

## Evaluación de la resistencia del hormigón producido con la ceniza de la quema del bagazo de la caña de azúcar en sustitución parcial del cemento Portland

### Evaluation of the resistance of the concrete produced with the ash from the burning of sugar cane bagasse in partial replacement of Portland cement

Adegilson José Bento 1. Dione Luiza da Silva 2. Joaquin Humberto Aquino Rocha 3. Eliana Cristina Barreto Monteiro 4.

1 Adegilson José Bento Ingeniero Civil. Escola Politécnica de Pernambuco, Recife-PE (Brasil).  
*adegilson.jose19@gmail.com*

2 Dione Luiza da Silva Profesora, M.Sc. Escola Politécnica de Pernambuco, Recife-PE (Brasil).  
*dione\_luiza@hotmail.com*

3 Joaquin Humberto Aquino Rocha Profesor, M.Sc. Docente del Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Privada del Valle, Cochabamba (Bolivia).  
*jaquinor@univalle.edu*

4 Eliana Cristina Barreto Monteiro Profesora, PhD. Escola Politécnica de Pernambuco/Universidade Católica de Pernambuco, Recife-PE (Brasil).  
*eliana@poli.br*

#### RESUMEN

Brasil es el mayor productor de caña de azúcar, plantación que sirve de materia prima para la obtención de azúcar, alcohol y otros, además de otros subproductos como el bagazo (que puede ser quemado a fin de producir energía, proceso que genera residuos y cenizas). Este residuo posee en su composición básicamente silicatos y aluminatos que garantizan –cuando es calcinado a temperatura correcta– alta actividad puzolánica, presentando –de esta forma– una viabilidad técnica para su utilización como adición mineral en la fabricación de hormigón. En este sentido, el objetivo de este trabajo es analizar las características físicas de la ceniza de caña de azúcar y evaluar el desempeño de la resistencia a la compresión axial de cuerpos de pruebas de hormigón, producidos con sustitución parcial del cemento Portland por la ceniza del bagazo de

caña de caña de azúcar en proporciones de 5 %, 10 %, 15 % y 20 %. Los resultados indicaron que –en general– la ceniza del bagazo de caña de azúcar es viable en proporciones de 15 % de sustitución, lo que sugiere su utilización en la construcción civil con el fin de disminuir significativamente las emisiones de CO<sub>2</sub> causadas durante la fabricación de cemento, además de obtener una forma sustentable de reaprovechar el residuo que actualmente no tiene un destino adecuado.

**Palabras clave:** Ceniza de Bagazo. Material cementante alternativo. Sustitución parcial del cemento portland. Hormigón. Caña de azúcar.

#### ABSTRACT

Brazil is the largest producer of sugarcane in the world, a plantation that serves as a raw material to produce sugar, alcohol and others, as well as

other byproducts such as bagasse (that can be burned in order to produce energy, a process that generates waste and ashes). This residue has in its composition basically silicates and aluminates that guarantee, when it is calcined at the correct temperature, high pozzolanic activity presenting, in this way, a technical feasibility for its use as a mineral addition in the manufacture of concrete. In this sense, this work aims to analyze the physical characteristics of sugarcane ash and evaluate the performance of the axial compressive strength of concrete test bodies produced with partial replacement of Portland cement with the ash from the bagasse in proportions of 5 %, 10 %, 15 % and 20 %. The results indicated that, in general, sugarcane bagasse ash is viable in proportions of 15 % substitution, which suggests its use in civil construction, to significantly reduce CO<sub>2</sub> emissions, caused during the manufacture of cement, in addition to obtaining a sustainable way to reuse the waste that currently does not have an adequate destination.

