



Uso de la ceniza de fondo como reemplazo porcentual del cemento portland en la elaboración de mortero

Use of bottom ash as a percentage replacement for portland cement in the production of mortar

Utilização de cinzas de fundo como substituto porcentual do cimento Portland na produção de argamasas

María José Calderero-Panchana ^I
mcalderero5130@utm.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-7113-3674>

Ramona Albertina Panchana-Cedeño ^{II}
ramona.panchana@utm.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-0763-5426>

Correspondencia: mcalderero5130@utm.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 23 de septiembre de 2022 * **Aceptado:** 18 de octubre de 2022 * **Publicado:** 12 de noviembre de 2022

- I. Ingeniera Civil, Estudiante de la Maestría en Ingeniería Civil Mención: Construcción de Viviendas de Interés Social, Instituto de Posgrado de la Universidad Técnica de Manabí, Investigadora Independiente, Asesora de Proyectos de la Constructora Soluciones Inmobiliarias Teodanmar C.L, Portoviejo, Manabí, Ecuador.
- II. Ingeniera Civil, Magíster Scientiarum en Energía Docente Principal Tiempo Completo Departamento de Construcciones Civiles, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.

Resumen

Se evaluó el reemplazo porcentual de cemento portland por ceniza de fondo, producto del proceso de elaboración de ladrillo artesanal cocido, para ser usado en mortero de pega ecológico con un análisis del comportamiento mecánico del “Mortero Cemento para mampostería Tipo S” NTE Inen 2818 para reemplazar porcentualmente el cemento por ceniza de fondo, proveniente de una ladrillera artesanal en Manabí- Ecuador. Se realizaron probetas para someterlas al ensayo: Determinación De La Resistencia A La Compresión De Morteros En Cubos De 50mm De Arista, NTE INEN 2 518:2010 con muestras patrón y con reemplazos del 5, 10, 15 por ciento; teniendo como resultado mejoras en la resistencia a la compresión con un reemplazo del 5 por ciento y una disminución en su resistencia al llegar al 10%. También se analizó la capacidad puzolana de la ceniza de fondo mediante el Estudio De Infrarrojo Por Transformada De Fourier usando un espectrofotómetro. Obteniendo una banda característica de materiales cementantes. Finalmente se determina que reemplazando alrededor del 5% de cemento portland en un diseño de mortero es posible y permitiría el reingreso del residuo al sector de la construcción.

Palabras clave: Cemento Portland; Mortero; Construcción artesanal de ladrillo; Ceniza de fondo.

Abstract

The percentage replacement of portland cement by bottom ash, product of the baked artisanal brick production process, was evaluated to be used in ecological glue mortar with an analysis of the mechanical behavior of the "Cement Mortar for masonry Type S" NTE Inen 2818 for Percentage replacement of cement by bottom ash, from an artisanal brick factory in Manabí- Ecuador. Specimens were made to submit them to the test: Determination of the Compression Resistance of Mortars in 50mm Edge Cubes, NTE INEN 2 518:2010 with standard samples and with replacements of 5, 10, 15 percent; resulting in improvements in compressive strength with a 5 percent replacement and a decrease in its strength when it reaches 10%. The pozzolan capacity of the bottom ash was also analyzed by Fourier Transform Infrared Study using a spectrophotometer. obtaining a characteristic band of cementitious materials. Finally, it is determined that replacing around 5% of portland cement in a mortar design is possible and would allow the re-entry of the residue to the construction sector.

Keywords: Portland cement; Mortar; Handcrafted brick construction; Background ash.

Resumo

A porcentagem de substituição do cimento Portland por cinza de fundo, produto do processo de produção artesanal de tijolos cozidos, foi avaliada para ser utilizada em argamassa colante ecológica com análise do comportamento mecânico da "Argamassa de cimento para alvenaria Tipo S" NTE Inen 2818 para Percentagem substituição de cimento por cinza de fundo, de uma olaria artesanal de Manabí-Ecuador. Foram confeccionados corpos de prova para submetê-los ao ensaio: Determinação da Resistência à Compressão de Argamassas em Cubos de Borda de 50mm, NTE INEN 2 518:2010 com amostras padrão e com substituições de 5, 10, 15 por cento; resultando em melhorias na resistência à compressão com uma substituição de 5 por cento e uma diminuição na sua resistência quando atinge 10%. A capacidade pozolana das cinzas de fundo também foi analisada por Fourier Transform Infrared Study usando um espectrofotômetro. obtenção de uma banda característica de materiais cimentícios. Por fim, determina-se que a substituição de cerca de 5% do cimento Portland em um projeto de argamassa é possível e permitiria a reentrada do resíduo no setor de construção.

