

Evaluación de las propiedades mecánicas de concreto preparado con ARAT y CBCA

Evaluation of the mechanical properties of concrete prepared with RATE and SCBA

Resumen

En el presente artículo se evaluaron los efectos de la adición de ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) en combinación con agregados reciclados de arcilla termoexpandida (ARAT). Con este propósito, se diseñaron un total de nueve mezclas, considerando remplazos de cemento portland de 0%, 10% y 20 % por CBCA y sustituciones de agregado grueso por 0%, 50% y 100 % de ARAT. Considerando dichas combinaciones, se elaboraron un total de 81 especímenes de concreto con una relación agua/materiales cementantes de 0.50 en todos los casos a edades de 7, 14 y 28 días. Los resultados revelaron que, a medida que aumentan los contenidos de CBCA y ARAT, se reducen, aunque en diversos grados, las propiedades mecánicas en todas las mezclas de concreto.

Palabras clave: Ceniza de bagazo de caña, agregados reciclados, arcilla termoexpandida.

Abstract

This article evaluates the effects of the addition of sugarcane bagasse ash (SCBA), in combination with recycled aggregates gathered from thermo-expanded clay (RATE) when preparing concrete mixes. For this purpose, a total of nine mixes were prepared, considering replacements of Portland cement at 0%, 10% and 20% by SCBA, and coarse aggregate replacements at 0%, 50% and 100% of RATE. Using these combinations, a total of 81 concrete specimens were prepared with a water/cementitious materials ratio (w/cm) of 0.50, in all cases the results were based on tests at 7, 14 and 28 days of age. The results revealed that as the SCBA and RATE contents increase, the mechanical properties in all the concrete mixes decrease, albeit to varying degrees.

Keywords: Sugarcane bagasse ash, recycled aggregates, thermo-expanded clay.

Alex Abraham Jijón Hernández

Universidad Autónoma
Benito Juárez de Oaxaca

Herwing Zeth López-Calvo

Universidad Autónoma
Benito Juárez de Oaxaca

Rolando Martínez Barrita

Tecnologías Sustentables
para la Construcción

Fecha de recepción:

10 de noviembre de 2023

Fecha de aceptación:

9 de abril de 2024

[https://doi.org/10.22201/](https://doi.org/10.22201/fa.2007252Xp.2024.15.29.88666)

[fa.2007252Xp.2024.15.29.88666](https://doi.org/10.22201/fa.2007252Xp.2024.15.29.88666)



Este trabajo está amparado por una licencia Creative Commons Atribución-No Comercial, 4.0

Introducción

Gracias a sus características, el concreto se destaca como uno de los materiales más usados en la industria de la construcción. Estudios han revelado que el concreto ha llegado a considerarse como el producto de mayor consumo por los seres humanos después del agua.¹ Dentro de sus cualidades se destacan una adecuada resistencia mecánica, durabilidad, costos razonables y gran asequibilidad. Sin embargo, debido a los altos consumos de cemento que se emplean en su manufactura, diversos estudios han revelado que el empleo del concreto no es respetuoso con el medio ambiente, ya que para producir un metro cúbico de cemento una cantidad equivalente de CO² es arrojado a la atmósfera, lo que convierte a la industria cementera en responsable del 9% de las emisiones de CO² a nivel global. Ante esto, diversas investigaciones han propuesto el uso de materiales puzolánicos derivados de desechos agrícolas como remplazo parcial del cemento, como una estrategia para mitigar los efectos negativos hacia el medio ambiente derivado del consumo masivo del concreto. Dentro de los materiales más utilizados se encuentran las cenizas de cascara de arroz, ceniza de cascara de coco, la ceniza de bagazo de caña, entre otras.² La ceniza de bagazo de caña de azúcar se ha utilizado como agregado puzolánico reciclado gracias a su composición química, sustituyendo el cemento por 10%, 20% y 30% de ceniza. Los resultados obtenidos de este estudio permitieron concluir que los concretos con valores más bajos de sustituciones de ceniza de 10% y 20%, no influyeron significativamente en las propiedades mecánicas del concreto al compararse con los especímenes de control.³

Por otra parte, también se evaluaron concretos conteniendo remplazos de ceniza de hasta el 20% en edades de 120 días. Los resultados mostraron que, si bien existió una disminución de la resistencia a la compresión a la edad de 28 días, también se registró

¹ M. Martínez, L. Campos y J. Castillo, "Metodologías para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero: Descripción del proyecto de control en una industria productora de cemento", *Revista Tecnología en Marcha*, vol. 34, núm. 3, 2021, pp. 177-189, https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/5313.

² Ranatunga, E. del Rey Castillo y C. L. Toma, "Evaluation of the optimal concrete mix design with coconut shell ash as a partial cement replacement", *Construction and Building Materials*, vol. 401, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132978>; Q. Su, y J. Xu, "Compression behavior and permeability of concrete composed of glass sand and rice husk ash", *Journal of Building Engineering*, vol. 76, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.job.2023.107095>.

