

Resistencia del concreto con incorporación de fibras de caña de azúcar y ceniza de carbón de madera

Emigdio Absalon Laban Guerrero

elaban@ucvvirtual.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0003-4187-6263>

Luis Jimmy Clemente Condori

kelvin0296@yahoo.es

<https://orcid.org/0000-0002-0250-4363>

Leopoldo Choque Flores

lchoquef@ucv.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0003-0914-7159>

Universidad César Vallejo
Escuela Profesional de Ingeniería Civil
Lima - Perú

RESUMEN

En este estudio se evalúa el efecto de la combinación de la adición de fibras de caña de azúcar y ceniza de carbón, cuya procedencia es producto de residuos orgánicos, los cuales van a ser incorporados en la mezcla del concreto con el objetivo de poder mejorar su resistencia a compresión y tracción como objetivos de primer nivel y de segundo nivel verificar su trabajabilidad y densidad del concreto. La dosificación de las fibras fue reemplazada respecto al peso del agregado fino, en cambio la proporción de ceniza fue reemplazada respecto al peso del cemento. La estructura para el desarrollo de la investigación estuvo conformada por dos fases; en la primera fase se realizó la caracterización de los agregados utilizados en la elaboración del concreto, mientras que, en la segunda fase se realizaron ensayos para determinar la resistencia a compresión y tracción para tres dosificaciones del 0.5%, 1%, 2% de fibras y el 2.5%, 5%, 7% de ceniza, además de la mezcla patrón para evaluar la resistencia óptima. En base a los resultados obtenidos, se llegó a concluir que la influencia de la adición de las fibras y ceniza tiene mayor afectación sobre la resistencia del concreto.

Palabras clave: ceniza de carbón; fibra natural; resistencia a compresión; resistencia a tracción.

Correspondencia: elaban@ucvvirtual.edu.pe

Artículo recibido 30 noviembre 2022 Aceptado para publicación: 30 diciembre 2022

Conflictos de Interés: Ninguna que declarar

Todo el contenido de **Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar**, publicados en este sitio están disponibles bajo

Licencia [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) 

Cómo citar: Laban Guerrero, E. A., Clemente Condori, L. J., & Choque Flores, L. (2023). Resistencia del concreto con incorporación de fibras de caña de azúcar y ceniza de carbón de madera. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(6), 11117-11135. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i6.4188

Strength of concrete with incorporation of sugarcane fibers and charcoal ash

ABSTRACT

This study evaluates the effect of the combination of the addition of sugar cane fibers and coal ash, whose origin is a product of organic waste, which will be incorporated into the concrete mix in order to improve its compressive and tensile strength as first level objectives and second level objectives to verify its workability and concrete density. The dosage of fibers was replaced with respect to the weight of fine aggregate, while the proportion of ash was replaced with respect to the weight of cement. The structure for the development of the research consisted of two phases; in the first phase, the aggregates used in the preparation of the concrete were characterized, while in the second phase, tests were carried out to determine the compressive and tensile strength for three dosages of 0.5%, 1%, 2% of fibers and 2.5%, 5%, 7% of ash, in addition to the standard mix to evaluate the optimum strength. Based on the results obtained, it was concluded that the influence of the addition of fibers and ash has a greater effect on the strength of the concrete.

Keywords: *coal ash; compressive strength; natural fiber; tensile strength.*

INTRODUCCIÓN

Desta (2019) manifiesta que la demanda elevada e ilimitada que representa el uso de material de concreto por la industria de la construcción y sus sectores en todo mundo en la actualidad, permite que el empleo del concreto sea esencial para la construcción de diversas infraestructuras. Por lo tanto, esto se convierte en una gran preocupación para el impacto medioambiental para producirlo, lo que empeora la previsión de su producción futura. De hecho, desde la perspectiva más allá de su producción, el efecto del cemento en la fabricación del concreto también contribuye a la emisión global de dióxido de carbono (CO₂).

Por otra parte, Akbar et al. (2021) manifiesta que el concreto es considerado uno de los materiales más usados en todo el mundo. Es por ello que el cemento Portland es uno de los componentes aglutinantes más importantes en la elaboración del concreto. Por ende, la fabricación del cemento implica el uso de mayor cantidad de materias primas y energía, lo que genera mayores emisiones de dióxido de carbono (CO₂). Ante estas circunstancias es necesario disminuir las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y los costos energéticos durante la fabricación del cemento de manera sostenible y segura. Por otro lado, los compuestos cementicios de ingeniería son nuevos compuestos reforzados con fibras de alto rendimiento, que muestran una ductilidad a tracción excepcional, con contenido de fibra al 2% en fracción de volumen. La capacidad de deformación a la tracción de los materiales de compuestos cementicios de ingeniería (CCI) oscila entre el 1% y el 8%, sin embargo, es habitual observar deformación de 2% al 5% (Subedi et al., 2022).

En Perú una de las deficiencias es que en la mayoría de los casos la elaboración del concreto para las edificaciones no se realiza un diseño de mezclas ni se cuenta con un plan de control de calidad, generando así el descuido de los principales factores que comprometen la resistencia del concreto como el escaso control de los agregados para garantizar su calidad, incorrecto almacenamiento de los materiales, malas dosificaciones y defectuoso curado del concreto (Diaz et al., 2020).