**Keywords:** Bagasse ash. Alternative cementing material. Partial replacement of portland cement. Concrete. Sugarcane.

## INTRODUCCIÓN

El sector de la construcción civil es uno de los mayores responsables de la generación de contaminantes en el planeta, también es considerado como el mayor consumidor de materia prima y, al mismo tiempo, el productor de casi la mitad de los residuos sólidos generados en el mundo (John, 2000). La propagación de una cultura sostenible en las últimas décadas ha llevado a la humanidad a deliberar más sobre cuestiones ambientales, enfocándose en métodos que apuntan a disminuir ese impacto (como la sustitución de parte del clinker, materia prima del cemento Portland, por adiciones minerales). Varios países ya hacen uso de estos avances, incluyendo Brasil, donde se difunden estudios sobre la posibilidad de utilizar el residuo generado por las fábricas que deriva de la producción de energía obtenida por el vapor generado en la quema de uno de sus subproductos: el bagazo. Actualmente, las industrias sucroalcoholeras no poseen un plan de destino para este residuo, el cual presenta una gran cantidad de silicatos y aluminatos, además de alta actividad puzolánica, características importantes en la composición del cemento (Silva, 2016). Por lo tanto, se presenta como una alternativa viable para su uso como adición, sustituyendo parcialmente los cementos, o siendo utilizada como agregado en hormigones y morteros, según lo demuestran varios estudios (Castro & Martins, 2016; y Cordeiro, 2009). A partir de lo expuesto, el presente trabajo tiene como objetivo verificar la viabilidad del uso de ese residuo en sustitución parcial del cemento en la producción de hormigón en contenidos del 5 %, 10 %, 15 % y 20 % en 7, 14 y 28 días.

### Residuos, construcción y medio ambiente

Según el United Nations Environment Programme (UNEP, 2009), el sector de la construcción consume el 40 % de toda la energía, extrae el 30 % de los materiales del medio natural, genera el 25 % de los residuos sólidos, consume el 25 % del agua y ocupa el 12 % de las tierras. Estas cifras expresan cuán severos son los impactos causados por el actual modelo adoptado en la construcción civil.

Asociada a la construcción civil se encuentran también otras actividades como la minería, actividad que transforma las áreas a través de la deforestación y pérdida de suelo vegetal, lo que acarrea en desequilibrio del flujo hidráulico asentamientos y formación de grandes lagunas, además de daños a la flora y fauna, inviabilizando así el uso futuro o la recuperación del suelo (Castro & Martins, 2016). La producción de hormigón está relacionada directamente a la minería, ya sea a través de la extracción de agregados como la grava y arena o suministrando materia prima para la fabricación

de cemento mediante la extracción de cal y arcilla, que posteriormente pasará por proceso de calcinación liberando así toneladas de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, emisiones que llegan a ser responsables de un tercio de todas las emisiones de gases contaminantes que generan el efecto invernadero en el planeta (UNEP, 2009).

De acuerdo con el 12vo Informe anual sobre gases de efecto invernadero, divulgado por la World Meteorological Organization (WMO) en octubre de 2016 (World Meteorological Organization, 2015), las emisiones de gases contaminantes alcanzaron índices alarmantes, llegando a superar la marca de 400 partes por millón (ppm) de concentración de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en la atmósfera, principal gas causante del efecto invernadero.

Con la mayor aceptación del desarrollo sostenible en el mundo, surge en la construcción civil la necesidad de intentar mitigar los impactos ambientales relacionados a los procesos que se adoptan actualmente, teniendo así papel fundamental en lo que se refiere al desarrollo sostenible global. La construcción sostenible se basa en la idea de crear alternativas que puedan solucionar los principales problemas ambientales de la actualidad, a través del uso de la tecnología, sin dejar de lado cuestiones importantes de una edificación, como por ejemplo la durabilidad. En ese contexto, surgen alternativas como las construcciones verdes, que funcionan como un sistema centrado en el aumento de la eficiencia de los recursos naturales (Chaves, 2014).

#### Industria y cultivo de caña de azúcar

Brasil es el mayor productor de caña de azúcar en la actualidad, seguido por China, India y Tailandia (Izquierdo, 2014). Según Companhia Brasileira de Abastecimento (CONAB), se estimó que Brasil produjo cerca de 685 millones de toneladas de caña de azúcar en el período de 2016 y 2017 (Companhia Brasileira de Abastecimento, 2016).

Una característica marcada de su cultivo es la versatilidad que ofrece, pues sirve de materia

prima para producción de azúcar, alcohol y otros productos, así como de algunos subproductos, entre ellos el bagazo de la caña de azúcar, que puede ser utilizado en la producción de papel, combustible y abono, entre otros (Schneider, 2009).