³ T. S. Abdulkadir, D. O. Oyejobi y A. A. Lawal, "Evaluation of sugarcane bagasse ash as a replacement for cement in concrete works", *Acta Technica Corviniensis-Bulletin of Engineering*, t. 7, 2014, pp. 71-76, <https://doi.org/10.5281/zenodo.192491>.

un aumento a edades tardías de 120 días, lo que fue atribuido a la acción puzolánica a través del tiempo.^{4,5} En otro estudio donde fueron evaluados remplazos de hasta 60% de cemento por ceniza de bagazo de caña, los resultados mostraron una disminución en la resistencia a la flexión y compresión del concreto de hasta 75% a la edad de 28 días, aunque también mostraron un aumento hasta en el 20.82% en la resistencia a la absorción.⁵

Es en el contexto antes discutido que las investigaciones encaminadas a evaluar las propiedades mecánicas de concretos elaborados con materiales suplementarios derivados de desechos agrícolas, como la ceniza de bagazo de caña, en combinación con agregados reciclados, es de gran interés técnico-científico. La información generada permitirá conocer los alcances y limitaciones de dichos concretos para su uso potencial como materiales de bajo impacto ambiental para la industria de la construcción.

Materiales y métodos

Para el desarrollo de este proyecto de investigación, los materiales cementicios utilizados fueron: cemento portland compuesto con una gravedad específica de 3.15, clasificado como CPC 30R de acuerdo con los estándares mexicanos; ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) cribada por el tamiz No. 200; los agregados fino y grueso utilizados fueron arena de río con un módulo de finura de 2.83 y una densidad de 2,350 kg/m³ y agregado grueso triturado con un tamaño de máximo de agregado de 3/4" y con una densidad de 2,850 kg/m³ (ASTM 138-01a). Los análisis granulométricos se presentan en la Figura 1.

El agregado reciclado de arcilla termoexpandida (ARAT), con una densidad de 1,360 kg/m³ y un porcentaje de absorción del 15.71%. Las propiedades de los agregados utilizados se resumen en la Figura 2.

⁴ P. G. Quedou, E. Wirquin y C. Bokhoree, "Sustainable concrete: Potency of sugarcane bagasse ash as a cementitious material in the construction industry", *Case Studies in Construction Materials*, vol. 14, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00545>.

⁵ P. Chindaprasirt, P. Sujumnongtokul y P. Posi, "Durability and Mechanical Properties of Pavement Concrete Containing Bagasse Ash", *Materials Today: Proceedings*, vol. 17, 2019, pp. 1612-1626, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.06.191>.

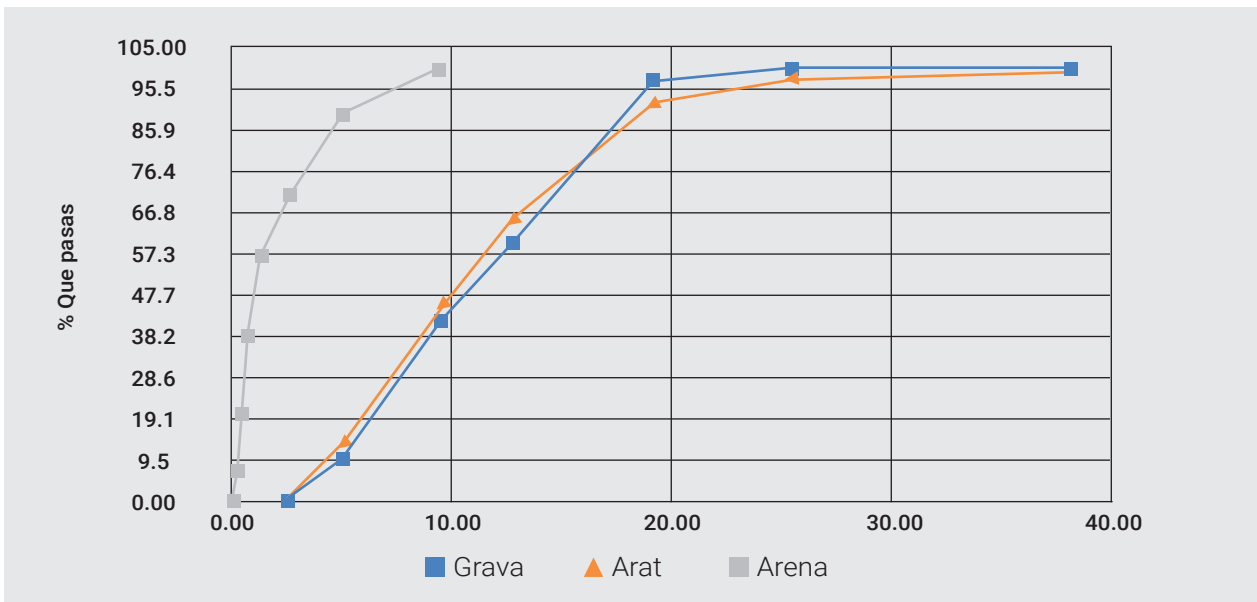


Figura 1. Análisis granulométrico de los agregados.

