado en la aplicación de la mezcla de mortero en situaciones reales, puesto que la mezcla realizada se realizó en laboratorio considerando las proporciones exactas e intentando que sea lo más homogénea posible, aspecto que en una construcción no siempre se supervisa con la precisión requerida.

Se sugiere realizar otras investigaciones, analizando la propiedad de adherencia en la mezcla de mortero de cemento.

4.2 Conclusiones

Se determinó la influencia de la adición de ceniza volante en una mezcla de mortero de cemento resultando que, la resistencia a compresión axial se cumple en las adiciones del 2% y 3% sin lograr superar la resistencia del mortero patrón, el porcentaje de absorción con el 2% tiene similitud con el mortero patrón, pero las adiciones del 3% y 5% superan dichos porcentajes, en la capilaridad se redujo el 29.6% con la adición del 2%, con el 3% se incrementó el 16.52% y con el 5% se redujo el 2.49%. Se observa que con la adición del 2% de ceniza volante se cumple con las propiedades físico-mecánicas del mortero de cemento, pero con las adiciones del 3% y 5% estas propiedades disminuyen considerablemente. Por lo tanto, la hipótesis se cumple parcialmente, teniendo para la capilaridad una reducción del 29.6% para la adición del 2%.

Con la adición del 2% y 3% se cumple con la resistencia de diseño, llegando a 129.04Kg/cm^2 y 128.33Kg/cm^2 respectivamente, mientras que el mortero sin adición cuenta con una mayor resistencia a compresión axial de 136.87Kg/cm^2 , en cambio, la adición del 5% no llega a cumplir con la resistencia esperada obteniendo 123.05Kg/cm^2 , esto debido a que las puzolanas reaccionan al entrar en contacto con el agua y dan lugar a compuestos insolubles y estables, actuando como conglomerantes hidráulicos que favorece en la resistencia a compresión del mortero y concreto, siempre que se adicionen en los porcentajes adecuados dependiendo del tipo de puzolana y sus características físico-químicas y, en este caso, la puzolana adicionada ha sido gruesa, por lo que no ha logrado desarrollar sus propiedades conglomerantes.

En la absorción, sus propiedades mejoran en cada edad de curado, identificándose que la muestra con adición de 2% tiene un gran porcentaje de absorción inicial, manteniéndose similar a las demás muestras en las siguientes

edades de curado, la absorción a los 28 días del 2% es de 9.03%, similar al mortero patrón de 9.01% mientras que, en las demás adiciones esta absorción es más elevada, siendo de 9.82% para el 3% y 9.51% para el 5%; mientras que para la capilaridad, se comprobó que la adición del 2% se mantiene en un rango inferior en comparación a las demás probetas, contando con 28.95 gr*min/cm² de capilaridad; disminuyendo el 29.6% de capilaridad a comparación del mortero patrón, con ello se demuestra que el mortero con adición del 2% de ceniza volante de carbón favorece considerablemente la propiedad de capilaridad del mortero de cemento, pero en las adiciones del 3% y 5% se incrementa el 16.52% y se disminuye el 2.49% respectivamente.

Comparando los resultados de los ensayos a los 28 días de curado se tiene que, en la resistencia a la compresión axial el mortero patrón alcanzó una resistencia de 136.87 Kg/cm², con la adición del 2% fue de 129.04 Kg/cm², con el 3% de 128.33 Kg/cm² y con el 5% de 123.05 Kg/cm²; el porcentaje de absorción para el mortero patrón fue de 9.01%, con la adición del 2% fue de 9.03%, con el 3% fue de 9.82% y con el 5% fue de 9.51%; y la capilaridad del mortero patrón fue de 41.12 gr*min/cm², para la adición del 2% se tuvo 28.95 gr*min/cm², para el 3% fue de 47.91 gr*min/cm² y para el 5% fue de 40.10 gr*min/cm².

