

Influence of the addition of 2%, 3% and 5% of fly ash on the physical-mechanical properties of cement mortar

Viviana Lisset Angulo Zavaleta, MBA¹, Orlando Aguilar Aliaga, D.Sc.²

¹Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca, Perú, N00016146@upn.edu.pe

²Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca, Perú, orlando.aguilar@upn.edu.pe

Abstract– The objective of this work was to evaluate the influence of the addition of coal fly ash, a residue from the manufacture of clay brick, in the manufacture of cement mortar; in order to reuse construction waste in the creation of new materials, reducing the cost of raw materials and contributing to the environment. The standard cement mortar designed for a resistance of 125Kg/cm² was compared with additions of 2%, 3% and 5% of fly ash, in axial compression, absorption and capillarity tests. The mortars with addition of 2% and 3% of fly ash reached the designed strength but did not exceed the standard mortar, with strengths of 129.04Kg / cm² and 128.33Kg / cm² respectively, while the addition of 5% reached 123.05Kg/cm². Capillarity with the addition of 2% decreases 29.59% in relation to the standard mortar, at 3% it increases 1.52% and at 5% it decreases 2.49%; the absorption in the 2% addition varies with the standard by 0.29%, in the other additions it increases. It is shown that the fly ash works as an artificial pozzolana, favoring the physical-mechanical properties of the hydraulic cement mortar, being viable its use in small additions.

Keywords– Cement mortar, fly ash, resistance to axial compression, absorption, capillarity.

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2021.1.1.142>

ISBN: 978-958-52071-8-9 ISSN: 2414-6390

Influencia de la adición del 2%, 3% y 5% de ceniza volante en las propiedades físico-mecánicas del mortero de cemento

Viviana Lisset Angulo Zavaleta, MBA¹, Orlando Aguilar Aliaga, D.Sc.²

¹Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca, Perú, N00016146@upn.edu.pe

²Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca, Perú, orlando.aguilar@upn.edu.pe

Resumen– El objetivo de este trabajo fue 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/cm² 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/cm² y 128.33Kg/cm² respectivamente, mientras que la adición del 5% llegó a 123.05Kg/cm². 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.

I. INTRODUCCIÓN

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 [1].

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

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

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 [1].

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 [2].

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 [3].

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 desechos 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 [4], 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 [5].

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 [2].

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.

“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” [6]. 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 I
TIPOS DE MORTERO

Tipos de mortero				
Componentes				Usos
Tipo	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

El cemento es un material aglomerante que tiene propiedades de adherencia y cohesión, permitiendo unir minerales para formar un conglomerado con resistencia y durabilidad [7]. 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 [8].

Para los morteros, “el agregado fino será arena gruesa natural, libre de materia orgánica y sales” [6], además de tener un módulo de finura entre el 1.6 y 2.5.

Las puzolanas 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 [9].

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” [9].

Resistencia a la compresión, referido al esfuerzo máximo que puede resistir un material bajo una carga de aplastamiento, 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” [10].

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.

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” [11].

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 [12].

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, 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, [13] 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, [5] 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 [11].

Con 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, con 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.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Cemento Portland Tipo I

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

B. Agregado fino

El agregado fino natural y lavado, proviene de la Cantera Margarita, ubicada en el distrito de Chilate, 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.

C. 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 II
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 III
DETERMINACIÓN DE PUZOLANIDAD DE LA CENIZA VOLANTE

Componentes químicas	ASTM C 618 (Puzolana Tipo C)	Ceniza volante de carbón
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	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 III, 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 (Al₂O₃) trabaja conjuntamente con la sílice, evitando con ello su oxidación.

El porcentaje de óxido férrico (Fe₂O₃) 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.

D. Agua

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

E. Ensayos en laboratorio

Peso específico del cemento hidráulico: NTP 334.005 [14], permite conocer el volumen que ocupará una masa determinada de cemento, en este caso cemento Portland Tipo 1, dentro de una mezcla.

Contenido de humedad: NTP 339.127 [15], sirve para obtener la masa húmeda de algún agregado, lo cual es necesario para la corrección de contenido de agua en la fase del diseño de mezclas del mortero.

Análisis granulométrico mediante el tamizado: NTP 400.012 [16], sirve para conocer la masa húmeda del agregado y poder utilizarlo en la corrección por humedad del diseño de mezcla para el mortero o concreto.

Peso unitario del agregado fino: NTP 400.017 [17], sirve para conocer los contenidos a emplear en la mezcla de mortero, realizándose ensayos para peso unitario suelto y compactado.

Peso específico y absorción del agregado fino: NPT 400.022 [18], es necesario para conocer la relación, a una temperatura estable, de la masa en el aire de un volumen unitario de agregado a la masa en el aire de igual volumen de agua destilada libre de gas.