Fuente: Elaboración propia.

Propiedades	Agregado grueso	ARAT	Arena
Densidad (kg/m ³)	2,850	1,360	2,350
% de absorción en 24 h	1.17	15.71	3.15
TMA/MF	½"	¾"	2.83
MVSS (kg/ m ³)	1,432	675	1,688
MVSV (kg/ m ³)	1,532	800	1,788

Figura 2. Tabla de propiedades físicas de los agregados.

Fuente: Elaboración propia.

Notas: mvss, Masa volumétrica seca suelta; mvsv, Masa volumétrica seca varillada; MF Modulo de finura; TMA tamaño máximo de agregado.

Diseño y proporciones de las mezclas

Para la elaboración de especímenes de prueba, se diseñaron nueve mezclas de concreto de acuerdo con el método de volúmenes absolutos del Instituto Americano del Concreto (ACI) 211.1, 1985, considerando remplazos de cemento portland de 0%, 10% y 20% por ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) y sustituciones de agregado grueso convencional por 0%, 50% y 100% de agregado reciclado de arcilla termoexpandida (ARAT) (Figura 3). Dichas mezclas comprendieron una mezcla control y el resto se organizaron en dos categorías principales: cuatro combinaciones binarias (CBI), que consistieron en mezclas con remplazos de Cemento-ARAT y cemento-CBCA. Y cuatro combinaciones ternarias (CTE), que representaron mezclas con la combinación de Cemento-ARAT y CBCA.



Figura 3. Agregado reciclado de arcilla termoexpandida y ceniza de bagazo de caña de azúcar.
Fuente: Fotografía de los autores.

Se llevaron a cabo tres réplicas para cada tipo de mezcla, generando un total de 81 especímenes de concreto. Todas las mezclas mantuvieron una relación agua/materiales cementantes (w/cm) de 0.50. Para proporcionar una visión detallada de las proporciones utilizadas en las nueve mezclas, se presenta la información correspondiente en la Figura 4.

	Mezcla	Componentes de la mezcla	Cemento	Grava	ARAT	CBCA	Arena	Agua
			kg	kg	kg	kg	kg	kg
Control	M1-0-0	Sin sustituciones	410.00	945.84	0	0	693.29	227.55
Combinaciones Binarias (CBI)	M2-50-0	50% ARAT	410.00	472.92	225.67	0	693.29	227.55
	M3-100-0	100 ARAT	410.00	0.00	451.35	0	693.29	227.55
	M4-0-10	10% CBCA	369.00	945.84	0	41.00	693.29	227.55
	M5-0-20	20% CBCA	328.00	945.84	0	82.00	693.29	227.55
Combinaciones Ternarias (CBI)	M6-50-10	50% ARAT+10% CBCA	369.00	472.92	225.67	41.00	693.29	227.55
	M7-100-10	100 ARAT+10% CBCA	369.00	0.00	451.35	41.00	693.29	227.55
	M8-50-20	50% ARAT+10% CBCA	328.00	472.92	225.67	82.00	693.29	227.55
	M9-100-20	100 ARAT+20% CBCA	328.00	0.00	451.35	82.00	693.29	227.55

Pruebas mecánicas

Durante la fase experimental se evaluaron las propiedades mecánicas de los concretos a edades de 7,14 y 28 días. Pevio a su evaluación, todos los especímenes se sumergieron en agua a una temperatura de 21 ± 2 °C hasta la edad de prueba. La resistencia a la compresión se ensayó en cubos de 100 mm x 100 mm x 100 mm, de acuerdo con la norma NMX-C-083-ONNCCE-2014. Para

Figura 4. Tabla de proporcionamiento de mezclas considerando materiales por metro cúbico.

Fuente: Elaboración propia.

obtener índices de resistencia a tensión indirecta (prueba brasileña) se emplearon cilindros de 100 mm x 200 mm, los cuales se sometieron a compresión diametral de acuerdo con la norma NMX-C-163-ONNCCE-2019. Finalmente, para las pruebas de flexión, se manufacturaron 27 vigas de concreto de 50 mm x 50 mm x 200 mm, de acuerdo con la norma NMX-C-191-ONNCCE-2015. Los detalles, dimensiones de los especímenes, normativa utilizada y configuración de las pruebas mecánicas, se muestran en las Figuras 5 y 6, respectivamente.

Propiedades que evaluar	Características y dimensiones de los especímenes	Numero de especímenes y edad de prueba	Normativa
Resistencia a la compresión	Cubos de 100 mm por lado	3 muestras por edad, a los 7,14 y 28 días	NMX-C-083-2014
Resistencia a la tensión	Cilindros de 100 mm x 200 mm		NMX-C-163-2019
Resistencia a la flexión	Prismas de 50 mm x 50 mm x 200 mm		NMX-C-083-2014

Figura 5. Tabla de detalles del programa experimental.

