

# EVALUACIÓN DE LA CENIZA PROVENIENTE DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR COMO MATERIAL CEMENTANTE ALTERNATIVO PARA LA ELABORACIÓN DE MORTEROS

Salomon Henao Caicedo<sup>1</sup>, Juan Fernando Libreros Yusty<sup>1</sup>, Aníbal Maury Ramirez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Pontificia Universidad Javeriana, Seccional Cali, Calle 18 # 1-18, Santiago de Cali, Colombia;  
Correos Electrónicos: [salo2305@hotmail.com](mailto:salo2305@hotmail.com); [juanferyusty27@hotmail.com](mailto:juanferyusty27@hotmail.com),  
[anibal.maury@javerianacali.edu.co](mailto:anibal.maury@javerianacali.edu.co).

**Resumen:** El bagazo de caña de azúcar es un sub-producto de la industria azucarera, utilizado para la producción de energía en diferentes sectores de la industria del país. Cuando este elemento es quemado, en las calderas utilizadas, quedan residuos de la combustión (cenizas). Estas cenizas poseen gran capacidad cementante por la composición química y tamaño de partícula que poseen. Este estudio se basa en la evaluación de dichos residuos aplicados a muestras de mortero haciendo sustituciones en 10, 20 y 30 por ciento (en peso) en el contenido de material cementante, para ser comparados con morteros convencionales. Para dicha comparación se evalúan las propiedades mecánicas y físicas de las diferentes mezclas de mortero con sustitución de cemento y se comparan con las muestras convencionales de mortero (referencia). Con la investigación se estableció un porcentaje óptimo de sustitución, ya que posee las más altas resistencias, pero se observó que el máximo reemplazo se acerca considerablemente al comportamiento de las muestras de referencia, convirtiendo el residuo en un material altamente capacitado para ser utilizado en el área de la construcción, resolviendo tanto el impacto ambiental de la utilización extendida del cemento Portland como la contaminación de la disposición de los restos de la quema del bagazo.

**Palabras Claves:** Ceniza de Bagazo, Material cementante alternativo, Sustitución parcial, Resistencia a la compresión, Resistencia a la flexión

## 1. INTRODUCCIÓN

En la región del Valle del Cauca la producción extensiva de bienes derivados de la caña de azúcar genera importantes cantidades de residuos que no reciben una disposición final adecuada. Por otra parte, las ciudades Colombianas, entre ellas Cali, están inmersas en grandes procesos de renovación urbanística donde se requieren grandes cantidades de cemento portland para la fabricación de concreto y mortero.

Con el ánimo de reducir los costos de producción y el impacto ambiental, este proyecto evalúa la utilización de ceniza proveniente de la combustión de bagazo de caña de azúcar como reemplazo parcial del cemento portland para la fabricación de morteros.

Para lograr esto se estudió sistemáticamente el comportamiento mecánico (compresión y flexión) de mezclas de mortero donde se reemplazó el 10%, 20% y 30% del cemento portland. Además se evaluaron las propiedades físicas (porosidad, densidad y absorción) y propiedades en estado fresco (consistencia, flujo y tiempo de fraguado) de dichas mezclas de mortero.

Los resultados indican que aunque hubo un retraso en la adquisición de resistencia de los morteros adicionados en relación al mortero de referencia (sin reemplazo de cemento portland) a los 28 días, las resistencias mecánicas de los morteros con reemplazo del 10% y 20% fueron mayores que los del mortero de referencia a los 56 días de edad de las muestras

Los resultados encontrados en esta investigación proporcionan parámetros en la búsqueda cementantes alternativos para la industria de la construcción, debido a que con la solución de una problemática ambiental se genera un aprovechamiento de residuos que puedan beneficiar la economía de proyectos constructivos.

## **2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

Buscando un proceso que dé solución a la problemática generada por la gran cantidad de residuos obtenidos del bagazo de caña de azúcar, que afecta no solo el sector agrícola encargado sino también a las comunidades aledañas debido a la contaminación producida, se vuelve de mucha importancia el remplazo de los componentes de los materiales de construcción con dichos residuos, ya que la composición química es positiva para tal fin como se explica en Sales & Araujo (2010).

La ceniza del bagazo previamente quemada a una temperatura controlada permite que sea adicionada en la mezcla de concreto dándole una resistencia aceptable, menor desprendimiento de calor, y reducción de la permeabilidad al agua con respecto al concreto normalmente diseñado, señalando incluso una posible sustitución hasta de un 20% por el cemento, resultado que sin duda abre una oportunidad para la inclusión de este material en la construcción.