REFERENCIAS

- Aliaga, A. (2018). Evaluación de ceniza de cascarilla de arroz y tipos de agregados finos sobre la compresión, sorptividad y densidad de morteros de cemento portland tipo I, Trujillo 2017 [Tesis de título profesional]. In *Universidad Privada del Norte*. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3077_C.pdf
- Arriola, J. (2009). *Diseño de morteros con cementos hidráulicos para la construcción de muros con elementos de mampostería* [Tesis de título profesional]. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3077_C.pdf
- ASTM C1585. (2020). *Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes*.
- ASTM C618. (2019). *Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete*.
- ASTM C642. (2013). *Standard Test Method for Density, Absorption and Voids in Hardened Concrete*.
- Burgos, D., Angulo, D., & Mejía, R. (2012). *Durabilidad de morteros adicionados con cenizas volantes de alto contenido de carbón*. https://www.researchgate.net/profile/Ruby_Mejia2/publication/279716629_Durability_of_blended_mortars_using_fly_ash_of_high_unburned_carbon_content/links/55fed81a08aeafc8ac892d9b/Durability-of-blended-mortars-using-fly-ash-of-high-unburned-carbon-content.p
- INDECOPI. (1999). *NTP 339.127. Norma Técnica Peruana: Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo*.
- INDECOPI. (2001). *NTP 400.012. Agregados. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global*.
- INDECOPI. (2009). *NTP-400.011. Agregados. Definición y clasificación de agregados para*

uso en morteros y hormigones (concretos). *Norma Técnica Peruana*, 16.

INDECOPI. (2011a). *NTP 334.005. CEMENTOS. Método de ensayo normalizado para determinar la densidad del cemento Pórtland.*

INDECOPI. (2011b). *NTP 400.017. Agregados. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("Peso Unitario") y los vacíos en los agregados.*

INDECOPI. (2013a). *NTP 334.051. Cementos. Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de morteros de cemento Portland usando especímenes cúbicos de 50mm de lado.*

INDECOPI. (2013b). *NTP 400.022. Agregados. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino. 3a Edición.*

Jiménez Chávez, G. A. (2016). Resistencia a la compresión del concreto $f'c = 210$ kg/cm² con la adición de diferentes porcentajes de ceniza de bagazo de caña de azúcar, UPNC 2016 [Tesis de título profesional]. In *Universidad Privada del Norte*. <http://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/9982>

Ministerio de la Producción. (2010). *Guía de buenas prácticas para ladrilleras artesanales*. http://www.redladrilleras.net/apps/manual_ccac/pdf/es/Peru_RM-102-2010-PRODUCE.pdf

MVCS. (2006). Norma Técnica E. 070 - Albañilería. *El Peruano*, 295–309. <https://www.sencico.gob.pe/publicaciones.php?id=230>

MVCS. (2019). *Reglamento Nacional de Edificaciones*. El Peruano.

Peña, J., & Contreras, K. (2017). *Análisis De La Resistencia a La Compresión Y Permeabilidad En El Concreto Adicionando Dosificaciones De Cenizas Volantes De Carbón En La Mezcla. Facultad* [Tesis de título profesional].

<http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/32303>
<http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/32303>

Salamanca, R. (2001). La Tecnología de los morteros. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 11(1), 13.

Sánchez de Guzmán, D. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero*. Bhandar Editores.

<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=EWq-QPJhsRAC&oi=fnd&pg=PA5&dq=MORTERO+DE+CEMENTO&ots=gYJTEouYLl&sig=qfwj7KEkVaE5YqD7LAtVJl10ifg#v=onepage&q=MORTERO DE CEMENTO&f=false>

Sánchez de Rojas, M. I., Frías, F., Rivera, J., Escorihuela, M. J., Marín, F. P., & Marín, F. P. (2001). Investigación sobre la actividad puzolánica de materiales de desecho procedentes de arcilla cocida. *Materiales de Construcción*, 51(261), 45–52.
<https://doi.org/10.3989/mc.2001.v51.i261.379>

Soriano, C. (2012). Diagnóstico nacional del sector ladrillero artesanal. *Red Ladrilleras*.
<http://www.redladrilleras.net/assets/files/08f34d2be1d32a80a13a48f2633dd73c.pdf>