Fuente: elaboración propia.

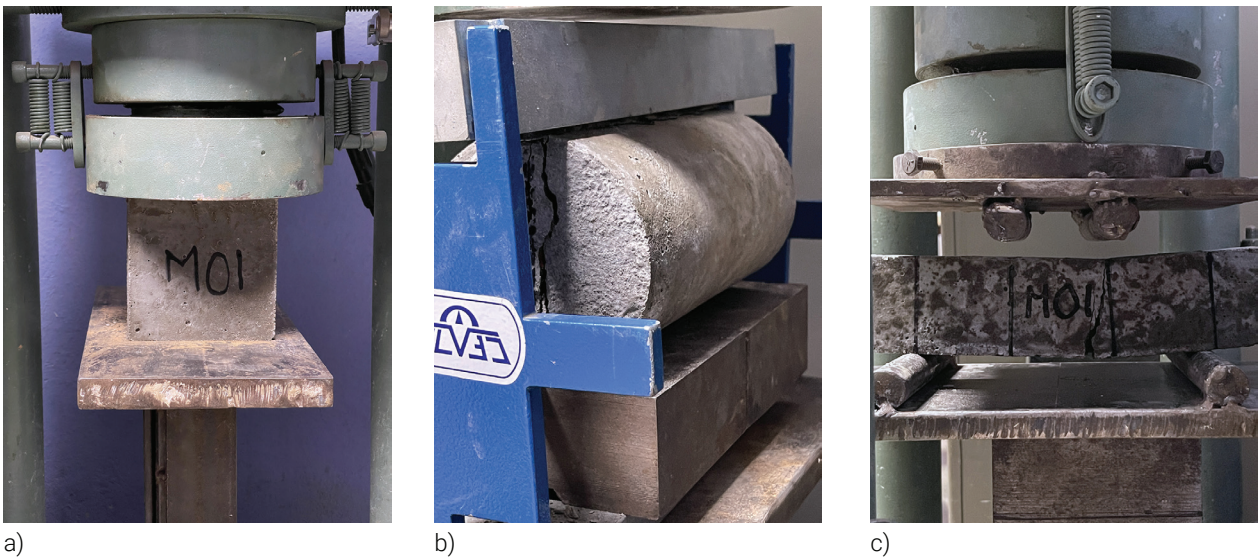


Figura 6. Configuración para pruebas mecánicas en prensa hidráulica de 150 toneladas. a) Resistencia a la compresión, b) resistencia a la tensión, c) resistencia a la flexión.

Fuente: fotografías de los autores.

Resultados y discusión

Resistencia a la compresión

Los resultados derivados de las pruebas de resistencia a la compresión de los concretos elaborados con combinaciones binarias (Cemento-ARAT y cemento-CBCA) y ternarias (Cemento-ARAT-CBCA), se muestran en la Figura 7 y 8, respectivamente.

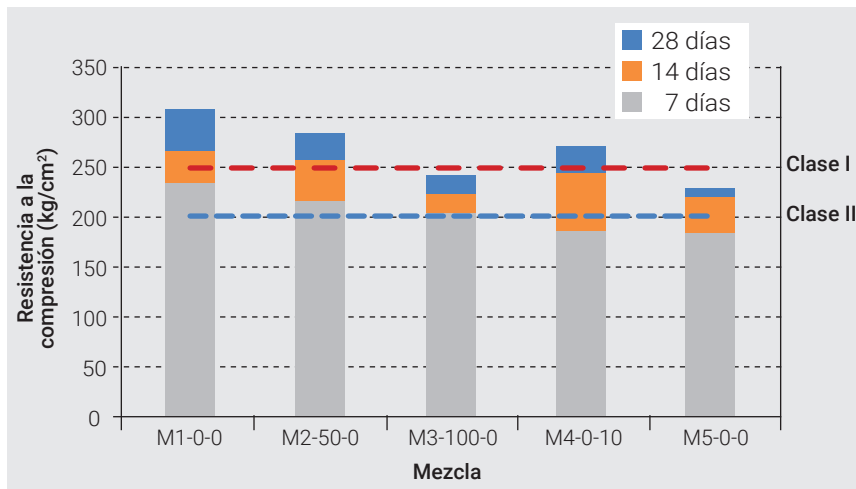


Figura 7. Resultados de la resistencia a la compresión de concretos CBI.

Fuente: Elaboración propia.