Palavras-chave: Cimento Portland; Argamassa; Construção artesanal de tijolos; Cinzas de fundo.

Introducción

La construcción de obras civiles constituye uno de los ejes principales del crecimiento económico de la sociedad, en contraste, es una de las industrias que más contribuye a la contaminación ambiental principalmente por su gran cantidad de emisiones de carbono y a la poca importancia enfocada a la reutilización de recursos en los procesos constructivos (Gordillo y Elizalde 2018). Actualmente Manta, se encuentra dentro de los cantones en auge inmobiliario, lo cual resulta en una demanda creciente de materiales para la construcción de viviendas, siendo uno de estos el ladrillo de arcilla, material que es obtenido en ladrilleras informales establecidas en diferentes localidades, un asentamiento de varias fábricas de ladrillo se encuentra en el kilómetro 18 de la vía Portoviejo-Manta. En las ladrilleras tradicionales que cuecen arcilla para la elaboración de su producto , aproximadamente del volumen de combustible utilizado para el cocido del ladrillo el 10% corresponde al residuo generado (Rincón y Wellens 2011). El principal residuo es la ceniza

de fondo y ésta representa un problema de dos aristas para la industria ladrillera, en primer lugar, la búsqueda de una disposición final que cumpla la normativa ambiental vigente ecuatoriana y, en segundo lugar, implementar un sistema de disposición final que no represente costos adicionales de producción. Por la naturaleza informal y en vía de regularización de la industria ladrillera, los residuos de ceniza de fondo no siempre llegan a disponerse sin causar un impacto ambiental negativo. Debido a lo previamente descrito, el encontrar un re ingreso de la ceniza de fondo a la industria de la construcción representa una necesidad tanto ambiental como productiva, tributaría a la disminución del uso de recursos no renovables en nuevas construcciones e implementaría la reutilización de residuos en la construcción de obra civil.

Los objetivos de la presente investigación son: evaluar el reemplazo porcentual de cemento portland por ceniza de fondo, producto del proceso de elaboración de ladrillo cocido, para su uso en mortero de pega ecológico., identificar las características físico-químicas y puzolánicas de la ceniza de fondo de las ladrilleras, ensayar el comportamiento del mortero de pega con reemplazo porcentual de ceniza fondo mediante ensayos de Cemento Hidráulico Determinación De La Resistencia A La Compresión De Morteros En Cubos De 50mm De Arista, NTE INEN 2 518:2010 y establecer la influencia del reemplazo porcentual sobre la resistencia del diseño mortero de pega establecido.

Materiales y métodos

Residuos en las empresas ladrilleras

Como consecuencia del proceso industrial de las ladrilleras, se obtiene ceniza de fondo a manera de residuo contaminante. El manejo y disposición final de este sub producto constituye un inconveniente ambiental y de procesos para la industrial ladrillera. Existen procesos para reutilizar las cenizas al proponerla de material constituyente en la elaboración de mortero de hormigón simple que pudiera ser utilizado en la construcción de viviendas de interés social.

En diferentes países asiáticos se ha estudiado la reutilización generando el denominado “eco-cemento”, es fenómeno se basa en el problema existente y creciente en países desarrollados por la alta demanda en la industria de la construcción lo cual ha resultado en la alta cantidad de emisiones del CO₂ producido en la elaboración de cemento tradicional, las emisiones de CO₂ en países desarrollados como Japón llegan a 7 millones de toneladas al año (Sakai et al. 2005).

La industria ladrillera en Ecuador

En Ecuador la industria ladrillera es está denominada mediante la clasificación CIU (Clasificación Industrial Internacional Uniforme) en C 239: C391 y C2392; está conformada en un 95% por microempresas con un personal de menos de 10 individuos, en Manabí se identificaron 186 empresas relacionadas a la fabricación del ladrillo de las cuales 180 son microempresas con un personal de menos de 10. El porcentaje de empresas a nivel nacional en Manabí corresponden a un 16%. (Instituto Nacional de Estadística, 2015). Una de las características en las empresas pequeñas en Ecuador es la informalidad o inexistencia de procesos debidamente ejecutados para el manejo de residuos siendo el principal sub producto de la industria ladrillera la ceniza de fondo en conjunto con la ceniza volante.