A nivel regional, el factor clima de Huancayo (región central de Perú) desempeña un papel fundamental para el concreto. Debido a que las condiciones ambientales de la zona, está caracterizada por un amplio rango climático, el cual está en función de las altitudes y su configuración morfológica, cuyas temperaturas extremas es de 12° - 22°C (INDECI, 2011). Dicho esto, resulta muy variable alterando las características en la mezcla del concreto,

formando diferentes reacciones en el concreto, transporte, colocación, curado, como también, acelerar el tiempo de fraguado y pérdida de consistencia, el cual resulta mucho más difícil el vaciado del concreto pudiendo de esa manera provocar algún inconveniente mecánico por el esfuerzo realizado.

En ese sentido, se tiene estudios sobre los compuestos de cemento reforzado con fibras de origen natural, los cuales han ganado un gran interés para los investigadores y fabricantes quienes buscan mejorar los materiales de construcción. No obstante, debido a su gran desempeño en cuanto a propiedades mecánicas y a su costo bajo, los compuestos de cemento reforzados con fibras naturales poseen un gran aporte para sustituir a los materiales de fibra estándar (Ribeiro et al., 2020). De igual forma, otros estudios han trabajado para mejorar las propiedades del concreto reforzado con fibras naturales que utilizan porcentajes bajos de entre 1% hasta 2% de fibras naturales de refuerzo. Además, existe la necesidad de investigar con porcentajes de fibras naturales que superen estos valores en las mezclas de concreto (Asim et al., 2020).

Devadiga et al. (2020) indica que la producción de sustitutos orgánicos como la caña de azúcar, el trigo, el arroz, el lino, la piña, el plátano, etc., han sido ampliamente usados por los investigadores para transformarlos en materiales con propiedades deseables. Dichas fuentes fibrosas pueden emplearse como refuerzo en diferentes formas. Además, las fibras no se añaden al concreto para incrementar su resistencia; sino que su principal función de las fibras es tender un puente a través de las grietas de la matriz que se desarrollan cuando se carga el concreto, y por tanto proporcionar cierta ductilidad o tenacidad posterior a la fisuración. Sin embargo, las fibras no deben considerarse como sustituto de las barras de refuerzo convencionales, aunque en algunas aplicaciones pueda ser así (Plizzari & Mindess, 2019).

Para Ruano et al. (2020) indica que las fibras naturales por su microestructura son compleja y heterogéneas. Debido a esa razón, cuando este tipo de fibras se utilizan con matrices de cemento, la interacción entre ambas se ve afectada. No obstante, a diferentes escalas del material (macro, micro y nano), las fibras vegetales constituyen una estructura jerárquica, cada una con una morfología y con un tamaño diferentes. Como parte de los materiales utilizados en este estudio, las cenizas de biomasa, debido a sus propiedades puzolánicas, estas pueden usarse en la elaboración de morteros y mezclas de concreto como reemplazo parcial del cemento, ya que no solo conduce a una

beneficiosa solución para los problemas ambientales, sino que también tiene beneficios económicos (Nayak et al., 2021).

Asimismo, Akbar et al. (2021) menciona que la sustitución de las cenizas de biomasa en el cemento podría ayudar a mejorar las propiedades del concreto. También puede ayudar a disminuir las emisiones de los gases de efecto invernadero, esto al reducir su construcción mediante el uso óptimo de los residuos agrícolas. Por lo tanto, el uso de la ceniza de madera como sustituto del cemento tiene ciertas limitaciones. Sin embargo, la sustitución parcial del cemento con ceniza de madera mejora ligeramente la resistencia, y, por tanto, puede producirse una reducción de la resistencia cuando se usa más porcentajes del 20% de sustitución porque la ceniza contiene sílice más bajo que las cenizas de cascara de arroz y las cenizas de aceite de palma (Tamanna et al., 2020).

Ahmad et al. (2022) menciona que la necesidad de utilizar cemento se reduce en gran medida al sustituir de manera parcial al cemento por ceniza de madera en el concreto. Además, investigadores han realizado ensayos que muestran prometedores resultados de la ceniza de madera referidos en términos de resistencias mecánicas y han evidenciado que la ceniza de madera es un material ideal para utilizarlo como sustitución parcial del cemento en la elaboración de concreto. Por todo lo descrito, este estudio tiene como objetivo evaluar el comportamiento del concreto mediante la incorporación de fibra de caña de azúcar y ceniza de carbón de madera en la optimización de las propiedades del concreto.

METODOLOGÍA

Para el cumplimiento del objetivo planteado, se orientó a una investigación de enfoque cuantitativo, ya que fue desarrollada por medio de la recolección de datos, es decir se midieron numéricamente (Sánchez Flores, 2019). La metodología empleada consistió en tres especímenes de concreto por diseño en grupo control (mezcla sin aditivos) y grupos experimentales (mezcla con aditivos) con los diferentes porcentajes de incorporación de fibras de caña de azúcar y ceniza de carbón de madera, siendo la población constituida por 72 especímenes cilíndricos de concreto y 24 ensayos físicos; de los cuales 12 fueron para asentamiento y 12 para peso unitario del concreto, de donde la muestra es la misma a la población (Arias-Gómez et al., 2016). Como criterios de inclusión se consideraron aquellas muestras que contienen aditivos, y como criterio de exclusión fueron todas las

muestran que no contienen aditivos, ya que en base a ello se realizaron las respectivas comparaciones para determinar si las propiedades del concreto mejoran o no.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En cuanto a los tipos de materiales utilizados para esta investigación, en primera instancia se realizó la obtención de la ceniza de carbón, proveniente de los desechos de la madera. Durante el proceso del estudio se realizaron diversos ensayos para determinar la calidad y cantidad requerida. Los mismo que se encuentran detallados a continuación.