ANEXOS

ANEXO 1: Operacionalización de variables

Tabla 16

Operacionalización de variables

Variable		Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores
Independiente	Ceniza volante	Material inorgánico y puzolánico, se obtiene a través de un proceso de calcinación del carbón.	Químicas	Contenido de Óxido de Silicio (SiO_2), Óxido de Aluminio (Al_2O_3) y Óxido Férrico (Fe_2O_3)
	Resistencia a la compresión axial	Capacidad para soportar una carga axial.	Propiedad mecánica	σ (Kg/cm^2)
Dependiente	Capilaridad	La cantidad de líquido que se eleva en la zona de contacto de un sólido.	Propiedad física	Capilaridad promedio ($\text{gr} \cdot \text{min}/\text{cm}^2$)
	Absorción	Capacidad para absorber un líquido, depende de la porosidad.	Propiedad física	Absorción promedio (%)

ANEXO 2: Resultados del análisis químico de la muestra de ceniza volante

Figura 11

Análisis químico de la muestra de ceniza volante de carbón



Ensayos Físicos, Químicos y de Mecánica de Suelos,
Concreto y Pavimentos, Análisis Químicos de Minerales y Agua.
Estudio de: Mecánica de Suelos y Rocas, Concreto y Pavimentos.
Impacto Ambiental, Construcción de Edificios, Obras de Ingeniería Civil.
PROYECTOS – ASESORÍA Y CONSULTORÍA
CELULAR : 948818861

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE UNA MUESTRA DE CENIZA DE CARBÓN CON RESIDUO DE ARCILLA CALCINADA

SOLICITA: VIVIANA LISSET ANGULO ZAVALETA
TESIS: INFLUENCIA DE LA ADICIÓN PARCIAL DE CENIZA DE CARBÓN EN LAS PROPIEDADES FÍSICO- MECÁNICAS DEL MORTERO DE CEMENTO.
MUESTRA: CENIZA DE CARBÓN
FECHA: 17/10/19

ANÁLISIS

MUESTRA	Oxido de Silicio SiO ₂ (%)	Oxido de Aluminio Al ₂ O ₃ (%)	Oxido Férrico Fe ₂ O ₃ (%)	Oxido de Potasio K ₂ O (%)	Oxido de Calcio CaO (%)	Oxido de Magnesio MgO (%)	Oxido de Sodio Na ₂ O (%)	CONTENIDO DE CARBÓN (%)
M - 1	39.20	29.35	1,995	0,244	< 0,006	0,046	0,945	14.40

Nota: La muestra fue alcanzada al Laboratorio por el interesado para su análisis respectivo.


Ing. MSc. Hugo Mosquera Estrover
JEFE DE LABORATORIO
CIP 27664

ANEXO 3: Panel fotográfico

Figura 12

Obtención de arena gruesa de Cantera Margarita - Chilete



Nota: Se realizó la selección del material de diferentes puntos de la cantera, mediante el método del cuarteo, se dividió en 4 partes y se escogieron sólo dos de ellas.

Figura 13

Obtención de ceniza volante de carbón de piedra de la Ladrillera Dobertin - Cerrillo



Nota: Con el permiso del dueño de la ladrillera, se recopiló la ceniza volante, la misma que se encontraba en un punto del terreno, para luego ser eliminado, sin un uso posterior.