Resistencia a compresión de mortero de cemento usado en especímenes cúbicos: NTP 334.051 [19], el ensayo se realiza en muestras cúbicas de 50mm, con 3 especímenes por cada mezcla de mortero para cada edad de curado.

Absorción, de acuerdo a la norma: Densidad, absorción y vacíos en concreto endurecido ASTM C642 [20], indica que las muestras se pesan en estado húmedo y seco, para obtener con ello el porcentaje de absorción promedio del mortero.

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 [21] 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.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. 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 IV
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

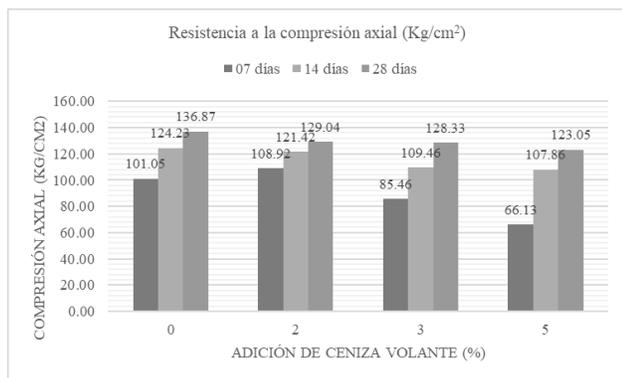


Fig. 1 Comparación de resistencia a compresión axial del mortero con y sin adición

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.

Esto es similar a los resultados obtenidos por [5], 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/cm², 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” [11].

La disminución de resistencia se da 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 saturen por completo con la ceniza, por lo cual no se pudo generar la reacción química en la mezcla, influyendo considerablemente en la resistencia.

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.

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 V
VARIACIÓN PORCENTUAL DE MUESTRAS A COMPRESIÓN AXIAL

Adición de ceniza volante (%)	M	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	1.70%	1.678
		2	2564		-0.09%	
		3	2603		-1.61%	
	14 días	1	3148	124.23	-1.16%	1.315
		2	3160		0.25%	
		3	3102		0.91%	
	28 días	1	3448	136.87	1.80%	2.227
		2	3517		-1.36%	
		3	3534		-0.45%	
2	7 días	1	2764	108.92	0.69%	0.897
		2	2803		-0.91%	
		3	2755		0.22%	
	14 días	1	3015	121.42	1.66%	1.832
		2	3096		-0.38%	
		3	3099		-1.28%	
	28 días	1	3226	129.04	0.40%	0.575
		2	3236		0.09%	
		3	3248		-0.48%	
3	7 días	1	2129	85.46	2.70%	2.900
		2	2164		1.10%	
		3	2267		-3.81%	
	14 días	1	2593	109.46	6.37%	6.085
		2	2164		-3.85%	
		3	2267		-2.52%	
	28 días	1	3322	128.33	-2.11%	6.455
		2	3097		5.74%	
		3	3378		-3.63%	
5	7 días	1	1740	66.13	-4.00%	3.300
		2	1710		-1.60%	
		3	1589		5.59%	
	14 días	1	2832	107.86	-3.16%	3.052
		2	2705		0.87%	
		3	2661		2.29%	
	28 días	1	2948	123.05	5.87%	6.322
		2	3214		-2.21%	
		3	3253		-3.66%	

B. ABSORCIÓN

Los resultados obtenidos del ensayo de absorción fueron los siguientes:

TABLA VI
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%

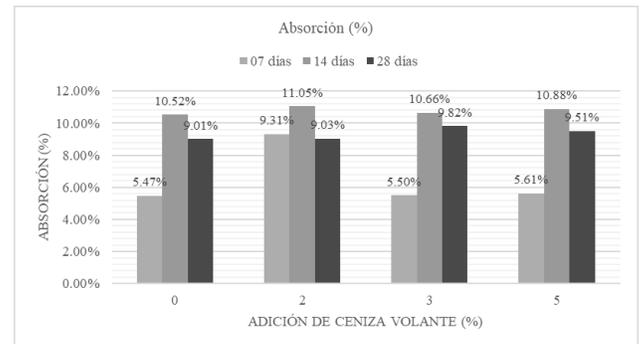


Fig. 2 Comparación de absorción del mortero con y sin adición (%)

En absorción, [5] determina que, 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 mortero patrón y las demás son más elevadas.