La ceniza se obtuvo de los residuos de madera, luego pasó por un proceso de muestreo para determinar la calidad final de este material, como estar completamente seco y libre de materia orgánica. Luego pasó por un proceso de calcinación a altas temperaturas en un horno artesanal, el tiempo de incineración dependió del tipo de madera hasta obtener un color de humo azulado. Y finalmente se dejó reposar por 4 días para facilitar el contacto con la mano.

En la figura N°1 se aprecia el aspecto de la ceniza posterior a la incineración y luego de ser seleccionada.

Figura N°1 *Ceniza de carbón de madera luego de su incineración*



Por otra parte, las fibras de bagazo de caña de azúcar fueron proporcionadas por una empresa azucarera más abundantes y disponibles en el norte del país, cuyas características respecto al volumen que estas van a ocupar dentro de la mezcla del concreto, y para posterior contrastar que efectos produce en las resistencias del concreto.

La forma como fueron recolectadas las fibras y su posterior tratamiento al aire libre para reducir al mínimo el contenido de humedad impregnado en las fibras se muestra en la figura N°2.

Figura N°2 *Fibras de caña de azúcar*



Ahora las características de los agregados son las que se aprecian en la tabla N°1, los cuales fueron recolectados en el lugar de estudio, tales propiedades fueron obtenidos por medio de ensayos tales como el peso unitario suelto y compactado, pesos específicos y porcentajes de absorción, el contenido de humedad, análisis granulométrico para determinar el módulo de finura y con ello decidir con que método se va a realizar el diseño de mezclas.

Tabla N°1 *Características de los agregados para la elaboración del concreto*

Propiedades físicas	Agregado fino	Agregado grueso
P.U.S (kg/m ³)	1530.80	1347.49
P.U.C (kg/m ³)	1718.23	1515.66
Peso específico (g/cm ³)	2.62	2.64
MF	3.48	6.69
TMN	N° 4	1/2"
Absorción (%)	1.76	0.68
Humedad (%)	2.59	0.33

Fuente: elaboración propia

Nota: Las abreviaturas mostradas en el cuadro significan peso unitario suelto (P.U.S), peso unitario compactado (P.U.C), módulo de finura (MF) y tamaño máximo nominal (TMN).

El diseño de mezclas se realizó en base al método de módulo de finura para un concreto convencional sin la incorporación de las fibras y ceniza y luego para los grupos experimentales (GE) con dosificaciones para las fibras en 0.5%, 1%, 2% y para la ceniza en 2.5%, 5%, 7% para un concreto con resistencia de diseño de 280 kg/cm². Para esta

investigación experimental se trabajó con cemento Andino de Tipo I, es decir de uso general, bajo los estándares mínimos de calidad exigidos por la norma Sociedad Americana de Pruebas y Materiales (ASTM) C150. Para tal efecto, a cada edad y propiedades del concreto a evaluar, se elaboraron tres especímenes por cada grupo.

A continuación, en la tabla N°2 se aprecian los diseños de mezclas de forma resumida para el concreto convencional y para los grupos experimentales.

Tabla N°2 Resumen de los diseños de mezclas

Materiales	Patrón	0.5%FCA+2.5%CC	1%FCA+5%CC	2%FCA+7%CC
Cemento (kg)	42.5	41.44	40.37	39.52
Agua efectiva (L)	26.34	26.34	26.34	26.34
Agregado fino (kg)	141.30	140.59	139.89	138.47
Agregado grueso (kg)	75.58	75.58	75.58	75.58
FCA (kg)		0.7065	1.41	2.83
CC (kg)		1.06	2.13	2.98

Fuente: elaboración propia

Nota: Las abreviaturas mostradas en el cuadro significan fibra de caña de azúcar (FCA) y ceniza de carbón (CC). El peso de cada uno de los materiales constituyentes es por un pie³, es decir por una bolsa de cemento (42.5 kg).

Luego de haber realizado los ensayos de caracterización de los agregados, así como también el diseño de mezclas de los cuatro grupos correspondientes al grupo control y los grupos experimentales, ahora se describen los principales hallazgos.

A continuación, se presentan los resultados sobre los efectos que produce en el concreto cada porcentaje de fibras y ceniza incorporadas a la mezcla, se realizó los ensayos de asentamiento mediante el cono de Abrams de acuerdo a la Norma Técnica Peruana (NTP) 339.035, los valores obtenidos se muestran en la tabla N°3.