Según Días et al. (2009), las propiedades caloríficas del bagazo, debido a altos contenidos de materiales lignocelulósicos en su composición, posibilita utilizar esa biomasa en la producción de energía a través del vapor generado durante su quema, siendo de gran viabilidad económica y ambiental (Izquierdo, 2014).

#### Materiales puzolánicos y ceniza del bagazo de caña de azúcar

Las puzolanas son todos los aluminosilicatos reactivos naturales, predominantemente en la forma vítrea, que se solubilizan en medio alcalino y reaccionan en solución con los iones Ca<sup>2+</sup>, llevando a la precipitación de silicatos de calcio hidratados (Isaia, 2007). Su uso data del inicio de la utilización del hormigón. Marco Vitruvio, arquitecto e ingeniero militar romano, en su obra *De Architectura* (27 aC) ya describía una especie de polvo encontrado alrededor del Monte Vesubio que se solidificaba rápidamente cuando era humidificado y no disolvería una vez endurecido (Carvalho, 2008).

Durante el proceso de quema del bagazo se generan alrededor del 0,7 % de cenizas residuales de la masa de caña de azúcar molida, que generalmente son descartadas de manera inadecuada al no ofrecer ninguna fuente de nutrición para las plantaciones y generar un impacto negativo al medio ambiente por ser un residuo de difícil degradación (Sampaio et al, 2014). Este residuo presenta una gran cantidad de silicatos y aluminatos (además de una alta actividad puzolánica, como mostraron algunas investigaciones actuales (Silva, 2016; Castro, 2016; Altoé & Martins, 2015 y Sales & Lima, 2010). Sin embargo, los residuos que se

generan en la quema del bagazo sólo presentarán características puzolánicas si las condiciones de quema son debidamente controladas (factor que se presenta como una limitación para la utilización de la ceniza, ya que puede tener sus compuestos cristalizados bajo temperaturas inadecuadas de calcinación, perdiendo así sus características puzolánicas).

Cuando la ceniza es quemada de manera adecuada para su empleo (como materia prima en sustitución del clinker en la producción de hormigón y mortero) representa una alternativa ambiental, económica y social. Debe promoverse que las industrias sucroalcoholeras destinen apropiadamente este residuo, ayudando a minimizar el CO<sub>2</sub> que es lanzado en la atmósfera durante la producción de cemento, reduciendo – de esta forma– la degradación sufrida por el suelo en el proceso de minería y agregando nuevas materias primas a la construcción civil.

## MATERIALES Y MÉTODOS

A continuación, se muestra la descripción, dosificación, equipos y procedimientos experimentales adoptados para el análisis de los materiales utilizados en la investigación de laboratorio.

### Cemento Portland

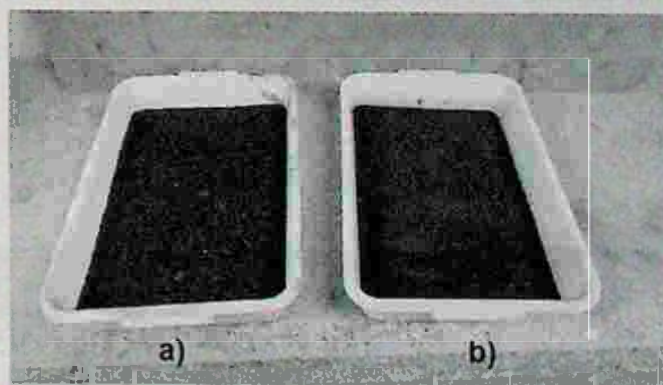
El tipo de cemento utilizado para moldear los cuerpos de prueba de hormigón fue el Portland, compuesto con pozolana, clase 32 (CP II Z - 32), proveniente de un solo lote de fabricación; elegido por tratarse de uno de los más consumidos en la región (Pernambuco, Brasil) y por presentar un menor porcentual de adiciones (siendo en ese caso de 6 % a 14 % de adición puzolánica en masa).

