



UCV-HACER. Revista de Investigación y Cultura
ISSN: 2305-8552
ISSN: 2414-8695
revistaucvhacer@ucv.edu.pe
Universidad César Vallejo
Perú

Ceniza de bagazo de caña de azúcar en la resistencia a la compresión del concreto

FARFÁN CÓRDOVA, Marlon Gastón; PASTOR SIMÓN, Hary Hernando
Ceniza de bagazo de caña de azúcar en la resistencia a la compresión del concreto
UCV-HACER. Revista de Investigación y Cultura, vol. 7, núm. 3, 2018
Universidad César Vallejo, Perú
Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=521758012002>
DOI: <https://doi.org/10.18050/RevUCVHACER.v7n3a2>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0 Internacional.

Ceniza de bagazo de caña de azúcar en la resistencia a la compresión del concreto

Sugarcane bagasse ash in the compressive strength of concrete

FARFÁN CÓRDOVA, Marlon Gastón
Universidad César Vallejo, Perú
mfarfan@ucv.edu.pe

 <http://orcid.org/0000-0001-9295-5557>

PASTOR SIMÓN, Hary Hernando
Universidad César Vallejo, Perú
harysimon@hotmail.com

 <http://orcid.org/0000-0002-3845-0651>

DOI: <https://doi.org/10.18050/RevUCVHACER.v7n3a2>

Redalyc: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=521758012002>

Recepción: 15 Junio 2018

Aprobación: 30 Agosto 2018

Publicación: 21 Diciembre 2018

RESUMEN:

En esta investigación se evalúa el efecto de la ceniza de caña de azúcar (CBCA) en la resistencia del concreto de 210 kg/cm², reemplazando parcialmente CBCA por el cemento, en proporciones de 20 y 40%. Los resultados mostraron que la resistencia a la compresión del concreto disminuyó con el incremento de la proporción de ceniza, por debajo de la mezcla de diseño. El concreto con 20% de CBCA tuvo mejor comportamiento a compresión a los 7 y 28 días de curado, aunque ambas estuvieron 59% por debajo del concreto estándar (control). Esto sugiere no recomendar la CBCA para el uso estructural por su disminuida resistencia a la compresión.

PALABRAS CLAVE: residuos agroindustriales, concreto, bagazo de caña de azúcar.

ABSTRACT:

In this investigation, the effect of sugarcane bagasse ash (SBA) on concrete strength of 210 kg/cm² is evaluated, partially replacing SBA with cement, in proportions of 20 and 40%. The results showed that the compressive strength of the concrete decreased with increasing ash content, below the design mix. Concrete with 20% SBA had better compressive performance at 7 and 28 days of cure, although both were 59% below standard concrete (control). This suggests not recommending SBA for structural use because of its decreased compressive strength.

KEYWORDS: agro-industrial waste, concrete, sugarcane bagasse.

INTRODUCCIÓN

La utilización de las cenizas de bagazo de caña de azúcar (CBCA) en el rubro de la construcción está cobrando cada vez más fuerza, ya que promete ser un subproducto industrial capaz de reemplazar parcialmente al cemento y de esta manera contribuir en la disminución de gases de efecto invernadero (CO₂) que se generan en la producción industrial del cemento, además de los beneficios tanto económicos como medioambientales (Agencia Iberoamericana para la Difusión de la Ciencia y la Tecnología [DICYT], 2014). Según la DICYT, la CBCA presenta en su composición química el óxido de silicio capaz de reaccionar con otros compuestos y hacer que mejoren las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto, además refiere que es útil para la estabilización de bloques de suelo compactados, ya que aumenta sus propiedades de resistencia y durabilidad.

En principio, los desechos de caña de azúcar muestran una caracterización que contribuye como material puzolánico para la construcción, así se tiene que la CBCA calcinada a una temperatura de 800 y 1000 grados Celsius posee propiedades que favorecen la alta actividad puzolánica (Frías et al., 2007), del mismo modo las

pruebas de actividad puzolánica muestran la influencia de diferentes factores en la activación de estas cenizas (Morales et al, 2009). Por su parte, Torres et al. (2014) indican que la CBCA presenta altos porcentajes de sílice que van desde 63.2% a 76.3% y califican como una puzolana al superar el 75% de índice de actividad por resistencia mecánica (ASTM C618). Guzmán et al. (2011) también determinaron un alto porcentaje de sílice (81%) en la ceniza de hoja de caña de azúcar, determinando que es apta para ser utilizada como adición puzolánica.