Tabla N°3 Asentamientos del concreto de grupos muestrales

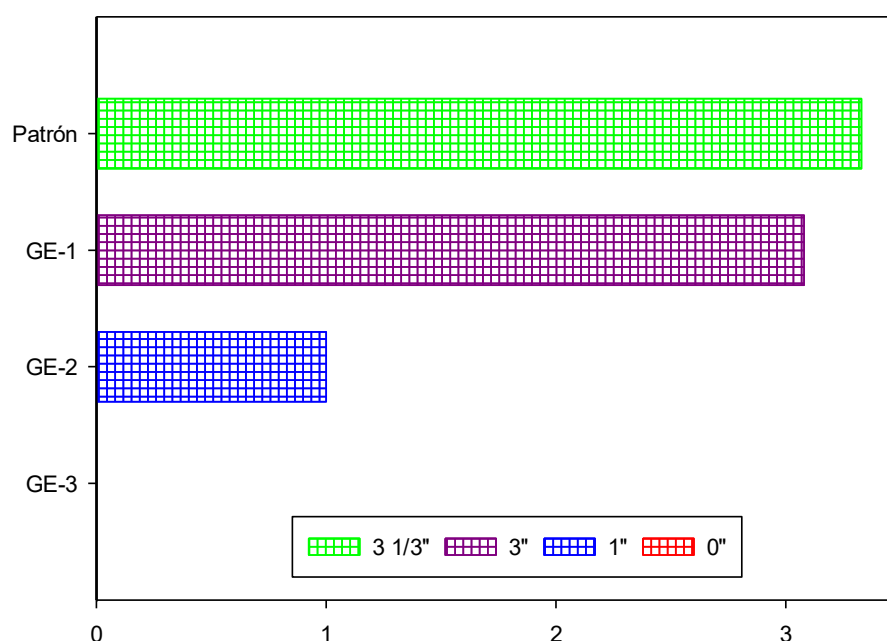
Tipo de diseño de mezcla	Patrón	GE-1	GE-2	GE-3
Asentamiento (pulgadas)	3 1/3	3	1	0

Fuente: elaboración propia

Nota: Dosificaciones de los grupos experimentales GE-1 (0.5%FCA+2.5%CC), GE-2 (1%FCA+5%CC) y GE-3 (2%FCA+7%CC).

En la tabla N°3 se muestran los grupos experimentales (GE) y de igual manera la evolución de la trabajabilidad del concreto en estado fresco respecto a las adiciones en proporciones del 0.5%, 1%, 2% de fibras de caña de azúcar (FCA) y el 2.5%, 5%, 7% de ceniza de carbón (CC) respectivamente, tanto para las muestras experimentales como la muestra patrón. De donde la principal apreciación es que los valores promedios determinan que a mayor porcentaje de adición la consistencia del concreto se ve afectada. No obstante, dada las apreciaciones se determinó que el grupo patrón presentó un asentamiento de 3 1/3", los resultados para la dosificación del grupo experimental 1 (GE-1) con el 0.5% de fibras y el 2.5% de ceniza contienen los valores más cercanos a la dosificación del patrón, sin embargo, con el 1%, 2% de fibras y el 5%, 7% de ceniza presentaron asentamiento por debajo del considerado en el diseño de mezclas por el método de módulo de finura de 3" a 4" para una consistencia plástica.

Figura N°3 Variación del asentamiento en función del diseño de mezcla



Fuente: elaboración propia

En cuanto a las diferencias de la consistencia del concreto apreciadas en la figura N°3, obtenidas entre los grupos experimentales (GE) y el patrón resultaron ser relativamente baja; pero se hizo más evidente para los porcentajes superiores, en la que obtuvo el resultado más desfavorable a medida que se aumenta la cantidad de aditivos.

Estos resultados tienen coherencia con lo estudiado por Ribeiro et al. (2021) quienes indican que el asentamiento del concreto se reduce a medida que la adición de la fibra

de bagazo aumenta. Es por ello que, para un concreto que no contienen residuos de caña el valor hallado es del 6.7 cm, sin embargo, en los casos donde se ensayó con el 2% y el 5% de fibras de bagazo, cenizas de bagazo y cenizas volantes, representadas en dosificaciones del 2% en volumen, se encontró una disminución del asentamiento. Estos hallazgos son afianzados por Zerihun et al. (2022) donde la trabajabilidad del concreto se incrementa linealmente con el aumento del contenido de bagazo de caña de azúcar. Dando como resultado que con la adición del 30% de bagazo de caña para un concreto normal el asentamiento es 250 mm, el cual representa el 34% mejor que el concreto normal.

Se realizaron tres ensayos bajo los estándares del manual del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) E714, el cual detalla los procedimientos y parámetros a seguir para realizar el ensayo, por cada diseño y luego con los resultados obtenidos se promedió los valores permitiendo determinar la variación de la densidad del concreto fresco, así como se especifica en la tabla N°4.