Ceniza de fondo y ceniza volante

La ceniza de fondo corresponde al residuo luego de la combustión de material carbonado que queda asentada en el lugar de quema, en contraste la ceniza volante es la porción de ceniza que escapa mediante el viento o corrientes de viento internas del lugar de quema. Ambos sub productos de la combustión son considerados desechos inorgánicos y según la normativa ambiental:

“Aquellos desechos que sin ser peligrosos, por su naturaleza, pueden impactar al ambiente o a la salud, debido al volumen de generación y/o difícil degradación y, para los cuales se debe implementar un sistema de recuperación, reuso y/o reciclaje con el fin de reducir la cantidad de desechos generados, evitar su inadecuado manejo y disposición, así como la sobresaturación de los rellenos sanitarios municipales” (TEXTO UNIFICADO DE MEDIO AMBIENTELEGISLACION SECUNDARIA DE 2017).

La actividad puzolana

Es la propiedad de un material de reaccionar con hidróxido de calcio y agua para formar silicato de calcio y componentes de calcio aluminados consiguiendo desarrollar fuerza de cohesión. La actividad puzolana es medida utilizando el método UNE-EN-196-5 del estándar europeo. Consiste en medir la concentración de calcio en una solución acuosa que contiene cenizas. La

ceniza de fondo tendrá propiedades puzolanas menores que la cantidad teórica necesaria. (Menéndez et al. 2013).

Ambos tipos de ceniza poseen propiedades puzolanas y además un efecto de relleno que tiende ser incluso más importante al momento de evaluar morteros. En el caso de la ceniza volante existen estudios que comprueban sus propiedades positivas al ser usadas como material constituyente de cemento portland en morteros y hormigones en contraste con la menor cantidad de estudios ejecutados para la utilización de ceniza de fondo para los mismos fines. En comparación entre la ceniza volante y la ceniza de fondo, la ceniza de fondo es más densa y presenta menor pérdida por quema, además requiere mayor cantidad de agua en la elaboración de morteros, su capacidad puzolana va a depender del tamaño de la partícula que en el caso de la ceniza de fondo a utilizarse en reemplazos de cemento dependerá de la calidad de molido. (Sanjuan, Menéndez, y Argiz 2018).

El uso de ceniza volante como material sustituto de cemento en la elaboración de hormigón ha sido evaluado con diferentes porcentajes de reemplazo, y se encontró que del 0% a 7% de reemplazo no afecta negativamente a la resistencia requerida para diseños de hormigón de 210 kg/cm², (Huaquisto Cáceres y Belizario Quispe 2018).

Al ser similares las características físico-químicas de la ceniza volante y de fondo su comportamiento al usarse como reemplazo de cemento portland en morteros produce efectos similares. (Sanjuan, et al. 2018). Debido al tamaño de las partículas de la ceniza de fondo mayor al de la ceniza volante, debe ser triturada hasta cumplir con la granulometría especificada por el ACI para el cemento portland y así obtener resultados similares a aquellos con ceniza volante. (Menéndez et al. 2013).

También es posible un reemplazo total del cemento portland en el hormigón cuando se usa en tabletas prefabricadas que normalmente son usadas como paredes en la industria de construcción inmobiliaria, obteniendo resistencias mínimas requeridas siempre y cuando la ceniza volante sea activada de forma alcalina mediante aditivos siguiendo la normativa ASTM C618-12, 2014 que caracteriza el tipo de ceniza volante y dicta el procedimiento para su alcalinización. Al usar este reemplazo de material, se logra reducir en un 55% la huella de carbono en la elaboración de tabletas prefabricadas de hormigón. (Prieto Bermúdez y Montaña Santoyo 2018).

Cuando la ceniza de fondo utilizada tiene un comportamiento puzolánico adecuado, se pueden realizar reemplazos en morteros de hasta un 25% alcanza los requerimientos de resistencia a la

compresión de la normativa europea, considerando que mientras mayor sea el reemplazo mayor será la porosidad y por consiguiente existirá disminución en la resistencia. (Menéndez et al. 2013).