En otros estudios se analiza el comportamiento puzolánico de CBCA y su participación porcentual dentro de la mezcla de concreto, así tenemos a Moraes et al. (2015) y Torres et al. (2014) quienes analizaron el uso de la ceniza de paja de caña de azúcar como producto de reemplazo del cemento, encontrando que posee buenas propiedades mecánicas para morteros y puede reemplazar al cemento entre 15 a 30%. De Soares et al. (2016) estudiaron el comportamiento puzolánico de la CBCA y determinaron que debe usarse como reemplazo de los constituyentes inertes del cemento en lugar de solamente adicionarlo en forma de puzolánica; por su parte Cordeiro et al. (2016) incorporaron una nueva tecnología denominada molienda selectiva que permite desarrollar un material cementante mejorado al reducir los contenidos de cuarzo que obstaculizaban la reactividad del CBCA y le restan actividad puzolánica.

De otro lado, Frías et al. (2017) también analizaron el comportamiento puzolánico de CBCA generados con dos procesos de producción diferentes, y determinaron que los cementos mezclados al 20% de sustitución de cenizas cumplían las características químicas, físicas, mecánicas, y mantuvieron el rendimiento mecánico a los 60 días de curado respecto al mortero estándar. Resultados similares encuentran Dhengare et al. (2015) en su revisión bibliográfica, donde la CBCA como material cementante en concreto y mortero sostenible es un buen reemplazo hasta en 20% para la resistencia a la compresión y 10% para resistencia a tracción. La mejora de la resistencia a la compresión del mortero al reemplazar parcialmente el cemento por CBCA se debe al efecto de relleno y a la reacción puzolánica entre el SiO₂ reactivo de CBCA y el Ca (OH)₂ de la hidratación del cemento.

Por su parte, Vinicius et al. (2013) evaluaron mezclas de escoria de alto horno (EAH) y ceniza de bagazo de caña de azúcar (SCBA) para la producción de pastas y morteros activados con álcalis. Encontraron que la CBCA tenía un alto porcentaje de materia orgánica (aproximadamente el 25%) y se estudiaron mezclas de EAH y CBCA, reemplazando parte de la EAH por CBCA de 0 a 40% en peso que alcanzaron hasta 60 MPa a los 270 días de curado a 20°C. Concluyeron que con CBCA se puede preparar aglutinantes activados por álcalis.

Giraldo et al. (2012) trabajaron con la ceniza de bagazo de caña (CBC) como aditivo al cemento portland para la fabricación de elementos de construcción, usándolo como sustituto parcial del cemento. Después que las muestras fueron manipuladas a través del calor debido al alto contenido de cenizas no calcinadas en su totalidad, se encontró que el residuo puede ser adicionado al cemento ya que presenta un 97% de actividad puzolánica, superando al mínimo exigido (75%) por la norma ASTM C618, el cual es empleado para cenizas tipo F, cumpliendo con los requerimientos químicos con un contenido de sílice, alúmina y óxido férrico. A pesar de tener un alto contenido de carbón, los mejores resultados obtenidos en compresión fueron con el 10% de reemplazo.

Cabrera y Díaz (2010) evaluaron el comportamiento de mezclas de concreto con cenizas volantes de bagazo de caña de azúcar en porcentajes de 40, 45 y 50% como sustitución parcial del cemento, para resistencias de diseño de 180 y 250 kg/cm². Los resultados mostraron que la resistencia a la compresión, a los 7, 14, 21 y 28 días, disminuyó considerablemente; para las mezclas de diseño de 180 kg/cm² se obtuvieron resistencias de 52 y 66 kg/cm² y para las mezclas de 250 kg/cm² resistencias de 103 y 130 kgf/cm². Debido a los resultados este concreto puede ser utilizado solamente en trabajos ornamentales o en bases de pavimentos debido a su baja resistencia alcanzada y el bajo módulo de elasticidad.