### Ceniza del bagazo de caña de azúcar

La ceniza utilizada fue recolectada en los tanques de decantación de la Usina San José Agroindustrial en Pernambuco (Brasil), después de haber sido totalmente incinerada en hornos para la producción de energía. Seguidamente,

fue recogida en bolsas plásticas y transportada hasta el laboratorio de materiales de la construcción civil de la Escuela Politécnica de la Universidad de Pernambuco (Recife) para su posterior caracterización. La granulometría de la ceniza fue determinada por la combinación de los procedimientos de cribado y sedimentación que son sugeridos por la NBR 7181 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2016). A través de la NBR 6508 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1984), se determinó a la masa específica de la muestra, donde el contenido de humedad fue calculado desde el secado en invernadero por 24 horas. Después de pasar por el proceso de caracterización, la muestra fue totalmente secada a 100°C (+/-5 °C) con la finalidad de eliminar la humedad que aún contenía. Terminado el procedimiento de secado, el material fue tamizado con ayuda del tamiz # 200 (0,075 mm) con el objetivo de obtener partículas uniformes y eliminar posibles impurezas, garantizando de esa forma sus características puzolánicas (figura N°1). Por último, fue incorporada a la dosificación del hormigón en las proporciones de 5 %, 10 %, 15 % y 20 % en sustitución al cemento Portland.

Figura N°1. Ceniza del bagazo de caña de azúcar



- a) Material con impurezas
- b) Material que pasa el tamiz # 200

Fuente: Elaboración propia, 2017

### Agregados

Para la realización de los ensayos se utilizó arena natural como agregado fino y grava basáltica como agregado grueso. Estos materiales

fueron previamente sometidos a los ensayos de caracterización según la Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), obteniendo así la curva granulométrica de los agregados mediante la NBR NM 248 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2003); el módulo de finura fue calculado de acuerdo con la NBR 7211 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009); el contenido de humedad total, por secado, en agregado grueso, fue determinado según la NBR 9939 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2011) y también se realizó la determinación del material fino que pasa a través del tamiz 75µm, por lavado según la NBR NM 46 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2003).

### Composición del hormigón

En el presente estudio fueron confeccionados en laboratorio cuerpos de prueba de 10 cm de diámetro por 20 cm de altura, siguiendo los procedimientos para moldeado y curación de cuerpos de prueba establecido en la NBR 5738 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2015). Las muestras fueron desmoldadas y curadas inmersas en solución saturada con cal después de 24 horas. Se realizaron ensayos de resistencia a la compresión para las edades de 7, 14 y 28 días del curado del hormigón en una prensa clase 1, conforme a la NBR NM ISO 7500-1 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004), calibrada en la escala referente a la empleabilidad en el

ensayo de ruptura prescrito por la ABNT NBR 5739 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2007). Para atender los ensayos, fueron confeccionados en total 69 cuerpos de prueba expresados en la tabla N°1. Se utilizó la siguiente dosificación en peso 1: 1,8: 2,8 (cemento: arena: grava), para una relación de agua/cimiento de 0,5 (tabla N°2). Se hizo uso de agua potable, derivada de la red pública de distribución de la Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA). En la producción del hormigón se añadió al cemento Portland, ceniza del bagazo de caña de azúcar en proporciones de 5, 10, 15 y 20 % con relación a la masa del cemento, buscando verificar la variabilidad de la resistencia a la compresión entre estos porcentajes de adición (figura N°2).

Tabla N°1. Número de cuerpos de prueba por edad, de acuerdo con el porcentaje de ceniza añadido en sustitución al cemento

Edad (días)	Porcentaje de adición				
	Sin adición	5 %	10 %	15 %	20 %
7	5	5	5	5	3
14	5	5	5	5	3
28	5	5	5	5	3