Al implementar modelos de mortero en los cuales se integre ceniza con propiedades puzolanas, debe considerarse el módulo de finura de los agregados finos como la arena. Debido a que la arena fina normalmente implica que el mortero requiere mayor hidratación por su absorción de agua, el factor agregado de ceniza intensificará este aspecto, requiriendo un diseño correcto del mortero considerando las propiedades granulométricas de los áridos a utilizar, entre ellos la variable de absorción, dentro de las características positivas de este aspecto se encuentra la posibilidad de su aplicación en el recubrimiento más no el soporte de cargas, aporta a sus propiedades impermeabilizantes pudiendo aplicarse en el recubrimiento de paredes de viviendas y así evitar infiltraciones menores de agua.

En morteros de arena gruesa con un reemplazo de hasta un 1% de ceniza de orígenes agrícolas se obtienen resistencias tales que pueden ser utilizados en recubrimientos de pavimentos y muros portantes, sobretodo en localidades donde la humedad sea alta, tales como riveras o cercanas a las zonas influenciadas por corrientes marinas. (Angulo y Junior 2018)

Para fines de uso en hormigón armado, es necesario ingresar una nueva variable de análisis siendo esta la influencia de la ceniza de fondo en la corrosión. Para una relación a/c de 0.6 y un reemplazo porcentual de cemento por ceniza volante disminuye el potencial de corrosión. (Ganoza Aguilar y Maceda Alvarez 2018).

Métodos

La investigación posee un enfoque cuantitativo, ya que usará la recopilación de datos numéricos para medir la resistencia a la compresión de probetas ensayadas mediante la norma NTE INEN 2 518:2010, entonces se procederá a evaluar la hipótesis propuesta en función a los resultados obtenidos. La presente investigación pretende aportar datos locales de materiales alternativos para su uso en vivienda de interés social en Manta-Ecuador, se eligió mediante la observación de campo las ladrilleras que existen en la vía Operativa Refinería Del Pacífico ingresando 400 metros desde la Ruta del Spondylus, la ladrillera es artesanal y no posee nombre; sus coordenadas son latitud: -1.012441 y longitud -80.689360°.

Mortero objeto de estudio

En las viviendas de interés social localmente el mortero más utilizado es el “Mortero Cemento para mampostería Tipo S” NTE Inen 2818 tabla 2, por ende, el diseño del mortero fue ejecutado en base a las dosificaciones indicadas en la NEC CAPÍTULO 1 CARGAS Y MATERIALES tabla 1.4 “Tipos de mortero, dosificación...”, cuya resistencia a la compresión a los 28 días es 15 Mpa. La composición en partes por volumen indica 1 parte de cemento por cada 3 partes de arena.

Figura 1: Proporción en peso del diseño de mezclas para mortero, 2022: Elaboración en base a cálculos de laboratorio

Componentes	% de ceniza volante utilizada en el diseño			
	0,00%	5%	10%	15%
Cemento(kg)	0,5	0,475	0,45	0,425
Ceniza volante (kg)	0	0,025	0,05	0,075
Agregado fino (kg)	1,5	1,5	1,5	1,5
Agua (lit)	0	0	0	0

Fase experimental

Se analizó la actividad puzolana de la ceniza de fondo a evaluar mediante el procedimiento Estudio De Infrarrojo Por Transformada De Fourier usando un espectrofotómetro. Se fabricaron muestras comparables a una muestra patrón realizando probetas para la obtención de la resistencia a la compresión del mortero a los 7, 14 y 28 días integrando una muestra patrón que diseñaron bajo los parámetros normativos del mortero y tres muestras con cantidades de reemplazo porcentual de cemento en cantidades de 5 %, 10% y 15% respectivamente aplicando NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2 518:2010 “ (488.pdf s. f.)

Tabulación de resultados

Tabulación de datos para elaborar un gráfico de dispersión comparativo entre los resultados a la compresión de muestras de reemplazo porcentual y la muestra patrón a los 7, 14 y 28 días

Análisis de resultados y discusión

Características químicas de la ceniza de fondo

El análisis por infrarrojo permite comparar la composición de la ceniza de fondo y la ceniza volante en relación a su contenido, en la tabla 2 se puede observar la banda característica de las vibraciones de Si-O y Al-O presentes, la banda se encuentra en la región 1040 cm^{-1} y 1050 cm^{-1} , presentando características químicas similares a lo previamente estudiado en geo-polímeros en los que se reemplaza por completo el cemento por cenizas y aditivos y aun así presentan propiedades cementantes (Cuervo, Angarita, y Rodríguez 2012).