Figura 14

Tamizado del agregado fino



Figura 15

Ensayo de contenido de humedad del agregado fino



Figura 16

Ensayo de peso unitario suelto del agregado fino

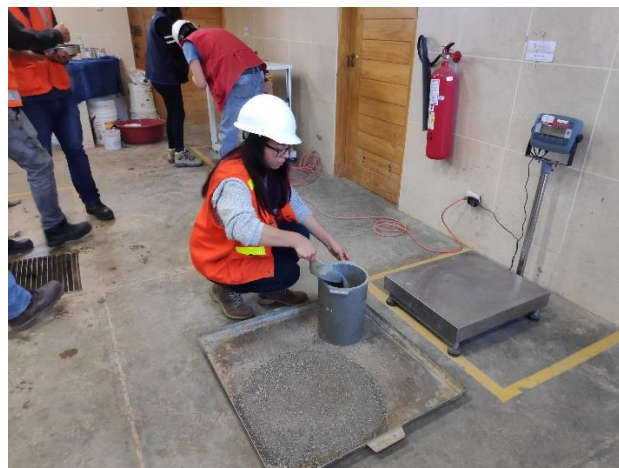


Figura 17

Ensayo de peso unitario compactado del agregado fino



Figura 18

Secado superficialmente seco del agregado fino

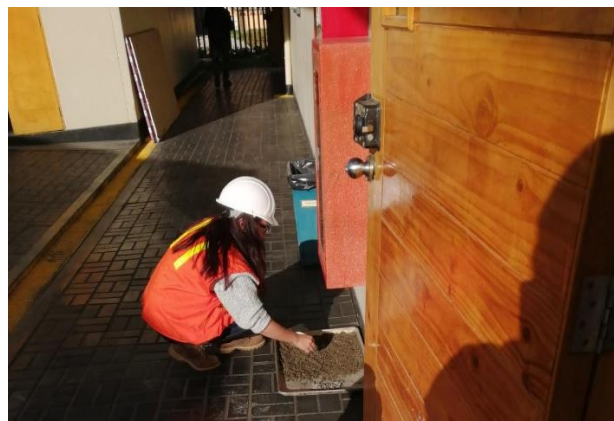


Figura 19

Pruebas con el molde cónico para revisar si el agregado ya se encuentra superficialmente seco



Figura 20

Picnómetro con agua y agregado fino superficialmente seco



Figura 21

Peso del agregado fino para el ensayo del peso específico



Figura 22

Ensayo de peso específico del cemento hidráulico tipo I



Figura 23

Moldes de madera para mortero de cemento



Nota: Los moldes se realizaron en madera con medidas internas de 5cmx5cmx5cm, de forma que se pudieran empernar por los dos laterales para su fácil desmontaje.

Figura 24

Elaboración del mortero de cemento



Figura 25

Colocación de mortero en los moldes de madera



Figura 26

Probetas de mortero de cemento con diferentes adiciones



Figura 27

Desmoldaje de mortero de cemento



Figura 28

Curado de mortero de cemento



Figura 29

Medición de probetas de mortero para ser ensayadas a la resistencia a la compresión axial



Figura 30

Ensayo de resistencia a la compresión de mortero de cemento



Figura 31

Peso de muestra húmeda para ensayo de absorción



Figura 32

Muestras en el horno para ser pesadas posteriormente



Figura 33

Peso de muestra seca para ensayo de absorción



Figura 34

Muestras en recipiente con agua a 1cm durante 3 horas, para ensayo de capilaridad



Figura 35

Peso de muestra luego de estar con agua a 1cm para ensayo de capilaridad



ANEXO 4: Peso específico del cemento

Tabla 17

Peso específico del cemento hidráulico

Descripción	Und	1	2	3
Peso de cemento utilizado	gr	64.00	64.00	64.00
Volumen inicial	cm ³	0.00	0.00	0.00
Volumen final	cm ³	20.45	20.40	20.50
Volumen desplazado	cm ³	20.45	20.40	20.50
Peso específico del cemento hidráulico	gr/cm ³	3.13	3.14	3.12
Peso específico del agua a 4°C	gr/cm ³	1.00	1.00	1.00
Peso relativo del cemento	gr/cm ³	3.13	3.14	3.12
Temperatura del ensayo	°C	18.50	18.60	18.10
Promedio del peso específico del cemento hidráulico	gr/cm³		3.13	

ANEXO 5: Contenido de humedad del agregado fino

Tabla 18

Contenido de humedad del agregado fino

Descripción	Und	1	2	3
Identificación del recipiente o Tara	-	Tara 1	Tara 2	Tara 3
Peso del Recipiente	gr	27.30	27.40	27.50
Recipiente + Material Natural	gr	180.80	182.90	175.10
Recipiente + Material Seco	gr	176.10	178.10	170.90
Peso del material húmedo	gr	153.50	155.50	147.60
Peso del material Seco	gr	148.80	150.70	143.40
Porcentaje de humedad	%	3.16%	3.19%	2.93%
Promedio Porcentaje Humedad	%		3.09%	