Fuente: Elaboración propia, 2017

Tabla N°2. Composición del hormigón

Hormigón	Proporción de ceniza	Dosificación unitaria en peso ((Cemento; ceniza): arena: grava)	Dosificación del hormigón (kg)	Relación a/c
CP	0%	[1; 0]:1,8:2,8	[10; 0]: 18: 28	0,5
C5%	5%	[0,95;0,5]:1,8:2,9	[9,5;0,5]: 18: 28	0,5
C10%	10%	[0,9; 0,1]:1,8:2,10	[9; 1]: 18: 28	0,5
C15%	15%	[0,85; 0,15]:1,8:2,11	[8,5; 1,5]: 18: 28	0,5
C20%	20%	[0,8;0,2]:1,8:2,12	[8; 1,2]: 10,8: 16,8	0,5

Fuente: Elaboración propia, 2017

Figura N°2. Cuerpos de prueba con diferentes proporciones de ceniza



- a) 0%
- b) 5%
- c) 10%
- d) 15%
- e) 20%

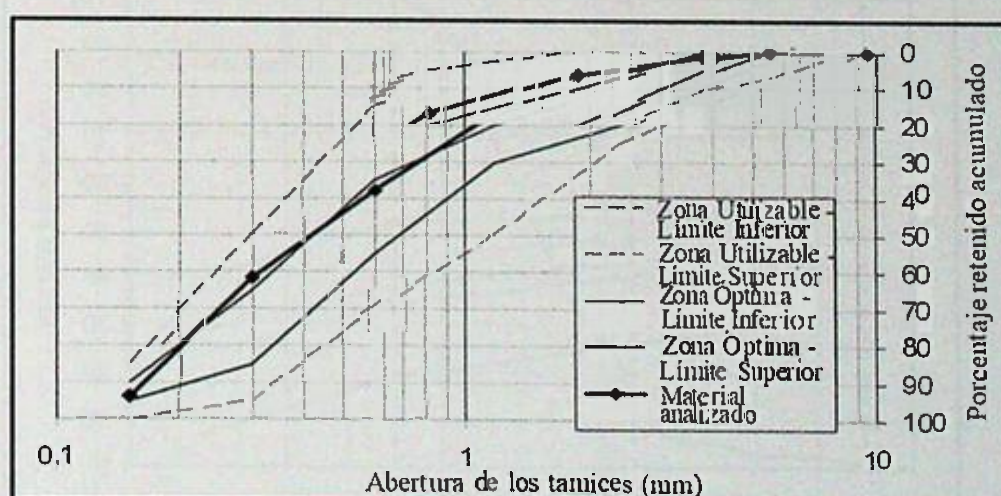
Fuente: Elaboración propia, 2017

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Agregados

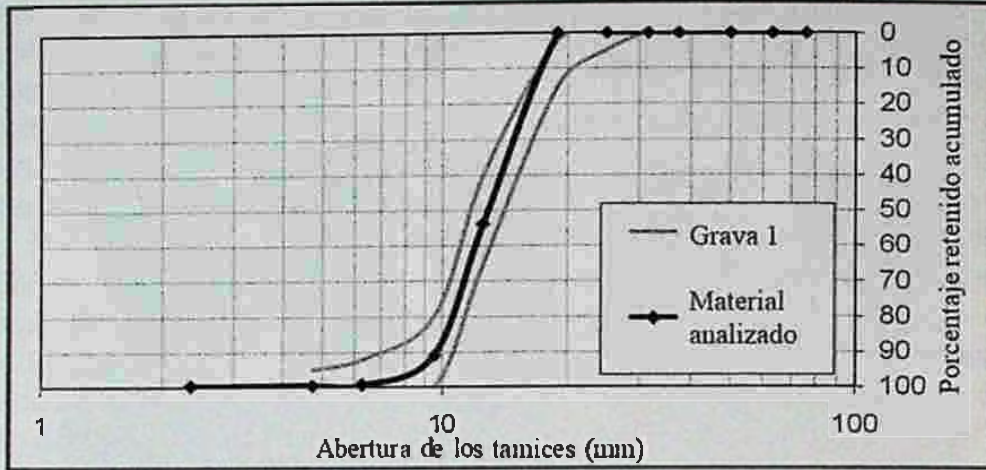
La composición granulométrica para el agregado fino se presenta en la figura N°3. El contenido de material fino que pasa a través del tamiz 75  $\mu\text{m}$  resultó en 0,53 %, un módulo de finura de 2,2 y un diámetro máximo de 2,4 mm, clasificándose como arena de granulometría fina. En la figura N°4 se observa la composición granulométrica del agregado grueso, el cual se clasifica como grava 1 con un módulo de finura de 4,54, contenido de material fino que pasa a través del tamiz 75  $\mu\text{m}$  del 1 % y un diámetro máximo de 12,7 mm. Según la NBR NM 248 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2003), los resultados obtenidos en los ensayos de caracterización de los agregados muestran que los mismos atendieron a los requisitos para producción de un hormigón de buena calidad.