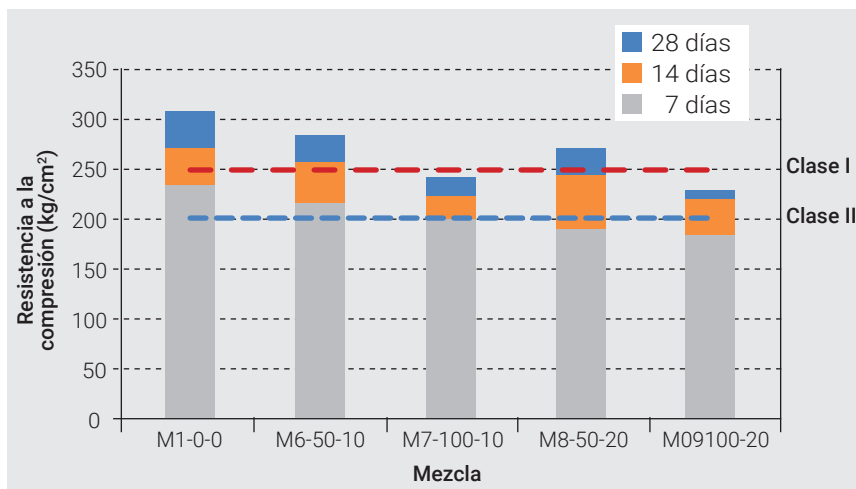


Figura 8. Resultados de la resistencia a la compresión de concretos CTE.

Fuente: elaboración propia.

Como se observa en la Figura 7, en concretos con CBI se experimentó una disminución de resistencia a la compresión en todos los casos en comparación con la mezcla control (M1). Un análisis más detallado reveló que las muestras conteniendo 50% (M2) y 100% de sustitución de ARAT (M3) presentaron disminuciones de 7.53% y 12.48% respectivamente; por lo que, de acuerdo con las normativas mexicanas, se encuentran dentro de los parámetros considerados

para concretos Clase I (NTC-RSEE), debido a que tuvieron resistencias a la compresión superiores a 250 kg/cm^2 . Por su parte, las muestras elaboradas con un 10% de CBCA (M4) tuvieron reducciones del 20.23% con respecto al control (M1), mientras las que fueron elaboradas con el 20% de CBCA (M5) redujeron su resistencia en 24.95% al compararse con el control. Cabe destacar que las mezclas M3 y M5 alcanzaron valores de resistencia menores a 250 kg/cm^2 y superiores a 200 kg/cm^2 , por lo que se encuentran dentro de los parámetros considerados como concretos Clase II de acuerdo con las normativas mexicanas (NTC-RSEE).

Con relación a los concretos elaborados con combinaciones ternarias (cemento-ARAT-CBCA), los resultados mostrados en la Figura 8 indican que cuando se utilizó 50% y 100% de ARAT en combinación con 10% de CBCA (M6 y M7) se presentaron disminuciones en la resistencia a la compresión de 20.39% y 33.23% con respecto al control (M1). De la misma manera, cuando se utilizó un remplazo de 20% de CBCA en combinación con 50% (M8) y 100% de ARAT (M9) se presentaron reducciones de 35.00% y 36.79% al compararse con el control (M1). Dichos resultados permiten concluir que el uso de CBCA en combinación de ARAT tiende a disminuir la resistencia a la compresión en mínimo 20%, y dicha tendencia fue más evidente a medida que se incrementó el contenido de estos materiales en el concreto. Resultados similares fueron encontrados por Abdulkadir, *et al.*,⁶ y Chindaprasirt, *et al.*,⁷ quienes evaluaron el uso de CBCA en porcentajes del 0%, 10% y 20%, y del 0%, 20%, 40% y 60% respectivamente. Concluyendo que si bien existe una disminución de la resistencia mecánica a medida que se aumenta el porcentaje de sustitución de este CBCA, concluyeron que el porcentaje óptimo se encuentra en el 20% con respecto al peso del cemento.

Resistencia a la tensión

Los resultados de las pruebas de tensión indirecta se presentan en la Figura 9. Como ahí se puede observar, los concretos elaborados con combinaciones binarias (CBI) experimentaron una disminución en la resistencia a la tensión en todos los casos en comparación con la mezcla control (M1). Un análisis más detallado permitió observar que, para concretos conteniendo remplazos de 50% (M2) y 100% de ARAT (M3), las disminuciones en la resistencia fueron de 0.52%, y 15.24%, respectivamente. Lo cual indica una clara tendencia a la baja en la resistencia a la tensión a medida que se incrementó el remplazo de agregado convencional. La misma tendencia se observó

⁶ Abdulkadir, D. O. Oyejobi, D. O. y A. A. Lawal, *op. cit.*, pp 71-76.

⁷ P. Chindaprasirt, P. Sujumnongtokul y P. Posi, *op. cit.*, pp. 1612-1626.

en concretos elaborados con remplazos de 10% de CBCA (M4), presentando disminuciones del 12.20% y reducciones de 27.32% para concretos elaborados con sustituciones de 20% de CBCA (M5).