ANEXO 6: Análisis granulométrico del agregado fino

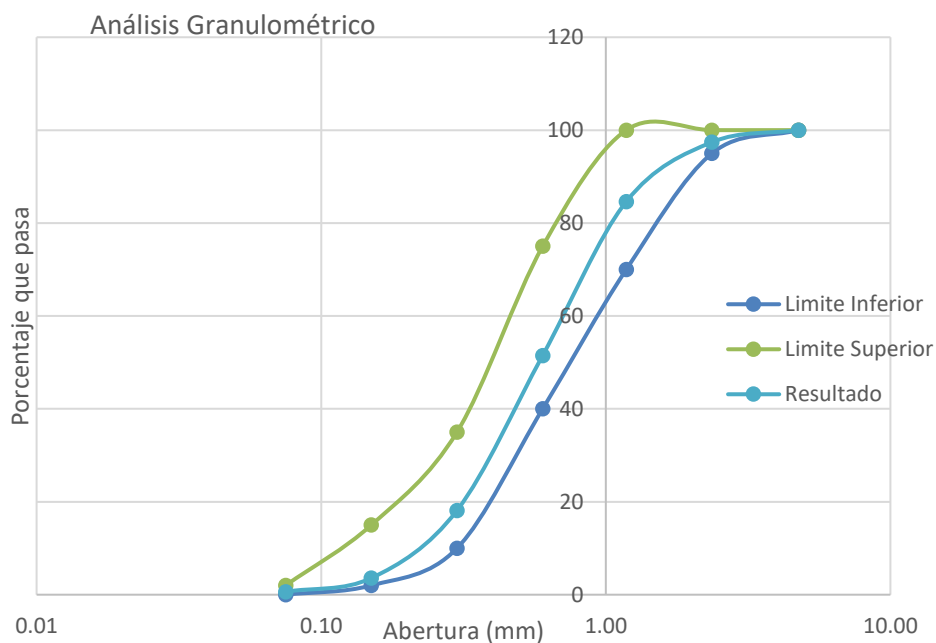
Tabla 19

Resultado de análisis granulométrico del agregado fino

Tamiz (Pulg)	Tamiz (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que pasa	Límite Inferior	Límite Superior
N° 4	4.75	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
N° 8	2.36	12.90	2.58	2.58	97.42	95	100
N° 16	1.18	64.00	12.80	15.38	84.62	70	100
N° 30	0.60	165.60	33.12	48.50	51.50	40	75
N° 50	0.30	166.80	33.36	81.86	18.14	10	35
N° 100	0.15	72.80	14.56	96.42	3.58	2	15
N° 200	0.08	14.70	2.94	99.36	0.64	0	2
Bandeja	0.00	3.20	0.64	100.00	0.00		
Total		500.00					

Figura 36

Curva granulométrica de la arena gruesa



$$MF = \frac{\%Ret. Acum. (N^{\circ}4 + N^{\circ}8 + N^{\circ}16 + N^{\circ}30 + N^{\circ}50 + N^{\circ}100)}{100}$$

$$MF = \frac{0 + 2.58 + 15.38 + 48.5 + 81.86 + 96.42}{100}$$

$$MF = 2.45$$

La NTP 400.012 establece que el módulo de finura para el agregado fino debe estar comprendido entre 2.3 y 3.1 y la NTE E.070 indica que debe estar entre 1.6 y 2.5, el agregado tiene un módulo de finura de 2.45, por lo que cumple con ambas normativas.

ANEXO 7: Peso unitario suelto y compactado del agregado fino

El ensayo se realizó a una muestra de agregado fino seco, utilizando un molde de volumen de 0.0093m³, para tamaño nominal de la muestra entre 1” y 3/4”.

Tabla 20

Peso unitario suelto y compactado del agregado fino

Descripción	Und	1	2	3
Peso Cilindro	Kg	4.79	4.79	4.79
Peso Cilindro + AF suelto	Kg	20.01	20.05	20.04
Volumen del Cilindro	m ³	0.0093	0.0093	0.0093
Peso del AF suelto	Kg	15.22	15.26	15.25
Densidad del AF suelto	Kg/m ³	1636.56	1640.86	1639.78
Promedio Densidad del AF suelto	Kg/m³		1639.07	
Peso Cilindro	Kg	4.79	4.79	4.79
Peso Cilindro + AF compactado	Kg	20.74	20.62	20.65
Volumen del Cilindro	m ³	0.0093	0.0093	0.0093
Peso del AF compactado	Kg	15.95	15.83	15.86
Densidad del AF compactado	Kg/m ³	1715.05	1702.15	1705.38
Promedio Densidad del AF compactado	Kg/m³		1707.53	