Figura N°3. Curva granulométrica del agregado fino



Fuente: Elaboración propia, 2017

Figura N°4. Curva granulométrica del agregado grueso

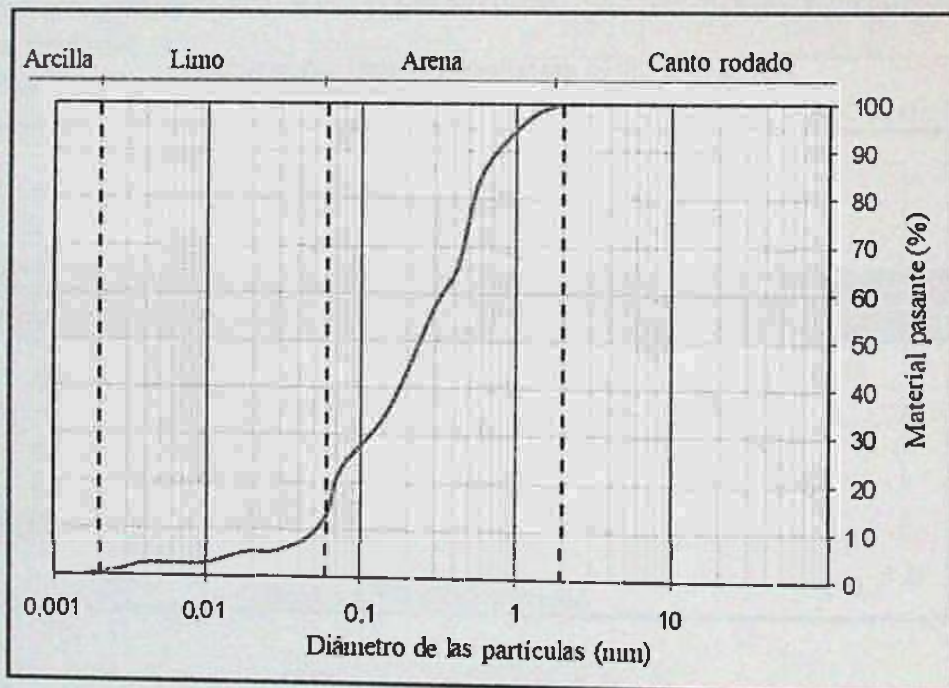


Fuente: Elaboración propia, 2017

**Ceniza**

La curva granulométrica de la ceniza del bagazo de caña de azúcar se muestra en la figura N°5. Los resultados obtenidos demuestran que cerca del 22,85 % de la muestra de la ceniza pasa el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (figura N°6). De acuerdo con la NBR 6502 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1995), el material puede ser clasificado como similar a la arena, lo que indica que la ceniza debe ser previamente sometida a un proceso de molienda para viabilizar la utilización en la producción de hormigón. En relación con la masa específica, se encontró un valor de 2,19 g/cm<sup>3</sup>.