Tabla N°4 Pesos unitarios del concreto de grupos muestrales

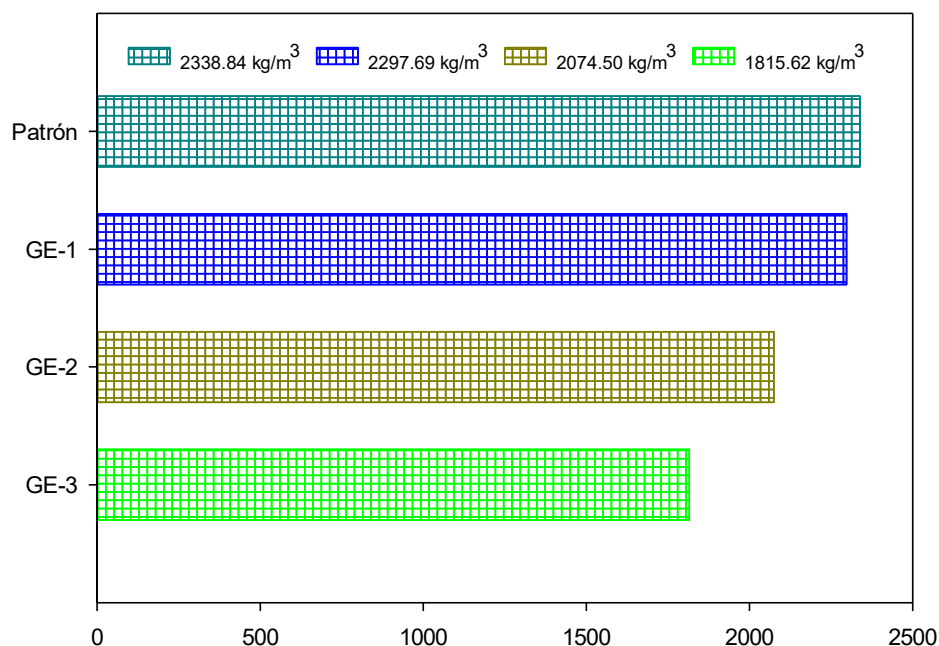
Tipo de diseño de mezcla	Patrón	GE-1	GE-2	GE-3
Peso unitario (kg/m ³)	2338.84	2297.69	2074.50	1815.62

Fuente: elaboración propia

De la evaluación de los cuatro diseños, afectó de manera negativa para los tres grupos experimentales (GE) del 0.5%, 1%, 2% de fibras de caña de azúcar (FCA) y 2.5%, 5%, 7% de ceniza de carbón (CC), es decir directamente al asentamiento en cuanto a su trabajabilidad. Los resultados se pueden apreciar en la tabla N°4, donde el peso unitario para todos los diseños presenta variaciones, el diseño patrón sin la adición de fibras de caña de azúcar y ceniza de carbón de madera se obtuvo el peso mayor que fue en promedio de 2338.84 kg/m³, mientras que el más desfavorable se presencié para la proporción del 2% de fibras más el 7% de ceniza correspondiente al grupo experimental 3 (GE-3) con un promedio de 1815.62 kg/m³.

A continuación, se muestran de manera gráfica por medio de la figura N°4 los resultados obtenidos de los ensayos efectuados para el peso unitario del concreto, en cuanto a la variación para los diseños indicados según los porcentajes de incorporación.

Figura N°4 Variación de los pesos unitarios del concreto en función del diseño de mezcla



Fuente: elaboración propia

Los resultados son coherentes con lo investigado por Desta et al. (2019b) quienes encontraron que la densidad del concreto de peso normal reforzado con fibras de bagazo de caña existe una variación en la densidad del concreto relacionada con el aumento del porcentaje de fibra. La máxima densidad alcanzada para el concreto con 1% de fibras fue de 2475.06 kg/m³ para después de 7 días de curado y para el concreto incorporado con 1.5% de fibras fue del 2483.56 kg/m³ a los 28 días. Mientras que la mínima densidad para el concreto con 1.5% de fibras fue del 2382.72 kg/m³ y para el concreto con 0.5% de fibras fue del 2446.52 kg/m³. Estos resultados son afianzados por Siddique, Singh y Singhal (2019) donde observaron que se presenció una reducción de la densidad del concreto al incluir ceniza de madera en sustitución del agregado fino (arena). La reducción de la densidad de las mezclas de concreto con ceniza de madera fue debido a la menor gravedad específica de la ceniza. Dicha disminución fue reflejada en un 1.3% con la sustitución de un 20% de ceniza de madera. No obstante, a mayores niveles de sustitución de ceniza de madera, se produjo una reducción gradual de la densidad de las mezclas del concreto.

En cuanto a la determinación de la resistencia a compresión a los 28 días de maduración se dio a conocer mediante los ensayos realizados de acuerdo a la norma Sociedad

Americana de Pruebas y Materiales (ASTM) C39, los resultados se observan en la tabla N°5.

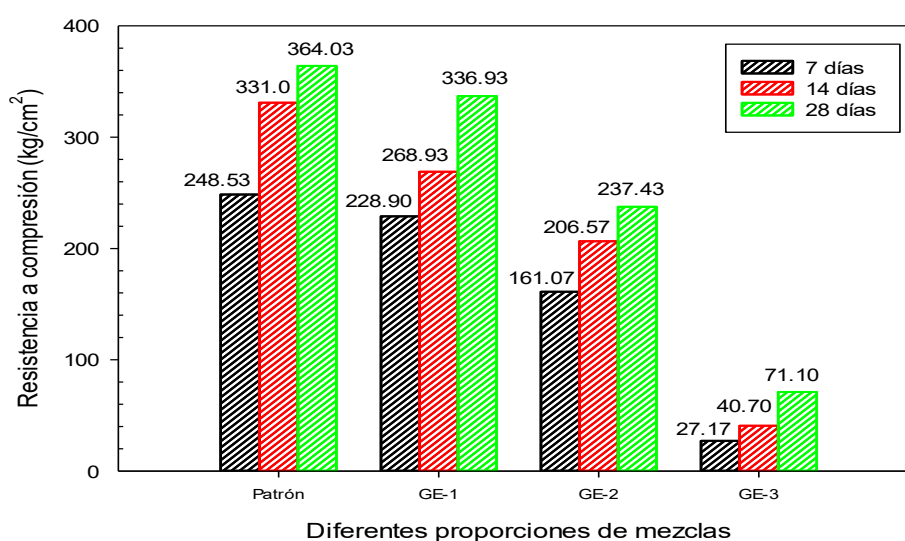
Tabla N°5 Resistencia a compresión del concreto a los 28 días

