

2019 10 al 13 de septiembre - Cartagena de Indias, Colombia

RETOS EN LA FORMACIÓN DE INGENIEROS EN LA ERA DIGITAL

LOS MORTEROS DEL MAÑANA, USO DE LA CENIZA DE RESIDUO INDUSTRIAL EN LA REBAJA DE MORTEROS

**Álvaro José Jaimes Jiménez, Juan Camilo Galvis Rodríguez, Ana María Castaño
Martínez**

**Pontificia Universidad Javeriana
Cali, Colombia**

Resumen

La problemática ambiental producida por la industria de la construcción en el mundo es una realidad imposible de ignorar. La huella ecológica que deja este tipo de actividad económica no es pequeña y la búsqueda de soluciones que ayuden a mitigar daños y reutilizar compuestos de esta o de otras industrias, es una realidad latente que debe buscar la ingeniería en la actualidad. En la presente investigación se reemplaza la ceniza residuo de actividades industriales, por un porcentaje de cemento en las mezclas de mortero para de esta manera plantear una solución a la disposición final de estos residuos, además de estudiar el comportamiento físico mecánico de las mezclas a las cuales se les han agregado este tipo de ceniza con el fin de descubrir cómo afecta esta sustitución el desempeño en diferentes ámbitos y usos del mortero. En Colombia el uso de mortero es muy común en la construcción, especialmente en la no industrializada, es entonces de gran importancia el encontrar posibles soluciones que permitan una mezcla más económica, medio ambientalmente amigable y con propiedades específicas que satisfagan las necesidades de aquellas comunidades donde la investigación e innovación de materiales no llega.

Los resultados preliminares de nuestro estudio revelan que hay similitud en la finura y densidad de la ceniza respecto a algunos cementos de consumo habitual en el país, se mantienen los resultados de resistencia cuando se emplean bajos porcentajes de ceniza y se percibe también un aumento mínimo del tiempo de fraguado de las pastas con respecto a las tradicionales, cambios significativos en la relación agua cemento conforme aumenta el porcentaje de ceniza en la mezcla, todo esto debido a que el porcentaje de absorción de la ceniza frente al cemento es mayor.

El impacto de la presente investigación representaría cambios de gran magnitud en el área de materiales en el campo de la ingeniería, ya que se pretende presentar proporciones que permitan

tener una mezcla confiable en cuanto a resistencia, con un tiempo de fraguado adecuado y en algunos casos cumpliendo propiedades de impermeabilidad, compitiendo así con los morteros que actualmente se comercializan en el mercado; mezclas hechas a base de compuestos aditivos tóxicos los cuales tienen una gran huella ambiental en el lugar donde se producen y se utilizan. Por el contrario, se está buscando morteros que al ser rebajados con ceniza se conviertan en elementos de innovación respecto a sus componentes mecánicos con una factibilidad económica para el consumidor final. La investigación aun en desarrollo pretende por último objetivo presentar el diseño de mezclas estandarizadas de mortero rebajado en ceniza obtenida del residuo industrial, para las diferentes necesidades de la construcción, manteniendo sus propiedades mecánicas y potencializando otras para hacerlos competitivos en el mercado.

Palabras clave: mortero rebajado; ceniza industrial; materiales de innovación

Abstract

The environmental problems produced by the construction industry in the world is an impossible reality to ignore. The ecological footprint left by this type of economic activity is not small and the search for solutions that help mitigate damage and reuse compounds from this or other industries is a latent reality that engineering should seek today. In the present research, industrial ash is replaced by a percentage of cement in the mortar mixtures, in order to propose a solution to the final disposal of these residues. Moreover, we study physical and mechanical behavior of the mixtures to the which have been added this type of ash in order to discover how this substitution affects the performance in different areas and uses of the mortar. In Colombia the use of mortar is very common in construction, especially in the non-industrialized, it is then of great importance to find possible solutions that allow a more economic, environmentally friendly mixture and with specific properties that meet the needs of those communities where Research and innovation of materials does not arrive.