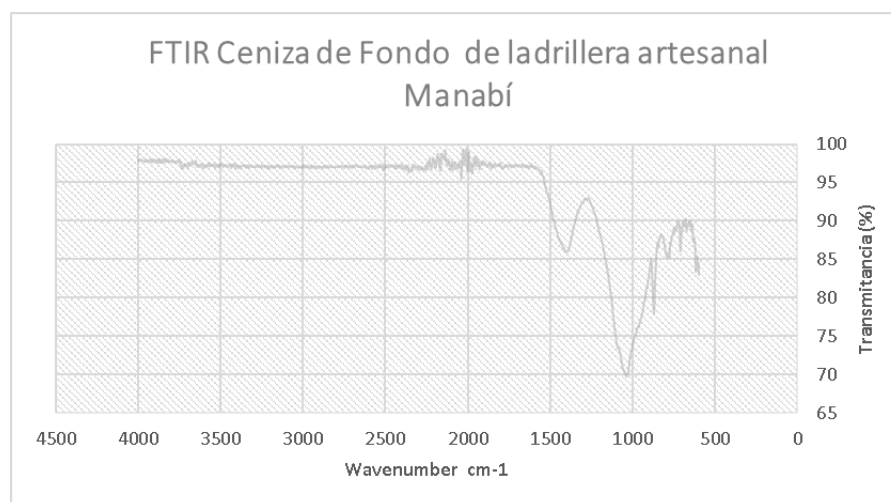


Figura 2: Análisis por IR de la ceniza de fondo

Características del agregado fino

La arena utilizada fue la cantera Chorrillo de Megarok, al ser uno de los materiales más utilizados localmente (Saldarriaga Velasco 2016), a continuación las características del agregado utilizado para la elaboración del mortero obtenidas mediante ensayo en NORMA ASTM C128:

Figura 3: Características del agregado fino en base a ensayos de laboratorio

Cantera Megarok	Agregado fino (arena)
Tamaño máximo	Nro. 4
Contenido de humedad (%)	8,2
Absorción (%)	7,7
Módulo de finura	2,1

Resistencia a la compresión obtenida del mortero de pega con reemplazo porcentual de cemento por ceniza de fondo

Luego de los ensayos de laboratorio de resistencia a la compresión del mortero se tienen los siguientes resultados:

Figura 4: Resumen de resultados de resistencia a la compresión de mortero muestra patrón

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MOTEROS (Mpa.) (Muestra patrón 0% de reemplazo)							
Edad (días)	Muestra			Valores para cálculo (sección 25cm ²)			Resistencia a la
	1 (Kg/cm ²)	2 (Kg/cm ²)	3 (Kg/cm ²)	1 (Mpa.)	2 (Mpa.)	3 (Mpa.)	
7	86,62	85,32	89,63	8,49	8,36	8,78	8,54
14	105,30	103,45	110,15	10,32	10,14	10,79	10,42
28	123,40	120,33	125,95	12,09	11,79	12,34	12,08

(Elaboración: Autora).

Figura 5: Resumen de resultados de resistencia a la compresión de mortero muestra con 5 % de reemplazo de ceniza

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MOTEROS (Mpa.) (Muestra 5% de reemplazo)							
Edad (días)	Muestra			Valores para cálculo (sección 25cm ²)			Resistencia a la
	1 (Kg/cm ²)	2 (Kg/cm ²)	3 (Kg/cm ²)	1 (Mpa.)	2 (Mpa.)	3 (Mpa.)	
7	89,65	87,88	93,33	8,79	8,61	9,15	8,85
14	110,67	104,59	112,68	10,85	10,25	11,04	10,71
28	127,23	125,38	128,72	12,47	12,29	12,61	12,46

(Elaboración: Autora).

Figura 6: Resumen de resultados de resistencia a la compresión de mortero muestra con 10 % de reemplazo de ceniza

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MOTEROS (Mpa.) (Muestra 10% de reemplazo)							
Edad (días)	Muestra			Valores para cálculo (sección 25cm ²)			Resistencia a la
	1 (Kg/cm ²)	2 (Kg/cm ²)	3 (Kg/cm ²)	1 (Mpa.)	2 (Mpa.)	3 (Mpa.)	
7	84,19	81,31	86,76	8,25	7,97	8,50	8,24
14	102,67	99,62	102,66	10,06	9,76	10,06	9,96
28	116,37	114,57	118,77	11,40	11,23	11,64	11,42

(Elaboración: Autora).