C. CAPILARIDAD

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

TABLA VII
CAPILARIDAD (GR*MIN/CM²)

Adición de ceniza volante (%)	Capilaridad (gr*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

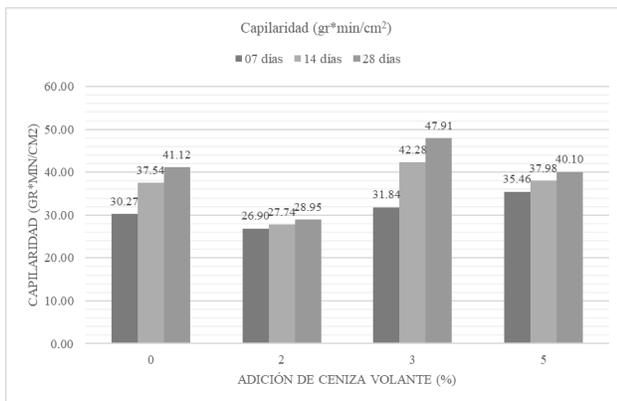


Fig. 3 Comparación de capilaridad del mortero con y sin adición (gr*min/cm²)

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.

Tanto la absorción como la capilaridad son indicadores de la permeabilidad de los morteros o concretos, es así que [11] 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.

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.

D. COMPARACIÓN DE LA VARIACIÓN ENTRE LAS DIFERENTES ADICIONES DE CENIZA VOLANTE EN EL MORTERO DE CEMENTO HIDRÁULICO

Se han identificado las siguientes variaciones:

TABLA VIII

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

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 mantener y/o mejorar las propiedades del mortero evitando desecharlos y continuar generando residuos por parte de esta industria.

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.

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.

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.

IV. 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 129.04 Kg/cm² y 128.33 Kg/cm² respectivamente, mientras que el mortero sin adición cuenta con una mayor resistencia a compresión axial de 136.87 Kg/cm², en cambio, la adición del 5% no llega a cumplir con la resistencia esperada obteniendo 123.05 Kg/cm², 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 adicione 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.

AGRADECIMIENTO

Agradecer a Dios, porque todo lo que he podido lograr es por su voluntad; a mis padres, por su apoyo y el impulso que me dan mediante su ejemplo; y a mi director de carrera de la Universidad Privada del Norte (UPN) por la confianza que tuvo en la realización del presente trabajo.

REFERENCIAS

- [1] M. Borsani, "Materiales ecológicos: Estrategias, alcance y aplicación de los materiales ecológicos como generadores de hábitats urbano - sostenibles," 2011.
- [2] M. Sánchez de Rojas, F. Frías, J. Rivera, M. Escorihuela, and F. Marín, "Investigación sobre la actividad puzolánica de materiales de desecho procedentes de arcilla cocida," in *Materiales de Construcción*, 51(261), pp. 45–52, 2001. <https://doi.org/10.3989/mc.2001.v51.i261.379>
- [3] D. Burgos, D. Angulo, and R. Mejía, "Durabilidad de morteros adicionados con cenizas volantes de alto contenido de carbón," 2012. 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.pdf
- [4] C. Soriano, "Diagnóstico nacional del sector ladrillero artesanal," in *Red Ladrilleras*, 2012. <http://www.redladrilleras.net/assets/files/08f34d2be1d32a80a13a48f2633dd73c.pdf>
- [5] A. Aliaga, "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," in *Universidad Privada del Norte*, 2018. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3077_C.pdf
- [6] MVCS, "Norma Técnica E. 070 – Albañilería," in *El Peruano*, pp. 295–309, 2006. <https://www.sencico.gob.pe/publicaciones.php?id=230>
- [7] J. Arriola, "Diseño de morteros con cementos hidráulicos para la construcción de muros con elementos de mampostería," 2019. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3077_C.pdf
- [8] MVCS, "Reglamento Nacional de Edificaciones," in *El Peruano*, 2019.
- [9] ASTM C618, "Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete," 2019.
- [10] R. Salamanca, "La Tecnología de los morteros," in *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 11(1), 13, 2001.
- [11] J. Peña, and K. Contreras, "Análisis de la resistencia a la compresión y permeabilidad en el concreto adicionando dosificaciones de cenizas volantes de carbón en la mezcla," 2017. <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/32303http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/32303>
- [12] Ministerio de la Producción, "Guía de buenas prácticas para ladrilleras artesanales," 2010. http://www.redladrilleras.net/apps/manual_ccac/pdf/es/Peru_RM-102-2010-PRODUCE.pdf
- [13] G. Jiménez, "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," in *Universidad Privada del Norte*, 2016. <http://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/9982>
- [14] INDECOPI, "NTP 334.005. CEMENTOS. Método de ensayo normalizado para determinar la densidad del cemento Portland," 2011.
- [15] INDECOPI, "NTP 339.127. Norma Técnica Peruana: Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo," 1999.

- [16]INDECOPI, "NTP 400.012. Agregados. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global," 2001.
- [17]INDECOPI, "NTP 400.017. Agregados. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad y los vacíos en los agregados," 2011.
- [18]INDECOPI, "NTP 400.022. Agregados. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino," 2013.
- [19]INDECOPI, "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," 2013.
- [20]ASTM C642, "Standard Test Method for Density, Absorption and Voids in Hardened Concrete," 2013.
- [21]ASTM C1585, "Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes," 2020.