En contrapartida al caso anterior, Amigo y Palomino (2009) evaluaron el comportamiento de mezclas de concreto de resistencias altas con cenizas volantes obtenidas del bagazo de caña de azúcar en porcentajes de 5,

10 y 15% como sustitución parcial del cemento, para resistencias de diseño de 280 y 350 kg/cm². Las muestras presentaron disminución del asentamiento en función al aumento de proporción de ceniza volante, el cual es atribuido a la capacidad de absorción del material. Los resultados demuestran el uso de cenizas volantes como sustitución parcial del cemento en mezclas de altas resistencias con proporciones de hasta 15%, obteniendo un comportamiento de las resistencias estudiadas aceptable en una sustitución de hasta 10%.

Este artículo presenta la evaluación del porcentaje de ceniza del bagazo de caña de azúcar sobre la resistencia a la compresión del concreto de 210 kg/cm², a los 7 y 28 días de las probetas y según composición de la ceniza. Además, para medir la composición química de la ceniza del bagazo de caña de azúcar se utilizó el ensayo de Espectrometría de energía dispersiva.

METODOLOGÍA

La presente investigación fue de tipo experimental con posprueba únicamente y grupo control, para lo cual se utilizaron 24 probetas cilíndricas de concreto de 150x300 mm distribuidas en un grupo control y dos grupos experimentales, a 7 y 28 días de curado con 4 ensayos cada uno. La CBCA fue dosificada en 20% y 40% para sustituir al cemento. El proceso de curado de probetas se realizó bajo la norma ASTM C31 y la prueba de resistencia a la compresión ASTM C39, AASHTO T 22 y NTP 339.034. Se utilizó el Método ACI para el diseño de mezcla de concreto, y la espectrometría de energía dispersiva para determinar la composición química inorgánica de la CBCA.

RESULTADOS

Caracterización físico-químico de materiales y diseño de mezcla:

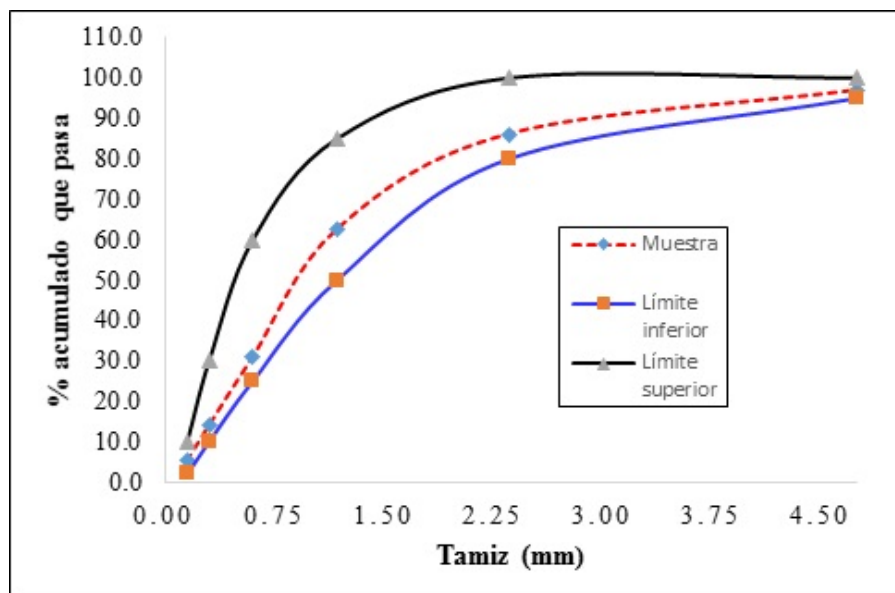


FIGURA 1.
Granulometría del agregado fino – Límites de especificación NTP 400.012