Figura N°5. Curva granulométrica de la ceniza del bagazo de caña de azúcar



Fuente: Elaboración propia, 2017

Figura N°6. Ceniza que pasa en el tamiz# 200

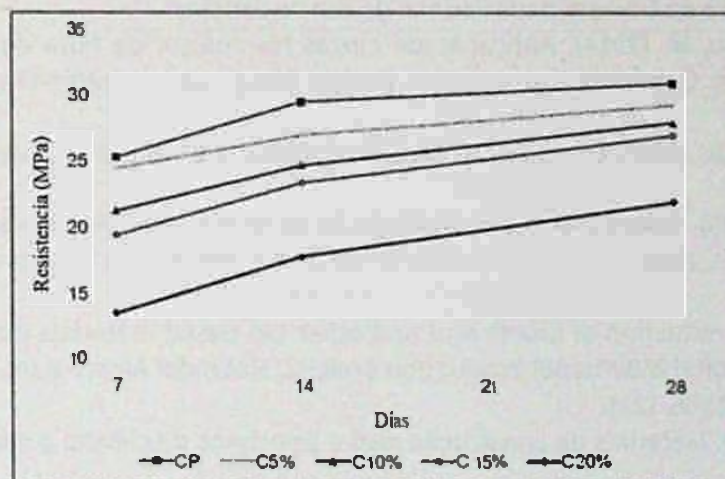


Fuente: Elaboración propia, 2017

### Resistencia a la compresión axial

Los resultados referentes al ensayo de resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días de curado del hormigón son presentados en la figura N°7. Se puede evidenciar que los cuerpos de prueba de C5 % obtuvieron resistencias similares a los cuerpos de prueba de referencia (sin adición), quedando apenas cerca del 6 % abajo. Los resultados aún mostraron que las sustituciones de C10 % y C15 % se encontraron moderadamente debajo de los cuerpos de prueba de referencia, las resistencias obtenidas no se comprometieron efectivamente y se presentaron a los 28 días (cerca de 10 y 13 % abajo, respectivamente). Los resultados más insatisfactorios fueron presentados por el hormigón C20 %, que obtuvo un porcentaje de 30 % de resistencia por debajo de los cuerpos de prueba de referencia. Estos resultados muestran que las resistencias pueden haber sido influenciados por una hidratación lenta, provocada por los constituyentes de la ceniza del bagazo de la caña de azúcar con el cemento Portland, pues los concretos pasan a tener menores resistencias iniciales a medida que se eleva el contenido de ceniza.

Figura N°7. Resistencia a la compresión axial de los cuerpos de prueba



Fuente: Elaboración propia, 2017



## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en los ensayos realizados revelaron que el 22,85 % de la muestra de la ceniza pasó en el tamiz con apertura 75 $\mu$ m, demostrando así que buena parte de las partículas poseen granulometría muy fina, haciéndose necesario un proceso de molienda para lograr esta característica para sacar provecho de toda su capacidad puzolánica.

Los valores de resistencia obtenidos demuestran la viabilidad de la ceniza del bagazo de caña de azúcar en proporciones de hasta el 15 %, siendo los mejores resultados obtenidos en los concretos con menor adición que –posiblemente– ocurrió debido a la lentitud de la actividad puzolánica de la ceniza del bagazo de caña de azúcar.

Por último, la ceniza del bagazo de caña de azúcar se presentó como opción viable para la fabricación de cemento o la producción de hormigón, con el objetivo de disminuir el impacto ambiental generado por la construcción civil y fomentar la inclusión de productos, como el residuo en cuestión, creando iniciativas sostenibles.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