ANEXO 8: Peso específico y absorción del agregado fino

Tabla 21

Peso específico y absorción del agregado fino

Descripción	Und	1	2	3
Peso Saturado Superficialmente Seco del suelo (Psss)	gr	500.00	500.00	500.00
Peso del frasco + agua hasta marca de 500ml	gr	1265.20	1297.30	1287.40
Peso del frasco + agua + Psss	gr	1765.20	1797.30	1787.40
Peso del frasco + Psss + agua hasta la marca de 500ml	gr	1609.20	1599.70	1573.70
Volumen de masa + volumen de vacío	cm ³	156.00	197.60	213.70
Peso de tara	gr	73.00	153.30	146.50
Peso seco del suelo (en estufa a 105°C ± 5°C) + tara	gr	562.60	642.30	634.10
Peso seco del suelo (en estufa a 105°C ± 5°C)	gr	489.60	489.00	487.60
Volumen de masa	cm ³	145.60	186.60	201.30
Peso específico bulk (base seca)	gr/cm ³	3.14	2.47	2.28
Promedio peso específico bulk (base seca)	gr/cm³		2.63	
Peso específico (base saturada)	gr/cm ³	3.21	2.53	2.34
Promedio peso específico (base saturada)	gr/cm ³		2.69	
Peso específico aparente (base seca)	gr/cm ³	3.36	2.62	2.42
Promedio peso específico aparente (base seca)	gr/cm ³		2.80	
Absorción	%	2.12	2.25	2.54
Promedio Absorción	%		2.31	

ANEXO 9: Método de ensayo para el análisis granulométrico y Módulo de fineza (NTP 400.012)

Materiales y equipos:

- ✓ Muestra de 500 g.
- ✓ Juego de tamices normalizados.
- ✓ Balanza con aproximación de 0.01g.
- ✓ Taras.
- ✓ Envases, cepillo y brocha.

Procedimiento:

- ✓ Secar la muestra al aire, pesarla, pasar la muestra seca por el juego de tamices, agitando de forma manual, determinar el contenido retenido en cada malla.
- ✓ Colocar los datos en los formatos de laboratorio y proceder a los cálculos correspondientes.
- ✓ Para este ensayo es necesario considerar los límites granulométricos para la arena gruesa, según la norma ASTM C 144:

Tabla 22

Límites granulométricos para arena gruesa

Tamiz (pulg)	Abertura (mm)	% que pasa	
		Límite Inferior	Límite Superior
N° 4	4.75	100	100
N° 8	2.36	95	100
N° 16	1.18	70	100
N° 30	0.6	40	75
N° 50	0.3	10	35
N° 100	0.15	2	15
N° 200	0.075	0	2

Fuente: ASTM C 144

- ✓ Calcular el módulo de fineza con la siguiente fórmula:

$$MF = \frac{\%Ret.Acum.(N^{\circ}4,N^{\circ}8,N^{\circ}16,N^{\circ}30,N^{\circ}50 \text{ y } N^{\circ}100)}{100} \quad \text{Ecuación 1. Módulo de fineza}$$

ANEXO 10: Método de ensayo para el contenido de humedad (NTP 339.127)

Materiales y equipos:

- ✓ Muestra de 500g. de agregado fino en estado natural.
- ✓ Recipiente o taras.
- ✓ Balanza con aproximación de 0.01g.
- ✓ Estufa con control de temperatura u horno de temperatura de 100+-10°C.

Procedimiento:

- ✓ Se pesa el recipiente, luego la muestra con el recipiente, se deja secar por 24 horas a 105°C, se pesa la muestra seca con el recipiente. Finalmente, se registran los datos de los pesos, sin contar el peso de los recipientes.
- ✓ Procesamiento de datos:

$$W\% = \frac{W_w - W_s}{W_s} \times 100 \quad \text{Ecuación 2. Contenido de humedad}$$

Donde:

Ww: Peso natural

Ws: Peso seco

W%: Humedad total

ANEXO 11: Método de ensayo para la densidad de los agregados (NTP 400.017).