Figura 7: Resumen de resultados de resistencia a la compresión de mortero muestra con 15 % de reemplazo de ceniza

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MOTEROS (Mpa.) (Muestra 15% de reemplazo)							
Edad (días)	Muestra			Valores para cálculo (sección 25cm2)			Resistencia a la
	1 (Kg/cm2)	2 (Kg/cm2)	3 (Kg/cm2)	1 (Mpa.)	2 (Mpa.)	3 (Mpa.)	
7	79,00	78,75	79,50	7,74	7,72	7,79	7,75
14	95,30	96,00	102,55	9,34	9,41	10,05	9,60
28	110,69	108,42	111,97	10,85	10,62	10,97	10,82

(Elaboración: Autora).

Comparando las tablas 1,2,3, y 4 se obtiene que el porcentaje de reemplazo del 5% de cemento por ceniza de fondo mejora la resistencia del mortero en un 3%. Las propiedades morfológicas estudiadas en la ceniza volante aportan a la resistencia mecánica y al tiempo de curado del cemento portland lo cual implicaría que un reemplazo porcentual del cemento además de servir de re integrador de un residuo al sector de la construcción funcionaría como aditivo para potenciar sus propiedades. (Bautista-Ruiz, et al 2017)

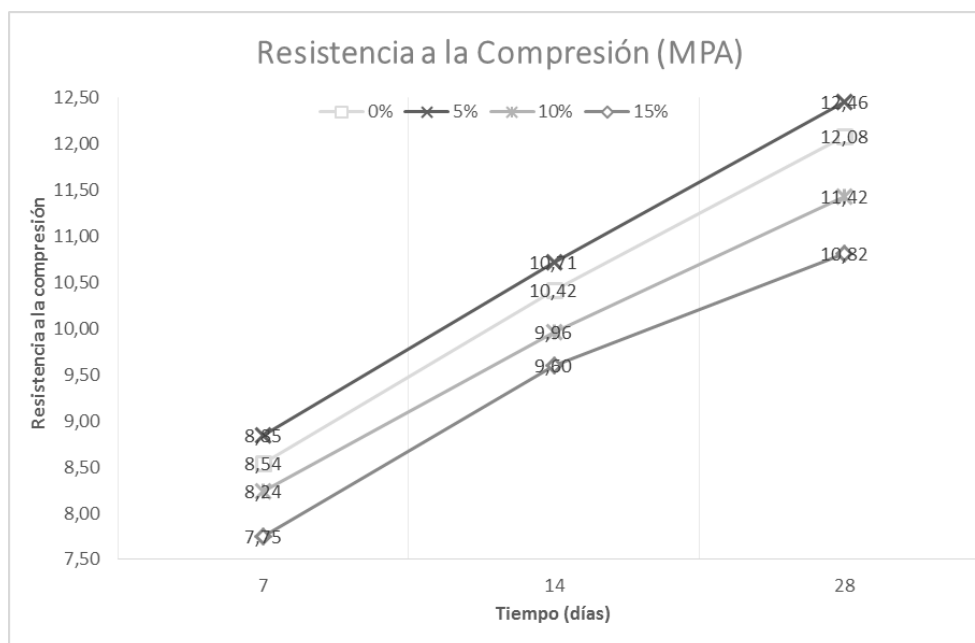


Figura 8: Resistencia del mortero (Mpa.) según días transcurridos Elaboración: Autora.

Sin embargo, al subir el porcentaje de reemplazo esta resistencia disminuye manteniendo la tendencia de disminución con el 15% disminuyéndola en un 15% y porcentajes de ceniza volante

que superen el 10% de reemplazo de cemento en concreto disminuyen su resistencia a la compresión haciendo necesarios aditivos (Huaquisto Cáceres y Belizario Quispe 2018)

Conclusiones y recomendaciones

Después de un análisis en laboratorio y comparativo con estudios análogos se observa que la ceniza de fondo tiene características químicas similares a la ceniza volante y en cuanto a su morfología presenta un mayor tamaño de partícula por lo cual para su uso en morteros debe ser sometida a moliendas. El comportamiento del mortero de pega con reemplazo porcentual de ceniza fondo mediante ensayos de Cemento Hidráulico Determinación De La Resistencia A La Compresión De Morteros En Cubos De 50mm De Arista, NTE INEN 2 518:2010 en un reemplazo del cemento por ceniza de fondo en un 5% presenta mejoras en su resistencia a la compresión, sin embargo, con un reemplazo con el 10% presenta disminución en su resistencia a la compresión.