Se puede afirmar que hasta un 30% de bagazo puede ser adicionado a la mezcla como material de remplazo del cemento portland, aumentando su resistencia a la compresión en el intervalo de 65,6 a 68,6 MPa (a 28 días) que es más alta que la del concreto normal aun sin comparar los resultados de resistencia de la ceniza ensayada a los 56 días, punto máximo de reacción de la ceniza en la mezcla (Ganesan, 2007). Estos resultados representan un incremento importante en la resistencia y una ventaja significativa frente a materiales más costosos. En general los materiales puzolanicos modifican la capacidad de absorción y de resistencia del concreto, por tal razón es recomendable evaluar las etapas de los ensayos en periodos de tiempo y con 3 diferentes muestras con distintos porcentajes de bagazo adherido, obteniendo datos que confirmen a la ceniza de bagazo de caña como material cementoso suplementario (Rejagopal, 2007).

El desarrollo de alta resistencia final, reducción en la permeabilidad al agua y difusión hacen que la ceniza de bagazo de caña de azúcar sea un candidato potencial para la sustitución de cemento y agregados finos, la correlación que mantienen los resultados con los parámetros de la norma, hace que esta iniciativa tome más fuerza y se convierta en un proyecto potencialmente ambiental y económico (Oliveira de Paula, 2010).

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Tiempo de Fraguado.

En cuanto al tiempo de fraguado el cambio es considerable ya que el reemplazo del material cementante por ceniza de bagazo de caña retrasa el fraguado, lo que representa que los tiempos de espera para entregar un elemento al que se le adicionan este tipo de cenizas es más alto. Al observar únicamente este atributo el reemplazo no es conveniente, pero como se ha argumentado anteriormente los otros atributos son beneficiosos por lo que es posible que buscando un fin económico o ambiental se pueda considerar algún retraso en la entrega por usar el material alternativo

#### 3.2. Resistencia a la Compresión.

Se observa como la resistencia crece prácticamente linealmente hasta los 28 días en el mortero de referencia pero continúa aumentando después de este periodo de tiempo, en los especímenes que contienen cenizas. Al enfocarse en los resultados de la edad más avanzada se nota que los promedios de cada una de las resistencias son muy similares e incluso en el caso de 20 % de reemplazo el resultado sobrepasa la resistencia a la compresión del mortero de referencia.

La resistencia a la compresión el mortero de referencia alcanza el valor máximo y luego tiende a estabilizarse cerca de ese dato volviéndose constante, pero los ejemplares con 10, 20 y 30 por ciento continúan creciendo casi linealmente hasta llegar al valor deseado. Aunque el resultado esperado ocurre a mayor número de días, la resistencia esperada es obtenida con agregarse solo cemento de tipo convencional. Este efecto ocurre en todos los porcentajes de ceniza incluso en el mayor, donde se ha sustituido cerca de la tercera parte del contenido total de material cementante habitual.

Estudiando el comportamiento de las diferentes muestras a una determinada edad, se puede establecer que con el 20% de reemplazo se obtuvieron los resultados más altos superando a los morteros de referencia en cada edad.

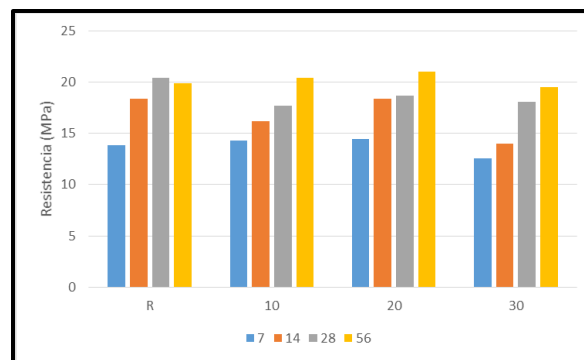


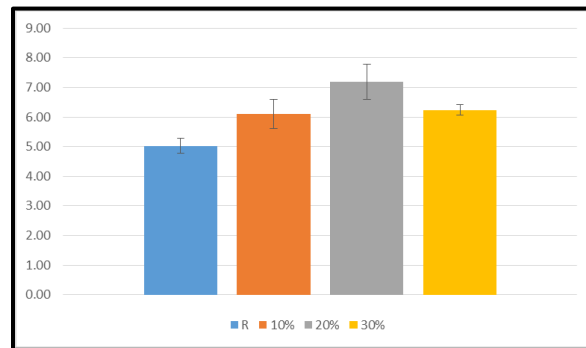
Figura 1. Resistencia a la compresión.

#### 3.3. Resistencia a la Flexión.

En la figura 2 se observa que la máxima resistencia se presentó cuando se reemplazó el 20%, y muestra gran mejoría con relación al mortero de referencia que se realizó. Para los reemplazos de 10 y 30 % aunque la resistencia es menor que para 20%, también están por encima de la muestra

de referencia lo que simboliza que en términos de flexión la ceniza de bagazo de caña también muestra efectos positivos para el reemplazo. Es común comparar la resistencia a la flexión con la resistencia a la compresión, es por esto que se establecen el porcentaje que representa la última en los resultados que en este apartado se estudian.