Densidad del agregado suelto seco.

Materiales y equipos:

- ✓ Muestra seca de aproximadamente 20Kg para agregado fino.
- ✓ Molde de volumen de 0.0093m³.
- ✓ Varilla compactadora de acero cilíndrica y punta semiesférica.
- ✓ Balanza con aproximación de 0.05Kg.
- ✓ Estufa con control de temperatura.

Procedimiento:

- ✓ Se pesa el recipiente, se llena con el agregado eliminando el sobrante con la varilla, se determina el peso y se registran los datos con una aproximación de 0.05Kg.
- ✓ La densidad del agregado suelto se calcula con la siguiente fórmula:

$$P_{USS} = \frac{\text{Peso}_{\text{recipiente+muestra}} - \text{Peso}_{\text{recipiente}}}{\text{Volumen}_{\text{recipiente}}} \quad \text{Ecuación 3. Densidad del agregado suelto}$$

Densidad del agregado compactado seco.

Materiales y equipos:

- ✓ Muestra seca de aproximadamente 20Kg para agregado fino.
- ✓ Molde de volumen de 0.0093m³.
- ✓ Varilla compactadora de acero cilíndrica y punta semiesférica.
- ✓ Balanza con aproximación de 0.05Kg.
- ✓ Estufa con control de temperatura.

Procedimiento:

- ✓ El agregado se coloca en el molde en 03 capas, en cada capa se nivela y se apisona con 25 golpes de varilla, colmado el recipiente se enrasa la superficie con la misma varilla y se pesa.
- ✓ La densidad del agregado compactado se calcula con la siguiente fórmula:

$$PUCS = \frac{Peso_{recipiente+muestra} - Peso_{recipiente}}{Volumen_{recipiente}} \quad \text{Ecuación 4. Densidad del agregado compactado}$$

ANEXO 12: Método de ensayo para la gravedad específica y absorción de los agregados finos (NTP 400.022)

Materiales y equipos:

- ✓ Muestra seca de 1000gr.
- ✓ Balanza con aproximación de 0.01g.
- ✓ Frasco volumétrico de 500 ml de capacidad, calibrado hasta 0.1 ml a 20 °C.
- ✓ Molde cónico metálico, 40 mm \pm 3 mm de diámetro en la parte superior, 90 mm \pm 3 mm de diámetro en la parte inferior y 75 mm \pm 3 mm de altura.
- ✓ Varilla compactadora de metal de 340 gr \pm 15 gr de peso con un extremo de superficie plana circular de 25 mm \pm 3 mm de diámetro.
- ✓ Estufa con control de temperatura.
- ✓ Recipiente con agua.
- ✓ Secadora.

Procedimiento:

- ✓ Se coloca la muestra en un recipiente cubriéndola con agua durante 24 horas, luego se lo extiende sobre una superficie plana expuesta a una corriente de aire caliente, puede ser con secadora, cuando los granos no se adhieran entre sí se los colocan en el molde cónico y se apisona 25 veces con la varilla de metal, luego se levanta el molde verticalmente, se repite el procedimiento hasta que el cono de agregado se desintegre, lo cual indica que el agregado fino se encuentra en estado saturado superficialmente seco.
- ✓ Se introduce 500gr de esta muestra en el frasco y se va agitando constantemente, luego se rellena el agua hasta la marca de 500ml y se obtiene el peso total, se retira la muestra, poniéndola a secar a una temperatura de 110°C \pm 5°C.

ANEXO 13: Método de ensayo para el peso específico del cemento (NTP 334.005)

Materiales y equipos:

- ✓ Cemento Portland Tipo I 64g.
- ✓ Gasolina
- ✓ Frasco patron de Le Chatelier
- ✓ Balanza de 0.01g de precisión
- ✓ Recipiente para baño de agua
- ✓ Termómetro de 0.2°C de precisión.