Un reemplazo porcentual alrededor del 5% de cemento portland en un diseño de mortero es posible y permitiría el reingreso del residuo “ceniza de fondo” al sector de la construcción mediante el cumplimiento de la resistencia requerida para su uso como mortero de pega ecológico. Siempre que se vayan a implementar nuevos materiales en procesos constructivos sobretodo en estructuras tan importantes como lo son las viviendas deben hacerse análisis de laboratorio específicos de cada localidad, y uso final según la normativa vigente o replicar estudios previos bajo las mismas características.

Referencias

1. «488.pdf». <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/488.pdf> (24 de agosto de 2022).
2. Angulo, Aliaga, y Agustín Junior. 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».
3. Bautista-Ruiz, William Alexander, Mercedes Díaz-Lagos, y Segundo Agustín Martínez-Ovalle. 2017. «Caracterización de las cenizas volantes de una planta termoeléctrica para

- su posible uso como aditivo en la fabricación de cemento». *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación* 8(1): 135-46.
4. Cuervo, Claudia Paulina González, Ángela Marcela Montaña Angarita, y Diana Catalina Castro Rodríguez. 2012. «Obtención y caracterización de geopolímeros, sintetizados a partir de ceniza volante y piedra pómez, utilizados para el desarrollo y mejoramiento del concreto». *El Hombre y la Máquina* (38): 59-65.
 5. Ganoza Aguilar, Gregorio Alejandro, y Pedro Jampierre Maceda Alvarez. 2018. «Influencia del porcentaje de ceniza volante clase C en el potencial de corrosión del acero A 615 embebido en concreto fabricado con cemento portland tipo I». *Universidad Privada Antenor Orrego - UPAO*. <http://repositorio.upao.edu.pe/handle/upaorep/4192> (12 de diciembre de 2019).
 6. Gordillo, Juan David Bautista, y Nelson Fabián Loaiza Elizalde. 2018. «IMPACTOS DE LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE Y TRADICIONAL A NIVEL AMBIENTAL». *Boletín Semillas Ambientales* 12(1): 16-25.
 7. Huaquisto Cáceres, Samuel, y Germán Belizario Quispe. 2018. «Utilización de la ceniza volante en la dosificación del concreto como sustituto del cemento». *Revista de Investigaciones Altoandinas* 20(2): 225-34.
 8. Instituto Nacional de Estadística y. 2015. «Manufactura y Minería». *Instituto Nacional de Estadística y Censos*. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/manufactura-y-mineria/> (17 de diciembre de 2019).
 9. Menéndez, E. et al. 2013. «Caracterización de cenizas de fondo procedentes de centrales térmicas de carbón para determinar su viabilidad de uso». *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio* 52(6): 296-304.
 10. Prieto Bermúdez, Laura Catalina, y Andrés Augusto Montaña Santoyo. 2018. «Evaluación mecánica y ambiental del uso de ceniza volante con activación alcalina como alternativa de reemplazo total del cemento en la elaboración de tabletas prefabricadas».
 11. Rincón, Eric, y Ann Wellens. 2011. «Cálculo de indicadores de ecoeficiencia para dos empresas ladrilleras mexicanas». *Revista internacional de contaminación ambiental* 27(4): 333-45.
 12. Sakai, Etsuo et al. 2005. «Hydration of Fly Ash Cement». *Cement and Concrete Research* 35(6): 1135-40.

13. Saldarriaga Velasco, Erika Dennisse. 2016. «Aplicación de la norma NTE INEN 2536 en la selección de materiales de construcción en Manta». Master's Thesis. Universidad de Guayaquil: Facultad de Arquitectura y Urbanismo.
14. Sanjuan, Miguel-Angel, E. Menéndez, y C. Argiz. 2018. «Assessment of a new portland cement component: ground coal bottom ash». *DYNA* 93(2): 192-96.
15. TEXTO UNIFICADO DE MEDIO AMBIENTELEGISLACION SECUNDARIA DE. 2017. «TULSMA,LIBRO VI». *Decreto Ejecutivo 3516*.

© 2022 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)

(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).