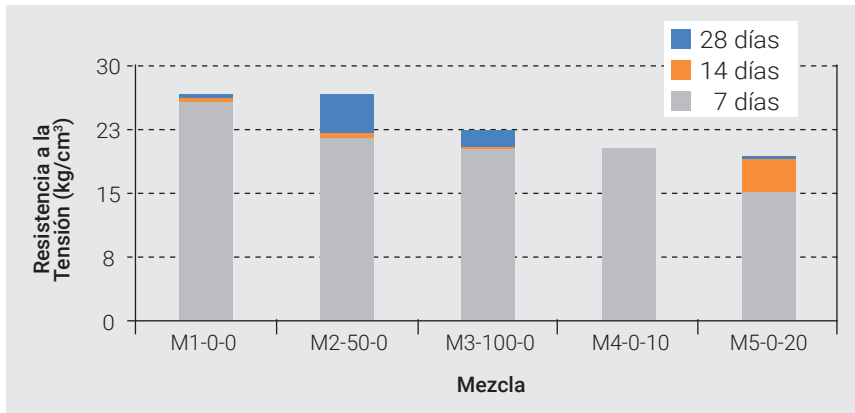


Figura 9. Resultados de la resistencia a la tensión de concretos CBI.

Fuente: elaboración propia.

En lo que respecta a los concretos con combinaciones ternarias (CTE), los resultados presentados en el Figura 10 mostraron que la resistencia a la tensión a los 28 días de edad disminuyeron en todos los casos en comparación con la mezcla control (M1). Siendo estas reducciones del 14.00% para concretos elaborados con 50% de ARAT (M6) y de 6.64% para concretos conteniendo 100% (M7), ambos en combinación con 10% de CBCA en sustitución de cemento portland. Por su parte, aquellos concretos elaborados con 20% de CBCA, en combinación con 50% (M8) y 100% de ARAT (M9), disminuyeron en un 22.76% y 25.08%, respectivamente.

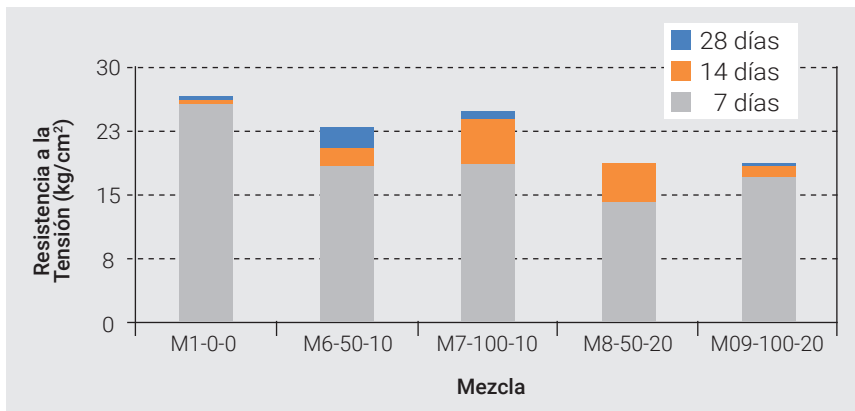


Figura 10. Resultados de la resistencia a la tensión de concretos CTE.

Fuente: elaboración propia.

Resistencia a la flexión

Como se observa en la Figura 11, los resultados de resistencia a la flexión obtenidos de los concretos manufacturados con combinaciones binarias (cemento-ARAT y cemento-CBCA), a 7, 14 y 28 días de edad, revelaron una disminución de la resistencia a la flexión

en todos los casos al compararlos con el control. Estas reducciones fueron del 4.61% y 19.08% para concretos conteniendo sustituciones de 50% (M2) y 100% de ARAT (M3). Por su parte, aquellos concretos conteniendo sustituciones de cemento por 10% de CBCA (M4) redujeron su resistencia en 21.05%, mientras aquellos conteniendo 20% de CBCA (M5) disminuyeron en un 29.43% con respecto a la mezcla control (M1).

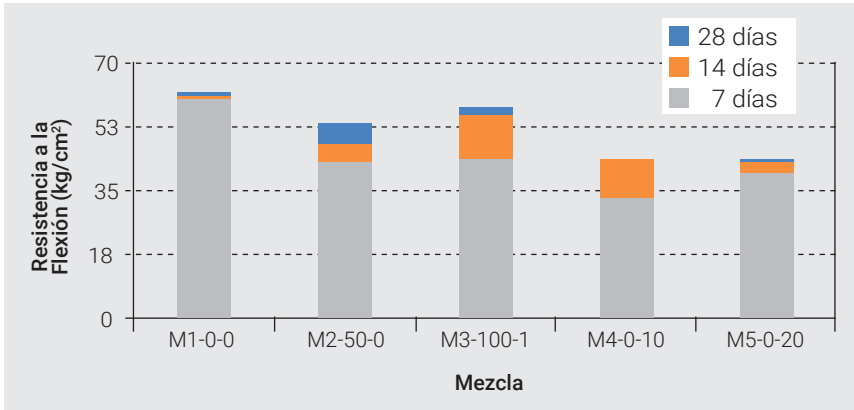


Figura 11. Resultados de la resistencia a la flexión de concretos CBI.