Los morteros con adición de ceniza modifican cualidades como la permeabilidad al agua, los porcentajes de vacíos y por ende la absorción, estos aspectos se relacionan con la resistencia a la flexión ya que se observó que las viguetas fallaban en los puntos donde había poca cohesión entre las partículas con el agregado tal cual como se menciona en los antecedentes respectivos (Oliveira de Paula, 2010).



**Figura 2. Resistencia a la Flexión.**

#### 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En esta investigación se evaluó la utilización de la ceniza del bagazo de caña de azúcar como reemplazo parcial del cemento portland para la elaboración de morteros con consistencia plástica y 21 MPa de resistencia a compresión. Los resultados muestran que aunque hubo incrementos en los tiempos de fraguado inicial y final de hasta el 221% y 234%, respectivamente, las resistencias a compresión a los 56 días no solo no presentaron diferencias significativas sino que los morteros con reemplazo del 10 y 20% superaron la resistencia a compresión de la muestra de referencia en 2.5 y 5.0%, respectivamente. De igual modo, las resistencias a flexión de los morteros con reemplazo de cemento portland resultaron mayores que las del mortero de referencia. En el mejor caso, el mortero con reemplazo del 20%, se encontró una resistencia a flexión 40% mayor que la del mortero de referencia. Los resultados anteriores indican el gran potencial que tiene la ceniza del bagazo de caña de azúcar como material cementante alternativo en la región del valle del Cauca. Esto no solo podría reducir los costos de los materiales de construcción sino que además ayudaría a reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas durante la clinkerización del cemento portland y a incorporar un residuo importante de la industria azucarera en la cadena productiva de la construcción. Después de estudiar características físicas, mecánicas y químicas tanto de las mezclas como de los agregados correspondientes a esta investigación es posible afirmar que la ceniza de bagazo de caña de azúcar representa grandes beneficios como reemplazo parcial del material cementante dentro de un mortero. Realizando un análisis económico se puede determinar que con un reemplazo de 20% de ceniza en un proyecto convencional, se haría un ahorro de 2 sacos de cemento por metro cúbico de mortero, lo que en costos representan casi \$60.000 pesos para costos a la fecha, lo que reduciría el consumo de cemento y su producción directamente,

haciendo así que el impacto ambiental por este proceso industrial se reduzca considerablemente, y aumente la utilización del residuo que contamina directamente el medio ambiente por sus grandes volúmenes de almacenaje.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.**

- [1] Apuntes de Ingeniería Civil. (2010, Octubre). Composición del Cemento. Recuperado de: <http://apuntesingenierocivil.blogspot.com/2010/10/composicion-del-cemento.html#more>
- [2] Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia. (2014). Estadísticas de cosecha y producción de la caña de azúcar en Colombia. Colombia: Londoño Capurro L. F.
- [3] A Sales A & Lima Araujo S. (2010). Use of Brazilian sugarcane bagasse ash in concrete as sand replacement. *Waste management*. 30. 114-1122.
- [4] G.C. Cordeiro & R.D. Toledo Filho, L.M. Tavares, E.M.R. (2009). Fairbairn Ultrafine grinding of sugar cane bagasse ash for application as pozzolanic admixture in concrete. *Cement and Concrete Research*, 39, 110–115.
- [5] L.B. Andrade & J.C. Rocha, M. Cheriaf. (2007). Evaluation of concrete incorporating bottom ash as natural aggregates replacement. *Waste Management*, 27 (9), 1190–1199.
- [6] Chaves Solera, M. (1985). Las vinazas en la fertilización de la caña de azúcar: naturaleza y composición. *El Agricultor Costarricense*, 43 (3-4), 59-61.
- [7] Da Silva, M. Griebeler & N. Borges, L (2006). Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. *Revista Brasileira de Ingeniería Agrícola y Ambiental*. 11, 108-114.
- [8] Girón Tejada, M. C. (2008). Evaluación de la posible contaminación del suelo y agua subterránea con elementos pesados por el uso de vinazas en el cultivo de la caña de azúcar. Universidad Politécnica de Cataluña, España.
- [9] Rukzon S. & Chindapasirt P. (2012). Use of bagasse ash in high-strength concrete. *Materials & Design*. 34, 45-50.
- [10] Chusilp N, Jaturapitakkul C & Kiattikomol K. (2009). Utilization of bagasse ash as a pozzolanic material in concrete. *Construction and Building Materials*. 23. 3352-3358.
- [11] Ganesan K., Rajagopal K. & Thangavel A (2007). Evaluation of bagasse ash as supplementary cementitious material. *Cement and Concrete Composites*. 29. 515-524.
- [12] ASTM Standard D854. Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer, Annual Book of Standards. Vol. 10.
- [13] ASTM Standard C136. Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. Annual Book of Standards. Vol. 6.
- [14] ASTM Standard C128-12. Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate Annual Book of Standards. Vol. 12.