The preliminary results of our study reveal that there is similarity in the fineness and density of the ash with respect to some cements of habitual consumption in the country, the resistance results are maintained when low percentages of ash are used and a minimum increase of the ash is also perceived. time of setting of the paste with respect to the traditional, significant changes in the water cement ratio as the percentage of ash in the mixture increases, all this because the percentage of absorption of the ash is higher than cement.

The impact of the present reserach would represent changes of great magnitude in the area of materials in the field of engineering. In this work is shown proportions that allow to have a reliable mixture in terms of strength, with an adequate setting time and in some cases fulfilling impermeability properties. On the other hand, this kind of mortar are less dangerous that other prepared with other additive compounds which have a large environmental footprint in the place where they are produced and used. On the contrary, it is looking for mortars that when reduced with ash become elements of innovation regarding their mechanical components with an economic feasibility for the final consumer. The research still in development aims to finally present the design of standardized mortar mixtures reduced in ash obtained from industrial waste, for the different needs of construction,

maintaining their mechanical properties and enhancing others to make them competitive in the market.

Keywords: *reduced mortar; industrial ash; innovation materials*

1. Introducción

El desarrollo de los materiales en ingeniería civil si bien ha sido frecuente en cuanto al tema de aditivos y agregados, se ha quedado corto si de materia prima de construcción hablamos. Desde hace varios siglos el mortero como material constructivo ha jugado un papel fundamental en el desarrollo de las estructuras. Es cierto hablar de un avance en cuanto a la materia prima de la cual se hacían los morteros desde la antigüedad hasta hoy, sin embargo, después de que se trabaja con el cemento actual nos quedamos satisfechos y no buscamos reemplazo o rebaja para otro material cementante.

Las rebajas en concretos y morteros se han buscado como una opción económica y que satisface las necesidades de resistencia y comportamiento de un material normal. Es allí donde se sospecha que las cenizas de residuo industrial tendrían un cierto parecido en finura, densidad y otras propiedades como para ser utilizada como material de reemplazo de cemento en un cierto porcentaje en las mezclas de mortero. En la presente investigación se denotan varias pruebas que se realizaron a diferentes mezclas de mortero sometidas a diferentes condiciones de curado y se muestra la viabilidad de uso de éstos en diferentes aplicaciones. Además, se denota el impacto positivo de la utilización de este residuo para generar cementos más económicos y que incluso se espera agregue propiedades especiales que satisfagan necesidades constructivas específicas.

2. Metodología

La Figura 1 esquematiza la metodología seguida en este estudio.