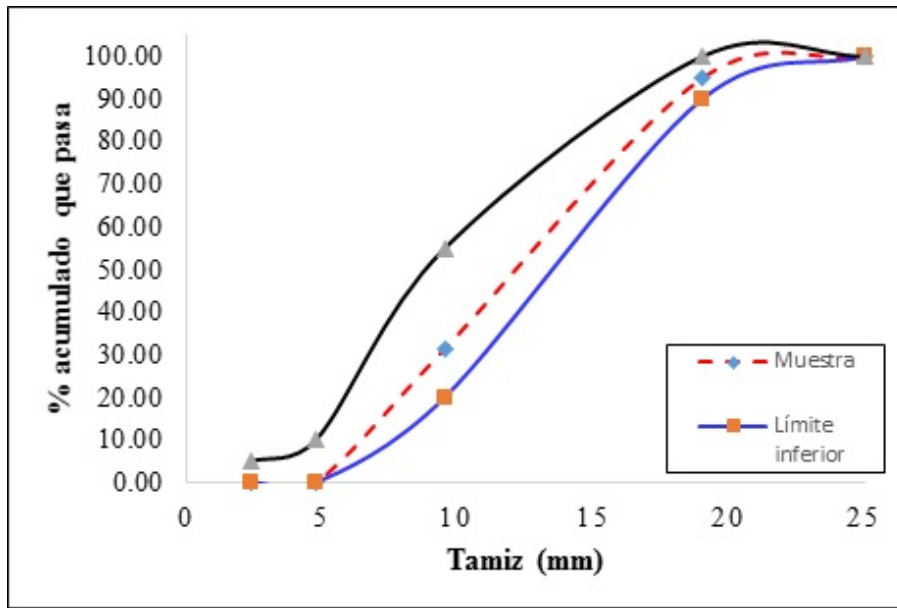


FIGURA 2.
Granulometría del agregado grueso – Límites de especificación NTP 400.012

Las figuras 1 y 2 presentan la granulometría obtenida en los ensayos realizados al agregado fino y grueso, respectivamente.

Rasgos	N° de sílabos			
	SÍ	%	NO	%
Las competencias-capacidades son adecuadas al sentido de la asignatura.	2	28.57	5	71.42
Las competencias-capacidades son coherentes con el perfil profesional.	3	42.85	4	57.14
Las competencias-capacidades son coherentes con las asignaturas precedentes y siguientes.	2	28.57	5	71.42

TABLA 1
Proporciones del material que componen la mezcla de concreto estándar.

Nota: La presente dosificación no señala la aplicación de ningún aditivo plastificante. En la dosificación con latas, tener en cuenta que en una bolsa de cemento llena 1.75 latas. El diseño se ha realizado con las humedades naturales de los materiales que han llegado al laboratorio, cualquier cambio de estos en el campo se deberá hacer la rectificación correspondiente tanto en exceso como en defecto.

Material	Proporción en peso	
	20%	40%
Cemento	0.8	0.6
Ceniza	0.2	0.4
Agregado fino	2.21	2.21
Agregado grueso	2.71	2.71
Agua	0.99	0.99

TABLA 2
Proporciones del material que componen la mezcla de concreto de $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$ con 20% y 40% de CBC.

TABLA 3

Composición química inorgánica elemental de las cenizas de bagazo de caña de azúcar (CBCA).

TABLA 4

Composición química inorgánica de las cenizas de bagazo de caña de azúcar (CBCA) expresada como óxidos.

*Para aplicar el método de Espectrometría de energía dispersiva, se necesitó una temperatura de 20.9 °C y Humedad relativa al 62%. El equipo utilizado fue un Microscopio electrónico de barrido con sonda de espectrometría de energía dispersiva SEM-EDS. SEM, Carls Zeiss EVO-10 MA. Sonda EDS, Oxford X-Max.

Pruebas en estado plástico y ensayos mecánicos en estado endurecido:

TABLA 5

Asentamiento del concreto en estado fresco

Los resultados de ensayos de las muestras en estado endurecido se muestran en la tabla 6 y figuras 3 y 4 en cilindros de 150 mm de diámetro y 300 mm de alto.

TABLA 6

Resistencia a la compresión promedio del concreto endurecido a 7 y 28 días de curado.

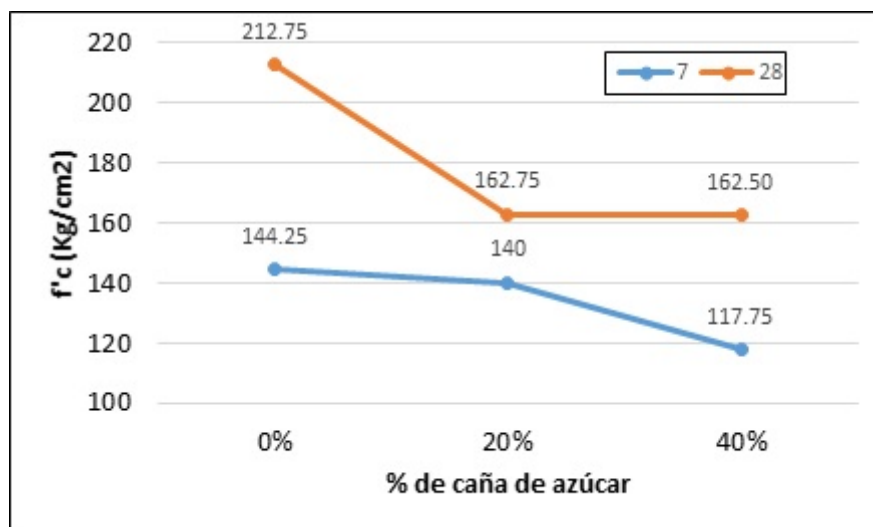


FIGURA 3.