- [15] ASTM Standard C191-13. Test Methods for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle. Annual Book of Standards. Vol. 13.
- [16] ASTM Standard C187. Test Method for Amount of Water Required for Normal Consistency of Hydraulic Cement Paste. Annual Book of Standards. Vol. 11.
- [17] ASTM Standard C403. Test Method for Time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance . Annual Book of Standards. Vol. 1.
- [18] ASTM Standard C1437-13. Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar. Annual Book of Standards. Vol. 13.
- [19] ASTM Standard C192. Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory. Annual Book of Standards. Vol. 1.
- [20] ASTM Standard C293. Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Center-Point Loading). Annual Book of Standards. Vol. 1.
- [21] ASTM Standard C642. Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete Annual Book of Standards. Vol. 97.
- [22] ASTM Standard C127. Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate. Annual Book of Standards. Vol. 1.
- [23] Alarcon, G. A. Sanchez, C. G., Gomez & E. Barbosa, L. A. (2006). Caracterización del bagazo de la caña de azúcar: Parte I: características físicas. Proceedings of the 6. Encontro de Energia no Meio Rural. Campinas, SP: Brazil.
- [24] Payá, J. Monzó, J. Borrachero, M. V. Díaz, L. Ordóñez, L. M., (2002) “Sugar-cane bagasse ash (SCBA): studies on its properties for reusing in concrete production”, revista Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 77(3), 321-325.
- [25] Cordeiro, G. C. Toledo, R. D. Tavares, L. M. Rego, E. M.,(2009 ) “Ultrafine grinding of sugar cane bagasse ash for application as pozzolanic admixture in concrete”, Cement and concrete research, 39,110-115.
- [26] Jiménez, V.G., León, F.M., Montes, P., Gaona, C., Chacón, J.G.(2013), “Influence of sugar-cane bagasse ash and fly ash on the rheological behavior of cement pastes and mortars”, Construction and Building Materials,40, 691-701.
- [27] Frías, M., Villar, E., Savastano, H.(2011), “Brazilian sugar cane bagasse ashes from the cogeneration industry as active pozzolans for cement manufacture”, Cement and Concrete Composites, 33(4), 490-496.
- [28] Cordeiro, G.C., Toledo, R.D., Tavares, L.M., Fairbairn, E.M.R.(2008), “Pozzolanic activity and filler effect of sugar cane bagasse ash in Portland cement and lime mortars”, Cement and Concrete Composites, 30(5), 410-418.
- [29] Tovar, J. (2012), “Entrevista ceniza de bagazo”, [Estudio de campo], Ingenio Providencia, Cerrito, Colombia.

- [30] Morales, E.V., Villar, E., Frías, M., Santos, S.F., Savastano, H. (2009), “Effects of calcining conditions on the microstructure of sugar cane waste ashes (SCWA): Influence in the pozzolanic activation”, *Cement and Concrete Composites*, 31(1), 22-28.
- [31] Chusilp, N., Jaturapitakkul, C., Kiattikomol, K. (2009), “Utilization of bagasse ash as a pozzolanic material in concrete”, *Construction and Building Materials*, 23(11), 3352-3358.
- [32] Cordeiro, G.C., Toledo, R.D., Fairbairn, E.M.R. (2009), “Effect of calcination temperature on the pozzolanic activity of sugar cane bagasse ash”, *Construction and Building Materials*, 23(10), 3301-3303.
- [33] Ganesan, K., Rajagopal, K., Thangavel, K. (2007), “Evaluation of bagasse ash as supplementary cementitious material”, *Cement and Concrete Composites*, 29(6), 515- 524.
- [34] Frías, M., Villar, E., Valencia, E.( 2007), “Characterisation of sugar cane straw waste as pozzolanic material for construction: Calcining temperature and kinetic parameters”, *Waste Management*, 27(4), 533-538.
- [35] Oliveira de Paula M., et al, (2010) “Sugarcane Bagasse ash as a partial-Portland-cement-replacement material”, *Revista Dyna*, 77, 47-54.
- [36] Sánchez de Guzmán, D. (2001). *Tecnología del Concreto y el Mortero*. Santa fe de Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- [37] Cementos ARGOS, Cemento gris de uso general (Noviembre 2015) Ficha Técnica. Versión 3. Recuperado de: <http://www.argos.co/colombia/productos/producto/subproducto?id=733>