Tipo de diseño	Maduración (N° Días)	Resistencia de rotura promedio (kg/cm ²)
Patrón		364.03
GE-1	28	336.93
GE-2		237.43
GE-3		71.1

Fuente: elaboración propia

En la tabla N°5 se aprecia que los valores mayores corresponden a la resistencia a compresión para el concreto patrón para los 28 días, superando a la resistencia de diseño de 280 kg/cm² en un porcentaje de 30.01%. Para los grupos experimentales (GE) con proporción del 0.5% de fibras y 2.5% de ceniza se alcanzó obtener 336.93 kg/cm² siendo superior en un 20.33% al de diseño y menor al espécimen de control en un 7.44%, por lo que se pudo observar que no hubo una diferencia significativa entre estas dos resistencias. Sin embargo, contenidos de fibras de caña de azúcar mayor que el 0.5% y ceniza de carbón de madera mayor al 2.5% disminuye la resistencia del concreto, incluso muy por debajo de lo requerido. Siendo los dos últimos grupos experimentales que no resultaron llegar a la resistencia permitida, dicho esto, se entiende que a mayor porcentaje de adición de los aditivos en especial las fibras la resistencia se ve afectada.

Figura N°5 Evaluación de la resistencia a compresión para los 28 días



Fuente: elaboración propia

La resistencia del concreto varía en función del porcentaje de los aditivos y de acuerdo a los días evaluados incrementa hasta llegar un máximo desarrollo y luego disminuye conforme el contenido de las fibras y ceniza aumenta, tal y como se aprecia en la figura N°5. Estando el porcentaje más óptimo dentro del rango de aproximadamente del 0% al 0.5%, siendo el valor medio el más recomendado.

Estos resultados difieren a los datos obtenidos por El-Nadoury (2020) donde tuvo para una muestra de control que no contiene fibra o para un concreto convencional se registra una lectura de 30 MPa. Además, para un concreto que contiene bagazo de caña de azúcar, las muestras con dosificación del 0.5%, 1% y 1.5% de fibra presentan una resistencia a la compresión del 30.30, 31 y 32 MPa respectivamente para cada caso estudiado. Es por ello que, la adición de las fibras de bagazo tiene un menor efecto en la resistencia a compresión del concreto. Asimismo, Ristić et al. (2021) afirman que las mezclas de concreto autocompactante elaboradas con ceniza de madera de biomasa incorporada tienen menor resistencia a la compresión que la mezcla de referencia a los 2 y 7 días de curado. Sin embargo, la mezcla de concreto autocompactante con un 10% de ceniza de madera presentó el mayor valor de resistencia de entre 58.9 MPa y 79.8 MPa que fue un 1.4% o un 3.2% mayor que la mezcla de referencia. A estas mismas edades, la mezcla con el 20% tuvo la misma resistencia aproximadamente que la mezcla de referencia. Además, la mezcla con el 30% de ceniza a los 28 y 90 días tuvo una resistencia inferior del 11%, es decir, el 6.2% respecto a la mezcla de referencia. Y para la mezcla con el 40% esta diferencia fue del 16.4%, es decir, un 10.2% menos.

Los ensayos realizados de acuerdo al manual del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) E708, de los cuales se presentan los reportes de la resistencia a tracción de los especímenes de concreto a edad de los 28 días, estos resultados son representados en forma resumida en la tabla N°6.

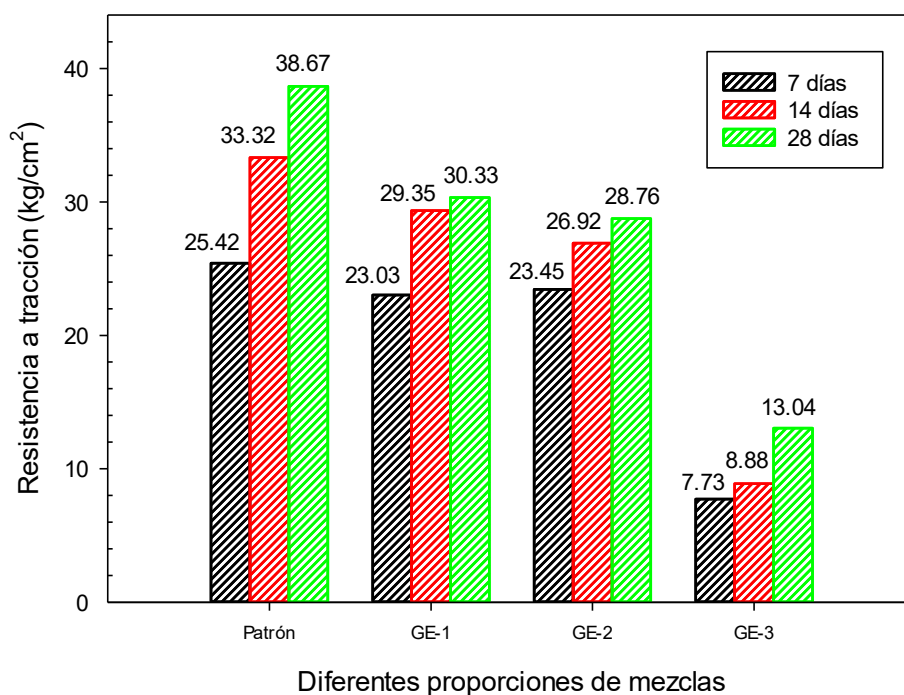
Tabla N°6 Resistencia a tracción del concreto a los 28 días