Resistencia a la compresión del concreto según porcentaje de ceniza de bagazo de caña de azúcar.

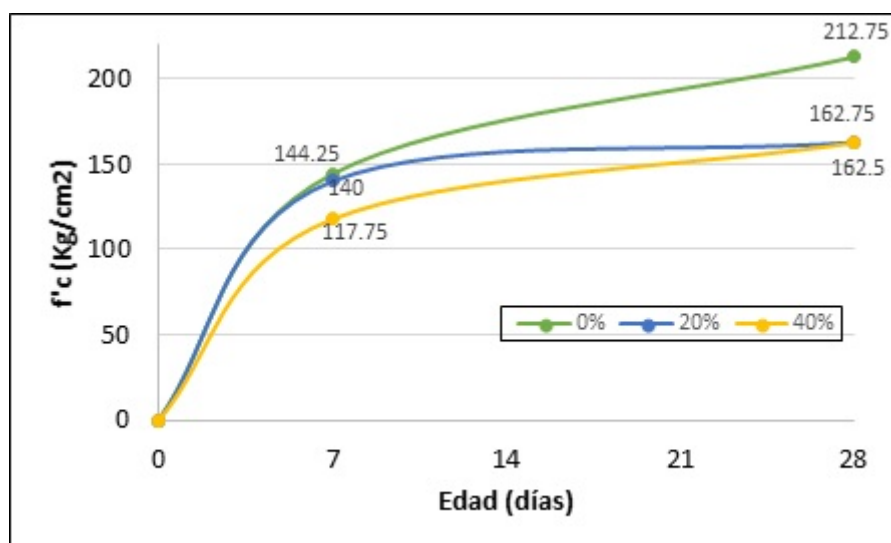


FIGURA 4.

Resistencia a la compresión del concreto según tiempo de curado.

Análisis estadístico de resultados:

Los datos de las muestras no cumplieron con la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk ($p < 0.05$), según la edad de curado de las probetas. Luego, se aplica la prueba de Kruskal-Wallis para las resistencias a compresión.

Edad de especímenes	Media	Desviación estándar	Chi-cuadrado	Significancia (p)
7 días	134	12.98	1.859	0.395
28 días	179.3	28.13	7.526	0.023*

TABLA 7

Comparación de medias para datos de resistencia a la compresión del concreto endurecido según días de curado.

*La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05 ($p < 0.05$)

En la tabla 7 vemos que no existe diferencias significativas ($p > 0.05$) entre las resistencias a compresión a los 7 días pero sí a los 28 días ($p < 0.05$) de curado para todas las muestras, por consiguiente, según el análisis de post hot de la tabla 8, se observa que a los 28 días de curado las muestras presentan diferencias muy significativas ($p < 0.01$) entre C°E y las muestras C°+20% y C°+40%.

Muestra	C° E	C°+20%	C°+40%
C°E	0.003*	0.003*
C°+20%		1
C°+40%		

TABLA 8

Comparación múltiple entre las muestras de especímenes de concreto a 28 días de curado.

*La diferencia de medias es muy significativa en el nivel 0.01 ($p < 0.01$)

DISCUSIÓN

En las figuras 1 y 2 se observa que los agregados fino y grueso cumplen con las especificaciones de la norma NTP 400.012, es decir, su granulometría está dentro de los límites establecidos y por consiguiente está apto para su uso. De la tabla 4 se observa que la suma de óxidos de silicio, aluminio y hierro supera el mínimo establecido (70%) por la norma ASTM C 618, siendo éste 83.54% condición requerida para que la CBCA sea considerado como material puzolánico.