Fuente: elaboración propia.

Similar a las mezclas binarias, en concretos con mezclas ternarias (CTE) se experimentó una disminución de resistencia a la flexión en comparación con la mezcla control. Como se observa en la Figura 12, para concretos conteniendo 50% de ARAT en combinación con 10% de CBCA (M6) disminuyeron su resistencia a la flexión con respecto al control (M1) en un 24.24%, y en mezclas elaboradas con 100% de ARAT en combinación con 10% de CBCA (M7) presentaron una disminución del 30.662%. Por su parte, aquellos concretos manufacturados con 50% de ARAT y 20% de CBCA (M8) redujeron su resistencia a la flexión en un 34.87% y las mezclas elaboradas con 100% de ARAT y 20% de CBCA (M9) disminuyeron su resistencia en un 26.97%, al compararse con la mezcla control (M1).

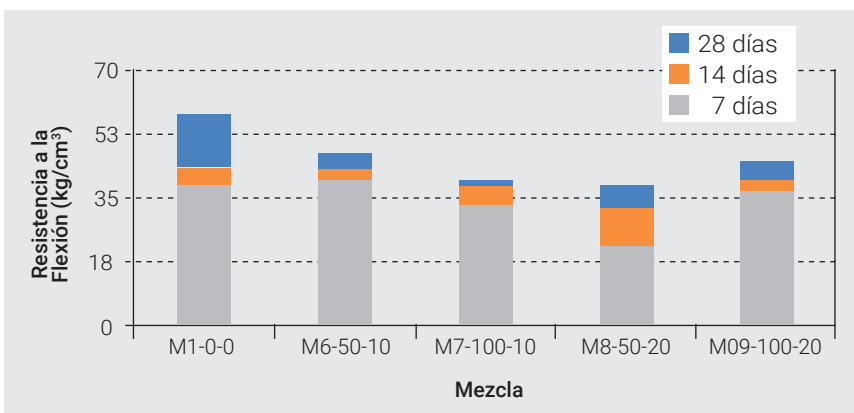


Figura 12. Resultados de la resistencia a la flexión de concretos CTE.

Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

Con base en los resultados derivados de la evaluación de las propiedades mecánicas de concreto elaborado con agregados reciclados de arcilla termoexpandida (ARAT), ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA), en combinaciones binarias (cemento- ARAT y cemento- CBCA) y combinaciones ternarias (cemento- ARAT - CBCA), se puede concluir lo siguiente:

1. Los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión revelaron que: en las combinaciones binarias (CBI) se observaron reducciones en diversos rangos, las cuales fluctuaron entre 7.53% y 24.95% al compararse con la mezcla control. Sin embargo, a pesar de estas disminuciones, todas las mezclas se situaron dentro de las resistencias solicitadas para concretos estructurales $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ a 200 kg/cm^2 para concretos Clase I y Clase II, de acuerdo con las normas técnicas mexicanas.
2. En el caso de los concretos elaborados con combinaciones ternarias (CTE), los cuales incorporan combinaciones de cemento-CBCA y ARAT, se observaron reducciones en la resistencia a la compresión de entre 20.39% y 36.79% con respecto a la mezcla control. Estos resultados indican que, excepto para la mezcla M6, la combinación de dichos materiales tiende a disminuir considerablemente la resistencia a la compresión, alcanzando valores inferiores a 200 kg/cm^2 , por lo que se pueden considerar concretos no estructurales de acuerdo con la normativa mexicana.
3. Las pruebas a tensión indirecta revelaron que, en todos los casos, la incorporación de ARAT o CBCA en combinación con cemento tendieron a disminuir dicha propiedad mecánica. Los porcentajes de reducción con respecto al control fluctuaron entre 0.52% y 27.32% para concretos binarios (CBI), y entre 6.64% y 25.08% para concretos ternarios (CTE).
4. Los datos obtenidos de las pruebas a flexión mostraron que, al igual que las pruebas de compresión y tensión indirecta, la adición de ARAT o CBCA en combinación con cemento, tendieron a disminuir la resistencia a la flexión en concretos binarios (CBI) en porcentajes que fluctuaron entre 4.61% y 29.43% con respecto a la mezcla control. Y en el caso de concretos ternarios (CTE) dichas reducciones estuvieron en un rango desde 24.24% hasta 34.87%.

5. Según los resultados de las tres propiedades mecánicas evaluadas, el orden de desempeño de las mezclas fue el siguiente:

Resistencia a la compresión: $M1 > M2 > M4 > M3 > M5$ (para CBI),
 $M1 > M6 > M7 > M8 > M9$ (para CTE).

Resistencia a la tensión: $M1 > M2 > M4 > M3 > M5$ (para CBI), $M1 >$
 $M7 > M6 > M8 > M9$ (para CTE).