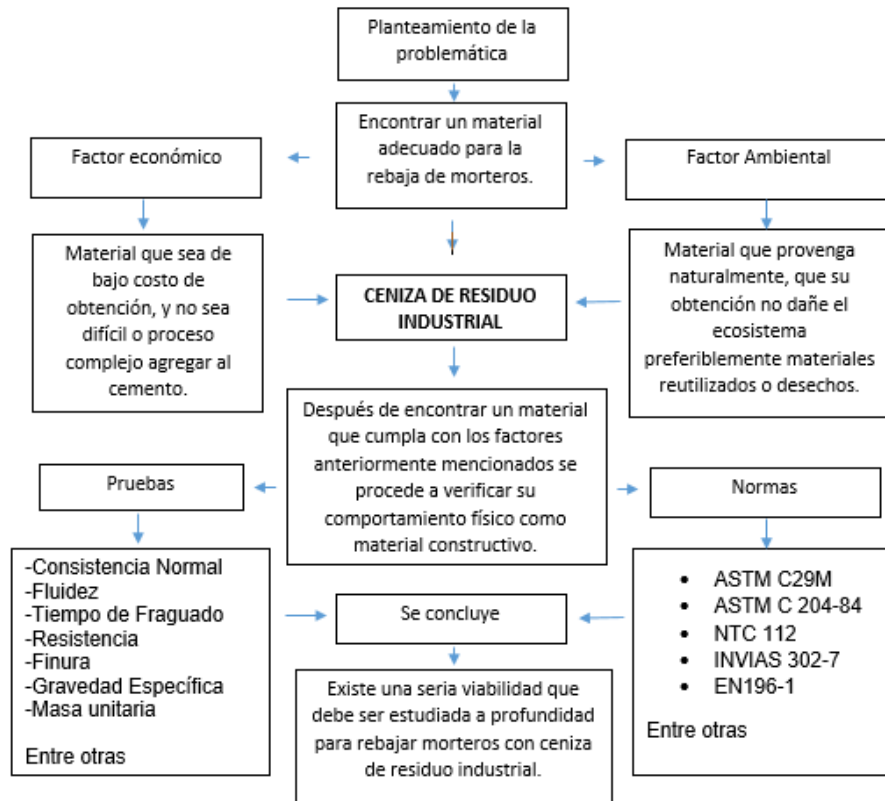


Figura 1. Metodología seguida en el estudio

3. Resultados y análisis

Para determinar si la ceniza producto de la industria es útil en la rebaja de morteros, es necesario realizar una serie de pruebas basados en normas técnicas nacionales e internacionales que permitan concluir el comportamiento físico y estructural del mortero rebajado comparado con el comportamiento de morteros tradicionales. Para el presente estudio se realizaron pruebas de consistencia normal, finura Blaine, gravedad específica y tiempo de fraguado para algunos tipos de cemento muy comerciales en el país. Además, se armaron diferentes mezclas de morteros para determinar relaciones de agua cemento óptimas y como difieren las resistencias de las mezclas rebajadas con las cenizas frente a las mezclas tradicionales.

Cabe aclarar que todas las pruebas se realizaron reemplazando material de cemento en un 10% del total por ceniza de origen industrial.

3.1 Consistencia Normal

Todas las pruebas se realizaron basados en la norma técnica europea EN196-1 y en la norma nacional de Invias INV E310-13 empleando cemento Portland tipo 1 de una misma marca. Los resultados de este ensayo se encuentran en la Tabla 1.

Tabla 1. Consistencia normal de las pastas preparadas

Prueba consistencia normal	Cemento común	Cemento Rebajado
1	Para 150ml 8.5mm	Para 185ml 8.5mm
2	Para 160ml 10mm	Para 190.2ml 10.5mm
3	Para 170ml 11.5mm	Para 195 ml 11.6mm

Las variaciones de la relación de agua respecto a la consistencia normal se representan en las Figura 2 y Figura 3. La mezcla preparada con ceniza aparentemente tiene un mayor porcentaje de absorción que la mezcla convencional; esto permite predecir el comportamiento de los morteros en cuanto a fluidez se refiere necesitando más agua al momento de ser rebajados con el residuo industrial.

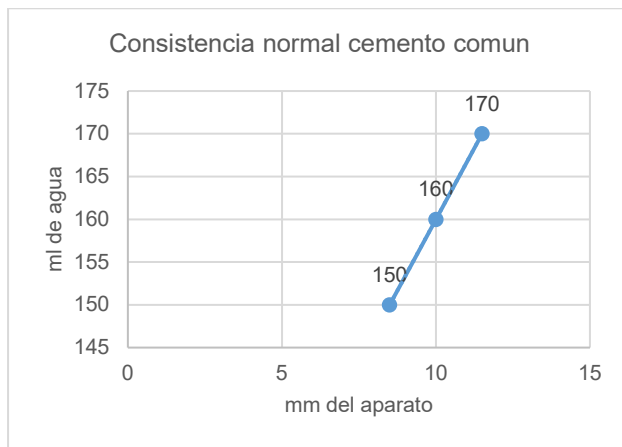


Figura 2. Ensayo para mezcla testigo

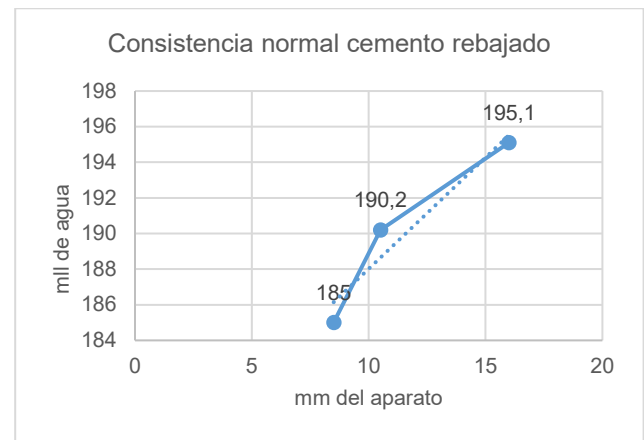


Figura 3. Ensayo para mezcla ajustada

3.2 Finura

La finura del material cementante es necesaria al momento de realizar un diseño de mezclas, ya que es conocido su relación con el tiempo de fraguado siendo el factor anterior un aspecto muy importante en cuanto a procesos constructivos se refiere. (Tabla 2).