A través del ensayo de espectrometría a la CBCA se determinó que los componentes químicos Silicio, aluminio y hierro superan a sus correspondientes del cemento, salvo el porcentaje de Calcio (6.19% contra 61.54%). Se puede deducir que el bajo porcentaje de calcio afecta a la resistencia a la compresión de las probetas a los 28 días.

Asentamiento del concreto fresco:

De la tabla 6 podemos observar que el asentamiento en las mezclas de concreto con 20 y 40% de CBCA tuvieron un incremento 8% y 5.7%, respecto al concreto estándar. La consistencia obtenida de todas las mezclas producidas y ensayadas fueron las deseadas, no se obtuvo diferencias importantes a pesar de los diferentes porcentajes del CBCA, siendo este un reemplazo parcial del cemento dentro del concreto. Sin embargo, Cabrera y Díaz (2010) reportaron incremento de asentamiento de hasta 33.33% al usar 40% de CBCA.

Resistencia a la compresión:

Las mediciones de resistencia a la compresión promedio (tabla 7 y figuras 3 y 4), muestran que las resistencias de las muestras experimentales están por debajo de la muestra patrón hasta en 43.93% para 7 días de curado, y hasta 22.62% para 28 días, siendo bajas importantes. Esta misma tendencia se observa en la investigación de Cabrera y Díaz (2010) quienes determinaron disminuciones de hasta 62% para concreto con 40% de CBCA a 28 días. Chávez (2017) también registró decrementos de hasta 10.41% (1% CBCA) para 7 días y de 35.16% (5% CBCA) para 28 días. Por su parte, Alvarado et al. (2016) encontraron que a los 7 días de curado las resistencias fueron menores a las de diseño (210 kg/cm²) hasta en 37.78%, para 5, 10, 15 y 20% de CBCA, a los 28 días fueron mayores para 5 y 10% de CBCA mientras que para 15 y 20% CBCA disminuyeron hasta en 20.54%. Estos decrementos en la resistencia pueden estar sustentados en el hecho de que como no se sometió a la ceniza a un proceso de molienda previa, hecho que garantiza la reactividad y disminución de contenido de cuarzo (Cordeiro et al, 2016), a medida que se incrementaba la proporción de CBCA disminuía la acción puzolánica de la mezcla, ya que a mayor tamaño de las partículas menor velocidad de hidratación y pérdida de resistencia (Cabrera y Díaz, 2010, p.92).

Análisis estadístico:

Respecto al efecto de la dosificación de CBCA en la resistencia a la compresión del concreto, solamente las diferencias significativas ($p < 0.05$) se dan a los 28 días, es decir, los valores en las muestras con 20 y 40% de CBCA tienden a alejarse y ser inferiores a la muestra patrón (figura 4 y tabla 8). Este resultado estaría confirmando que los componentes del concreto juegan un rol fundamental en la resistencia, sobre todo a esa edad.

CONCLUSIONES

Las proporciones de CBCA, 20 y 40%, lograron resistencias a la compresión por debajo de la de diseño de 43.93% a 7 días y 22.62% a 28 días de curado.

Las resistencias a la compresión solamente mostraron diferencias significativas a los 28 días de curado.

La resistencia a la compresión se ve afectada por el reemplazo de cemento por CBCA en proporciones de 20 y 40%.

Las proporciones de CBCA al 20 y 40% no se presenta como una alternativa de sustitución parcial del cemento.

REFERENCIAS

Agencia Iberoamericana para la difusión de la Ciencia y la Tecnología. (2014). *Bagazo de caña, posible componente de concreto hidráulico*. Recuperado de <http://www.dicyt.com/noticias/bagazo-de-cana-posible-componente-de-concreto-hidraulico>