Tipo de diseño	Maduración (N° Días)	Resistencia de rotura promedio (kg/cm ²)
Patrón		38.67
GE-1	28	30.33
GE-2		28.76
GE-3		13.04

Fuente: elaboración propia

Los valores mostrados en la tabla N°6 muestran a la resistencia a tracción resultados inferiores a las muestras del concreto patrón para los diseños que contienen aditivos, es por ello que, para los grupos experimentales (GE) del 0.5% de fibras de caña de azúcar (FCA) y el 2.5% de ceniza de carbón de madera (CCM) se logró obtener 30.33 kg/cm² con el porcentaje de 78.43% resultando en una disminución del 21.57%, para el 1% de fibras y el 5% de ceniza se obtuvo 28.76 kg/cm² alcanzando solo el 74.37% representando una reducción del 25.63%, y por último el 2% de fibras y el 7% de ceniza se alcanzó un valor de 13.04 kg/cm² representando el 33.72%, mostrando una reducción de la resistencia del 66.28% en relación al del espécimen de control respectivamente.

Figura N°6 Evaluación de la resistencia a tracción para los 28 días



Fuente: elaboración propia

En la figura N°6 se aprecia la reducción de la resistencia a tracción del concreto, esto con el aumento de las proporciones de las fibras de caña de azúcar (FCA) y ceniza de carbón (CC). Además, la resistencia aumenta con el transcurso de los días, alcanzando una considerable resistencia a los 28 días, a partir de ello, la tendencia de la gráfica indica que en el primer y segundo grupo experimental en comparación al patrón no presenta mucha diferencia.

Estos resultados guardan relación con el estudio de Samosir et al. (2021) los cuales determinaron que el nivel de relación entre los aditivos y la resistencia hay un aumento

significativo con el contenido de fibras de bagazo al 0.25% de 1.81 MPa. En cambio, hay una disminución de 1.51, 1.72 y 1.56 MPa cuando la fibra de bagazo es del 0%; 0.5%; y 1% respectivamente. Sin embargo, se produce un incremento del 19.86% de la resistencia a la tracción entre el 0% y el 0.25% de fibra de bagazo y una reducción del 5.2% hasta el 10.25% para la fibra de bagazo mayor al 0.25%. Por otra parte, Rahul Rollakanti et al. (2021) indica que a los 28 días las mezclas de concreto para las resistencias a la tracción de M1, M2, M3 y M4 se observan un aumento en la resistencia respectivamente. Por lo tanto, la resistencia de mezcla M3 fue máxima y se encontró que mejoró en 12.5%. Sin embargo, cuando el porcentaje de ceniza de madera se aumentó en el concreto de entre el 0% y el 10%, aumentó la resistencia a la tracción, mientras cuando se sustituyó el 15%, la resistencia comenzó a disminuir en un 4.04%.

Finalmente, se aplicó la prueba del coeficiente de correlación de Spearman para una muestra (con el 5% de significancia).

Tabla N°7 *Correlación entre slump, peso unitario, compresión, tracción y % de adición*

		Descripción	% adición
Rho de Spearman	% adición	Coeficiente de correlación Sig. (bilateral) N	
	Compresión	Coeficiente de correlación Sig. (bilateral) N	-0.972 0 12
	Tracción	Coeficiente de correlación Sig. (bilateral) N	-0.928 0 12
	Slump	Coeficiente de correlación Sig. (bilateral) N	-0.95 0 12
	P.U.	Coeficiente de correlación Sig. (bilateral) N	-0.972 0 12

Fuente: elaboración propia

Los resultados contenidos en la tabla N°7 muestra que la prueba de Rho de Spearman, al obtenerse valores de la significancia en su totalidad < 0.05 (Sig. Bilateral), esto indica que si existe relación entre las dos variables. Ello significa que, tanto la resistencia a compresión, tracción, slump y peso unitario del concreto se relacionan estadísticamente

de manera significativa con los porcentajes de adición de la fibra de caña de azúcar (0.5%, 1%, 2%) y ceniza de carbón (2.5%, 5%, 7%).

Dicho esto, debido a que el coeficiente de correlación es superior a 0.05 y muestra signo negativo por lo que se deduce que presenta una relación perfecta y negativa, quiere decir que la resistencia disminuye cuando los porcentajes de los aditivos aumentan, es decir de 0.5%, 1% hasta el 2% de fibras y 2.5%, 5% hasta el 7% de ceniza respectivamente.