Tabla 2. Respuesta de finura del cemento testigo y del cementante modificado

Finura en (m ² /Kg)	Cemento común	Cemento rebajado
1	405.9	493.7
2	420.0	486.2
3	412.6	490.5

Se aprecia un aumento en la finura del material cementante modificado, esto es predecible por el hecho de que la ceniza es mucho más fina que el cemento; se espera un cambio entonces en el tiempo de fraguado siendo conocida la relación entre la finura y esta propiedad del material.

3.3 Gravedad Específica del cemento

Se encuentra la gravedad específica del material cementante reemplazado un 10% con ceniza y se compara con la gravedad específica del material común. Mientras que la gravedad específica de la mezcla testigo es 3 g/cm³ la del cementante modificado es 2.894 g/cm³.

3.4 Tiempo de fraguado

El tiempo de fraguado permite conocer el tiempo en que la pasta tiene trabajabilidad, esto es el tiempo en que la aguja del aparato de Vicat penetra completamente en la pasta. Lo anterior garantiza la seguridad de conocer el tiempo que se tiene para el transporte, y demás usos como en morteros y hormigones, sin que se endurezca la pasta y no se pueda emplear. Para el tiempo de fraguado, el tiempo y la penetración están relacionados, según la ASTM C191-01 se tiene un fraguado inicial cuando la aguja penetre 25mm. Para este caso el tiempo para tener esta penetración es más demorado por el contenido de ceniza, pero es más rápido el fraguado final. Tabla (3). Se aprecia un cambio considerable en esta propiedad pero se cree que con el uso de aditivos sería posible igualar los tiempos de fraguado, o se sabe que para necesidades específicas constructivas el tiempo de fraguado de los morteros rebajados con residuo industrial facilitaría y encajaría perfectamente en los procesos constructivos.

Tabla 3. Comparación de los tiempos de fraguado inicial y final

Material	Inicial (minutos)	Final (minutos)
Común	100-180	180-260
Rebajado	195-210	210

3.5 Resistencia de morteros con ceniza añadida

Las mezclas se prepararon según las especificaciones de la norma ASTM. Se esperaba una resistencia de diseño de 17 Mpa y se obtuvieron en ambos casos los siguientes resultados contemplados en la Tabla 4.

Tabla 4 Resistencia a la compresión de morteros

Prueba	Mortero modificado	Mortero original
7 días	15 Mpa	16.7 Mpa
14 Días	15.7 Mpa	17.1 Mpa
28 Días	16.4 Mpa	17.6 Mpa

Como puntos a atender en la resistencia de los morteros, se apreció una tendencia al desprendimiento o a los hormigueos mayor en los morteros que se modificaron con ceniza respecto a los morteros más comunes, un acabado más oscuro por efectos de la coloración de la ceniza y una reducción considerable de la resistencia a compresión, se hace necesario probar con diferentes adiciones de residuo a diferentes porcentajes para verificar el comportamiento del material con el que se rebaja el cemento.

4. Conclusiones

Los aspectos a resaltar tanto buenos como malos de la implementación de ceniza en la elaboración de mortero se ven reflejados en las normas aplicadas para su estudio, la ceniza resulta tener una mayor absorción que el cemento normal por lo que para su uso hay que considerar mayores cantidades de agua en la mezcla con el fin de obtener una consistencia normal, basándose en la norma INV E310-13 y en la norma técnica europea EN196-1. Como era de esperarse al tener la ceniza una mayor finura que el cemento, esta tiene una mayor velocidad de hidratación por esta razón el tiempo de fraguado es diferente si se incluye ceniza en una mezcla de cemento, el ensayo realizado bajo la norma ASTM C191-01 muestra que el fraguado inicial se da mucho más rápido en un cemento normal y que el fraguado final es considerablemente más rápido si se tiene un porcentaje de ceniza incluido. Lo anterior no muestra un problema del uso del recurso estudiado ya que se cuenta con el tiempo apropiado de transporte y manejabilidad de la mezcla en morteros y hormigones antes de que esta se endurezca. Por último, dos aspectos a tener en consideración es que la gravedad específica no presenta mucha diferencia entre una muestra y la otra, y que es de suma importancia conocer que el uso de ceniza presenta desprendimientos o hormigueos en la prueba de resistencia, pero para comprobar que esto se da en todos los porcentajes de adición hace falta más pruebas contundentes.