- Alvarado, J., Andrade, J., & Hernández, H. (2016). Estudio del empleo de cenizas producidas en ingenios azucareros como sustituto parcial del cemento portland en el diseño de mezclas de concreto (Tesis de pregrado). Universidad de El Salvador, San Miguel, El Salvador. Recuperado de <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/14162/1/50108276.pdf>
- Amigo, M., & Palomino, J. (2015). *Evaluación del comportamiento de cenizas volantes obtenidas del bagazo de caña de azúcar como sustitución parcial del cemento en el diseño de mezclas de concreto de resistencias altas* (Tesis de pregrado). Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela. Recuperado de http://saber.ucv.ve/bitstream/123456789/11410/1/TESIS_%28JORGE_PALOMINO%2c_MARIA_KARINA_AMIGO%29.pdf
- American Society of Testing Materials ASTM C618. Especificación estándar para Ceniza volante de carbón y puzolana natural cruda o calcinada para su uso en hormigón, en ASTM Internacional. Recuperado de <https://www.astm.org/Standards/C618-SP.htm>
- Cabrera, Y., & Díaz, J. (2010). *Evaluación del efecto de la adición de cenizas volantes producto de la incineración del bagazo de caña de azúcar en mezclas de concreto de bajas a medias resistencias como sustitución parcial del cemento* (Tesis de pregrado). Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela. Recuperado de <http://saber.ucv.ve/bitstream/123456789/11567/1/TRABAJO%20ESPECIAL%20DE%20GRADO.pdf>
- Chávez, C. (2017). *Empleo de la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) como sustituto porcentual del agregado fino en la elaboración del concreto hidráulico* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú. Recuperado de http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/1048/T016_44477012_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Castaldelli, V., Akasaki, J., Melges, J., Tashima, M., Soriano, L., Borrachero, M., ... Payá, J. (2013). Sugar-cane bagasse ash (SCBA): studies on its properties for reusing in concrete production, *Materials*, 6, 3108-3127. doi: 10.3390/ma6083108
- Cordeiro, G., Tavares, L., & Toledo, R. (2016). Improved pozzolanic activity of sugar cane bagasse ash by selective grinding and classification. *Cement and Concrete Research*, 89, 269-275. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2016.08.020>
- De Soares, M., García, D., Figueiredo, R., Aguilar, M., & Cetlin, P. (2016). Comparing the pozzolanic behavior of sugar cane bagasse ash to amorphous and crystalline SiO₂. *Cement and Concrete Composites*, 71, 20-25. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2016.04.005>
- Dhengare, S., Amrodiya, S., Shelote, M., Asati, A., Bandwal, N., Khangan, A., & Jichkar, R. (2015). Utilization of sugarcane bagasse ash as a supplementary cementitious material in concrete and mortar - a review. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, 6(4), 94-106. Recuperado de <http://www.iaeme.com/MasterAdmin/UploadFolder/UTILIZATION%20OF%20SUGARCANE%20BAGASSE%20ASH%20AS%20A%20SUPPLEMENTARY%20CEMENTITIOUS%20MATERIAL%20IN%20CONCRETE%20AND%20MORTAR%20-%20A%20REVIEW/UTILIZATION%20OF%20SUGARCANE%20BAGASSE%20ASH%20AS%20A%20SUPPLEMENTARY%20CEMENTITIOUS%20MATERIAL%20IN%20CONCRETE%20AND%20MORTAR%20-%20A%20REVIEW.pdf>
- Frías, M., Villar-Cociña, E., & Valencia-Moraes, E. (2007). Characterization of sugar cane straw waste as pozzolanic material for construction: Calcining temperature and kinetic parameters. *Waste Manage*, 27, 533-538. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X06000894?via%3Dihub>
- Giraldo, C., Diana, D., López, C., & Torres, J. (2012). Ceniza de bagazo de caña como aditivo al cemento Portland para la fabricación de elementos de construcción. *Acta Agronómica*, 61(5), 77-78. Recuperado de https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/41468
- Guzmán, A., Gutiérrez, C., Amigó, V., Mejía de Gutiérrez, R., & Delvasto, S. (2011). Pozzolanic evaluation of the sugar cane leaf. *Mater Construcc*, 61, 213-225. Recuperado de <http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/view/630/676>
- Moraes, J., Akasaki, J., Melges, J., Monzó, J., Borrachero, M., Soriano, L., Payá, J., & Tashima, M. (2015). Assessment of sugar cane straw ash (SCSA) as pozzolanic material in blended portland cement: Microstructural characterization of pastes and mechanical strength of mortars. *Construction and Building Materials*, 94, 670-677. doi:10.1016/j.conbuildmat.2015.07.108

- Morales, E., Villar-Cociña, E., Frías, M., Santos, S., & 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. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2008.10.004>
- Torres, J., Mejía, R., Escandón, C., & González, L. (2014). Characterization of sugar cane bagasse ash as supplementary material for Portland cement. *Ingeniería e Investigación*, 34 (1), 5-10. Recuperado de <http://bdigital.unal.edu.co/38948/2/42787-203615-1-PB.html>