Procedimiento:

- ✓ Se llena el frasco con gasolina hasta la marca de 0ml, se coloca a baño María hasta que el líquido interior y exterior estén a temperatura constante, se completa con gasolina hasta la marca de 0ml.
- ✓ Se agrega el cemento, se tapa el frasco y se vuelve a colocar a baño María y se controla la temperatura. Se anota dicha temperatura, así como el volumen inicial y final del frasco.

ANEXO 14: Método de ensayo para la resistencia a compresión de mortero de cemento usado en especímenes cúbicos: NTP 334.051

Materiales y equipos:

- ✓ Probetas de mortero de cemento hidráulico.
- ✓ Prensa hidráulica
- ✓ Vernier.

Procedimiento:

- ✓ Se sacan los cubos de mortero de cemento del tanque de curado a los 07, 14 y 28 días, se secan y limpian de arena suelta o incrustaciones y se toman sus medidas de ancho, largo y altura con ayuda del vernier.
- ✓ Luego se colocan en la prensa hidráulica para determinar su resistencia a compresión y deformación de acuerdo a las cargas.
- ✓ Se procesan los datos en hojas Excel, considerando la siguiente fórmula:

$$\text{Esfuerzo} = \frac{\text{Carga (kg.f)}}{A(\text{cm}^2)} \quad \text{Ecuación 5. Esfuerzo a compresión axial}$$

Donde:

C: Carga de falla (Kg-f)

A: Área del mortero (cm²)

$$\varepsilon\mu = \frac{D(\text{mm})}{h(\text{mm})} \quad \text{Ecuación 6. Deformación unitaria}$$

Donde:

D: Deformación (mm)

h: Altura del cubo (mm)

ANEXO 15: Método de ensayo para la absorción, de acuerdo a la norma: Densidad, absorción y vacíos en concreto endurecido ASTM C 642

Materiales y equipos:

- ✓ Probetas de mortero de cemento hidráulico.
- ✓ Estufa con control de temperaturas o Horno de Temperatura: $100 \pm 10^\circ\text{C}$.
- ✓ Balanza con aproximación de 0.01 gr.

Procedimiento:

- ✓ Se sacan los morteros del tanque de curado, se secan superficialmente con una toalla o trapo y se pesan, posteriormente se lo colocan en la estufa por 24 horas, se los deja enfriar por 15min y se los vuelve a pesar.

$$ABS = \frac{SSS - S}{S} \quad \text{Ecuación 7. Absorción de los morteros}$$

Donde:

ABS: Absorción (%)

SSS: Peso de la muestra saturada superficialmente seca (gr)

S: Peso de la muestra seca (gr)

ANEXO 16: Método de ensayo para la capilaridad: Método de prueba estándar para la medición de la tasa de absorción de agua por hormigones de cemento hidráulico ASTM C 1585

Materiales y equipos:

- ✓ Probetas de mortero de cemento hidráulico.
- ✓ Estufa con control de temperaturas u Horno de Temperatura: $100 \pm 10^\circ\text{C}$.
- ✓ Recipiente transparente.
- ✓ Vernier.
- ✓ Balanza de 0.01g de precisión.

Procedimiento:

- ✓ Se secan los morteros en el horno por 24 horas y se pesan, se marca a la altura de 1cm a partir de la base y se colocan sobre una base dentro del recipiente.
- ✓ Este recipiente se llena de agua hasta la altura marcada de 1cm en los morteros y se espera por 03 horas. Luego de ello se retiran los morteros y se vuelven a pesar para obtener la cantidad de agua absorbida.
- ✓ Se toman las medidas de largo, ancho y altura de humedad de cada mortero, para posteriormente procesar todos los datos y obtener la capilaridad.

$$S = 2(a + b) * h_i \quad \text{Ecuación 8. Área lateral del fleco capilar}$$

Donde:

a: Ancho promedio de la muestra (cm)

b: Profundidad o largo de la muestra (cm)

hi: Altura que alcanza la humedad de la muestra

$$k = \frac{P * T}{S} \quad \text{Ecuación 9. Capilaridad}$$

Donde:

P: Peso del agua absorbida (gr)

S: Área lateral del fleco capilar (cm^2)

T: Tiempo de exposición con el agua (min)

ANEXO 17: Protocolos de los ensayos realizados