Resistencia a la flexión: $M1 > M2 > M3 > M4 > M5$ (para CBI), $M1 >$
 $M6 > M9 > M7 > M8$ (para CTE).

Referencias

ABDULKADIR, T. S., D. O. OYEJOBI Y A. A. LAWAL

2014 Evaluation of sugarcane bagasse ash as a replacement for cement in concrete works. *Acta Technica Corviniensis-Bulletin of Engineering*, t. 7, <https://doi.org/10.5281/zenodo.192491>.

ACI PRC-211.1-22

2022 *Selecting Proportions for Normal-Density and High-Density Concrete—Guide*.

ASTM C 138/C 138M

Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete.

CHINDAPRASIRT, P., SUJUMNONGTOKUL, P. Y POSI, P.

2019 “Durability and Mechanical Properties of Pavement Concrete Containing Bagasse Ash”, *Materials Today: Proceedings*, vol. 17, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.06.191>.

MARTINEZ, M., L. CAMPOS Y J. CASTILLO

2021 “Metodologías para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero: Descripción del proyecto de control en una industria productora de cemento”, *Revista Tecnología en Marcha*, vol. 34, núm. 3, https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/5313.

NORMA TÉCNICA COMPLEMENTARIA PARA LA REVISIÓN DE LA SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE LAS EDIFICACIONES (NTC-RSEE)

ORGANISMO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN Y EDIFICACIÓN

NMX-C-083-2014 *Industria de la Construcción – Concreto – Determinación de la Resistencia a la Compresión de Especímenes – Método de Ensayo*

NMX-C-163-2019 *Industria de la Construcción – Concreto Hidráulico – Determinación de la Resistencia a la Tensión por Compresión Diametral de Cilindros de Concreto – Método de ensayo*.

NMX-C-191-2015 *Industria de la Construcción – Concreto – Determinación de la resistencia a la flexión del concreto usando una viga simple con carga en los tercios del claro*.

QUEDOU, P. G., E. WIRQUIN Y C. BOKHOREE

2021 "Sustainable concrete: Potency of sugarcane bagasse ash as a cementitious material in the construction industry", *Case Studies in Construction Materials*, vol. 14, e00545, <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00545>.

RANATUNGA, K. S., E. DEL REY CASTILLO Y C. L. TOMA

2023 "Evaluation of the optimal concrete mix design with coconut shell ash as a partial cement replacement", *Construction and Building Materials*, vol. 401, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132978>.

Su, Q. y J. Xu

2023 "Compression behavior and permeability of concrete composed of glass sand and rice husk ash", *Journal of Building Engineering*, vol. 76. <https://doi.org/10.1016/j.job.2023.107095>.

Alex Abraham Jijón Hernández

Facultad de Arquitectura
Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca
alexabrahamjh@outlook.com
<https://orcid.org/0009-0000-3703-2311>

Pasante de la licenciatura en Arquitectura por la Facultad de Arquitectura "5 de Mayo" de la Universidad Autónoma "Benito Juárez" de Oaxaca. Actualmente es colaborador técnico del Laboratorio de Materiales de la empresa Tecnologías Sustentables para la Construcción (Techsus) en el área de diseño de mezclas de concreto, evaluación y diagnóstico de estructuras.

Herwing Zeth López Calvo

Facultad de Arquitectura
Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca
hz.lopez.calvo@gmail.com
<http://orcid.org/0000-0001-6058-0981>

Cuerpo Académico Tecnología y Sustentabilidad, maestría en Ciencias de la Construcción, Facultad de Arquitectura "5 de Mayo", Universidad Autónoma "Benito Juárez" de Oaxaca. Maestro en Ingeniería Civil, con especialidad en construcción, y doctor en Ingeniería Civil, con especialidad en durabilidad en concretos de alto desempeño por la Universidad de New Brunswick, Canadá. Desde el año 2012 es profesor investigador de tiempo completo y profesor en la maestría en Ciencias de la Construcción, que se imparte en la Facultad de Arquitectura "5 de Mayo" de la UABJO. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores de México (SNI-CONACYT), nivel 1.

Rolando Martínez Barrita

Laboratorio de Materiales
Tecnologías sustentables para la construcción
arq.barrita@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-9813-0975>

Arquitecto egresado por la Facultad de Arquitectura "5 de Mayo" de la Universidad Autónoma "Benito Juárez" de Oaxaca. Representante de la empresa Techsus, Tecnologías sustentables para la construcción, diplomado en diagnóstico del estado de deterioro de estructuras de concreto armado. Certificación como Técnico grado 1 en tecnología del concreto ACI.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo del Laboratorio de Materiales, Edificación y Medio Ambiente de la Facultad de Arquitectura "5 de Mayo" (LMEM-FA5M) de la UABJO. Al Laboratorio de Materiales y Sistemas Constructivos de la empresa Tecnologías Sustentables para la Construcción (Techsus). Y un agradecimiento muy especial al Sistema Nacional de Investigadores del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (Conahcyt).