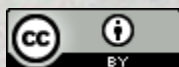
- (1) John, V. (2000). *Reciclagem de resíduos na construção civil- contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento*. São Paulo: Universidade de São Paulo.
- (2) Silva, E. (2016). *Utilização do método de condutividade elétrica para análise da pozzolanicidade da cinza do bagaço da cana-de-açúcar*. Tesis de maestría en Ingeniería Civil. Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco.
- (3) Castro, T y Martins, C. (2016). *Caracterização das cinzas do bagaço de cana-de-açúcar como material alternativo para redução de impactos ambientais*. Brasil: Florianópolis. *Revista Científica de Ingeniería y Desarrollo*. 2(1): 12-19. <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2016.v2.n1.12-19>
- (4) Cordeiro, G., Toledo, R. y Fairbairn, E. (2009). *Influência da substituição parcial de cimento por cinza ultrafina da casca de arroz com elevado teor de carbono nas propriedades do concreto*. Brasil: Porto Alegre. *Ambiente Construído*. 9(4): 99-107. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212009000400520>
- (5) United Nations Environment Programme (2009). *Sustainable Buildings & Construction Initiative, Common Carbon Metric for Measuring Energy Use & Reporting Greenhouse Gas Emissions from Building Operations*. Estados Unidos: UNEP.
- (6) World Meteorological Organization (2015). *Greenhouse Gas Bulletin - The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Based on Global Observations through*. Suiza: WMO.
- (7) Chaves, H. (2014). *Diretrizes Sustentáveis na Construção Civil: Avaliação do Ciclo de Vida*. Rio de Janeiro, Brasil: Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- (8) Izquierdo, I. y Ramalho, M. (2014). *Aplicação de cinzas residuais e de fibra de sisal na produção de argamassas e concretos*. Colombia: Barranquilla. *Revista Científica de Ingeniería y Desarrollo*. 32(2): 344-368. <https://doi.org/10.14482/inde.32.2.6167>
- (9) Companhia Brasileira de Abastecimento (2016). *Acompanhamento da safra Brasileira, Cana-de-açúcar*. Brasil: CONAB.
- (10) Schneider, C. et al. (2009). *Formas de gestão e aplicação de resíduos da cana-de-açúcar visando redução de impactos ambientais*. Brasil: Paraíba. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*. 7(5): 08-17.
- (11) Dias, M. et al. (2009). *Production of bioethanol and other bio-based materials from sugarcane bagasse: Integration to conventional bioethanol production process*. Holanda: Amsterdam. *Chemical Engineering Research & Design*. 87: 1206-1216. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2009.06.020>
- (12) Isaia, G. (editor). (2007). *Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais*. São Paulo: IBRACON.

- (13) Carvalho, J. (2008). Sobre Orígenes e Desenvolvimento do Concreto. Brasil: Maringá. Revista Tecnológica. 17: 19-28.
- (14) Sampaio, Z., Souza, P. y Gouveia, B. (2014). Analysis of the influence of the sugar cane bagasse ashes on mechanical behavior of concrete. Brasil: São Paulo. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais. 7(4): 626-647. <https://doi.org/10.1590/S1983-41952014000400006>
- (15) Altoé, S. y Martins, C. (2015). A influência da temperatura de queima na pozolanicidade da cinza do bagaço de cana-de-açúcar. Brasil: Ponta Grossa. Revista de Engenharia e Tecnologia. 7(3): 40-50.
- (16) Sales, A. y Lima, S. (2010). Use of Brazilian sugarcane bagasse ash in concrete as sand replacement. Holanda: Amsterdam. Waste Management. 30(6): 1114-1122. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.01.026>
- (17) Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 7181: Solo-Análise granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT.
- (18) Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984). NBR 6508: Massa específica dos Sólidos. Rio de Janeiro: ABNT.
- (19) Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003). NBR NM 248: Agregados- Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT.
- (20) Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009). NBR 7211: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT.
- (21) Associação Brasileira de Normas Técnicas (2011). NBR 9939: Agregado graúdo - Determinação do teor de umidade total – Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT.
- (22) Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003). NBR NM 46: Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem. Rio de Janeiro: ABNT.
- (23) Associação Brasileira de Normas Técnicas (2015). NBR 5738: Procedimentos Para Moldagem e Cura de Corpos de Prova. Rio de Janeiro: ABNT.
- (24) Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004). NBR NM ISO 7500-1: Materiais metálicos - Calibração de máquinas de ensaio estático uniaxial - Parte 1: Máquinas de ensaio de tração/compressão – Calibração do sistema. Rio de Janeiro: ABNT.
- (25) Associação Brasileira de Normas Técnicas (2007). NBR 5739: Concreto- Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT.
- (26) Associação Brasileira de Normas Técnicas (1995). NBR 6502: Rochas e Solo. Rio de Janeiro: ABNT.

**Fuentes de financiamiento:** Esta investigación fue financiada con fondos de los autores.

**Declaración de conflicto de intereses:** Los autores declaran que no tiene ningún conflicto de interés.

Copyright (c) 2018 Adegilson José Bento; Dione Luiza da Silva; Joaquín Humberto Aquino Rocha; Eliana Cristina Barreto Monteiro.



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Usted es libre para Compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y Adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

**Atribución:** Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumendelicencia](#) - [Textocompletodelalicencia](#)