Haciendo un balance general y según los respectivos estudios realizados a una muestra de cemento portland tipo I marca Cemex y a un remplazo de este material en un 10% del total por ceniza de origen industrial, se encontró que la idea de implementar la ceniza es realmente factible, esta genera un impacto positivo y mejora la economía del cemento con que se realizan los morteros, todo de una forma sostenible. Esto es un paso importante en la ingeniería civil, ya que al ser la carrera que más recursos agota debe implementar técnicas que ayuden con el entorno, pero aún faltan estudios que nos permitan comprobar con que cantidades se logra tener rendimientos físico-mecánicos adecuados.

Los morteros del mañana tienen la misión de ayudar al medio ambiente a reutilizar residuos que afectan al entorno con su desecho, garantizar una mejor economía en el sector constructivo, y generar un mortero que cumpla con todas las especificaciones técnicas y que su calidad sea igual o mejor a la de un mortero convencional.

5. Referencias

Artículos de Revista

- Valencia, G, Mejía de Gutiérrez, R, Barrera, J, & Delvasto, S. (2012). Estudio de durabilidad y corrosión en morteros armados adicionados con toba volcánica y ceniza de bagazo de caña de azúcar. *Revista de la construcción*, 11(2), 112-122. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-915X2012000200010>

Fuentes electrónicas

- Camargo Macedo, Pamela, Pereira, Adriana Maria, Akasaki, Jorge Luis, Fioriti, Cesar Fabiano, Payá, Jordi, & Pinheiro, José Luiz. (2014). Rendimiento de morteros producidos con la incorporación de ceniza de bagazo de caña de azúcar. *Revista ingeniería de construcción*, 29(2), 187-199. Consultado el 2 de junio de 2019 en <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732014000200005>
- Burgos, Diana M, Angulo, Daniela E, & Mejía de Gutiérrez, Ruby. (2012). Durabilidad de morteros adicionales con cenizas volantes de alto contenido de carbón. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, 32(1), 61-70. Consultado el 2 de junio de 2019, en http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0255-69522012000100008&lng=es&tlng=es.
- Calleja.J. (1982). Cenizas, Cementos y hormigones. Consultado el 2 de junio de 2019 en <http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/download/1006/1057>
- Ossa M,M, & Jorquera S,H. (1984, Enero). Cementos con cenizas volantes. Consultado el 2 de junio de 2019 en <http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/download/1129/1259>
- Siddique, R. (2011, noviembre). Efecto de la ceniza volcánica sobre las propiedades de la pasta de cemento y el mortero. Consultado el 2 de junio de 2019 en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344911001765>
- Siddique, R. (2012, septiembre). Propiedades del hormigón fabricado con ceniza volcánica. Consultado el 2 de junio de 2019 en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344912001085>

Sobre los autores

- **Álvaro Jose Jaimes Jiménez:** Estudiante de sexto semestre de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Javeriana Cali, Técnico en Administración con cursos en pedagogía, mentalidad empresarial y apoyo a la investigación de la Pontificia Universidad Javeriana. Semillero Gestión de Obras liderado por la profesora María Fernanda Serrano Guzmán.
- **Ana María Castaño Martínez:** Estudiante de sexto semestre de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Javeriana Cali. Semillero Gestión de Obras liderado por la profesora María Fernanda Serrano Guzmán.
- **Juan Camilo Galvis Rodríguez:** Estudiante de sexto semestre de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Javeriana Cali. Semillero Gestión de Obras liderado por la profesora María Fernanda Serrano Guzmán.

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2019 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)