CONCLUSIONES

La incorporación de las fibras y ceniza influyen de manera negativa en las propiedades del concreto. Obteniéndose que la mayor resistencia a los 28 días proviene del concreto patrón de 364.03 kg/cm², mientras tanto para el 0.5% de fibra de bagazo y 2.5% de ceniza de carbón, se presenció una pequeña reducción del 7%, sin embargo, la resistencia más desfavorable se obtuvo con el 2% y 7% de aditivos, evidenciándose una disminución del 75%. Asimismo, el valor más alto para la resistencia a la tracción del concreto a los 28 días de edad se produce para el concreto control de 38.67 kg/cm², y el peor escenario fue para el 2% y 7% con una reducción del 66%. Por lo tanto, se puede concluir que a mayor contenido de aditivos en especial la fibra las resistencias se ven afectadas. También se evidenció una consistencia seca en la prueba del asentamiento del concreto del 1" y 0" con variaciones de fibra del 1%; 2% y 5%; 7% de ceniza respectivamente. De igual forma, el peso unitario del concreto muestra variaciones en función del contenido de fibras y ceniza, siendo el mayor valor de 2338.kg/m³ para un concreto normal, y con una disminución del 2297.69 kg/m³, 2074.50 kg/m³ y 1815.62 kg/m³. Se puede concluir que el uso de fibras y ceniza en las cantidades mencionadas reduce el asentamiento y el peso unitario de la mezcla del concreto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmad, J., Martínez-García, R., de-Prado-Gil, J., Pasha, A. A., Irshad, K., & Bouchak, M. (2022). Mechanical performance of sustainable high strength ductile fiber reinforced concrete (HSDFRC) with wooden ash. *Scientific Reports*, 12(1), 4306. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-08134-y>.
- Akbar, A., Farooq, F., Shafique, M., Aslam, F., Alyousef, R., & Alabduljabbar, H. (2021). Sugarcane bagasse ash-based engineered geopolymer mortar incorporating propylene fibers. *Journal of Building Engineering*, 33, 101492. <https://doi.org/10.1016/j.job.2020.101492>.

- Arias-Gómez, J., Villasís-Keever, M. Á., & Novales, M. G. M. (2016). El protocolo de investigación III: La población de estudio. *Revista Alergia México*, 63(2), 201-206.
- Asim, M., Uddin, G. M., Jamshaid, H., Raza, A., Rehman Tahir, Z. ul, Hussain, U., Satti, A. N., Hayat, N., & Arafat, S. M. (2020). Comparative experimental investigation of natural fibers reinforced light weight concrete as thermally efficient building materials. *Journal of Building Engineering*, 31, 101411. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101411>.
- Desta, A. (2019a). Investigation on Production of Light Weight High Tensile Strength Concrete Using Sugarcane Bagasse Fiber. 45.
- Devadiga, D. G., Bhat, K. S., & Mahesha, G. (2020). Sugarcane bagasse fiber reinforced composites: Recent advances and applications. *Cogent Engineering*, 7(1), 1823159. <https://doi.org/10.1080/23311916.2020.1823159>.
- Diaz, R., Chinchay, R., & Contreras, J. (2020). Resistencia a la compresión del concreto utilizado en cimentaciones de las edificaciones comunes en la ciudad de Jaén. *Revista Científica Pakamuros*, 8(2), Art. 2. <https://doi.org/10.37787/pakamuros-unj.v8i2.126>.
- El-Nadoury, W. W. (2020). Applicability of Using Natural Fibers for Reinforcing Concrete. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 809(1), 012018. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/809/1/012018>.
- Instituto Nacional de Defensa Civil (Perú). INDECI PNUD PER /02/051 00014426 – 2011.
- Nayak, J. R., Bochen, J., & Golaszewska, M. (2021). Effect of Biomass Ash on Properties of Mortar: Review. *Review of International Geographical Education Online*, 11(7), 1082-1094. <https://doi.org/10.48047/rigeo.11.07.102>.
- Plizzari, G., & Mindess, S. (2019). 11—Fiber-reinforced concrete. En S. Mindess (Ed.), *Developments in the Formulation and Reinforcement of Concrete (Second Edition)* (pp. 257-287). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102616-8.00011-3>.
- Rahul Rollakanti, C., Venkata Siva Rama Prasad, C., Poloju, K. K., Juma Al Muharbi, N. M., & Venkat Arun, Y. (2021). An experimental investigation on mechanical properties of concrete by partial replacement of cement with wood ash and fine sea shell powder. *Materials Today: Proceedings*, 43, 1325-1330. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.164>.

- Ribeiro, B., Yamamoto, T., & Yamashiki, Y. (2021). Classification of the sugarcane residues and their characteristics—An environmental assessment of mortar with addition of sugarcane residues. *Journal of Material Cycles & Waste Management*, 23(3), 1219-1226. <https://doi.org/10.1007/s10163-021-01197-5>.
- Ribeiro, B., Yamashiki, Y., & Yamamoto, T. (2020). A study on mechanical properties of mortar with sugarcane bagasse fiber and bagasse ash. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 22(6), 1844-1851. <https://doi.org/10.1007/s10163-020-01071-w>.
- Ristić*, N., Grdić, Z., Topličić-Ćurčić, G., Grdić, D., & Dodevski, V. (2021). Properties of Self-compacting Concrete Produced with Biomass Wood Ash. *Tehnički Vjesnik*, 28(2), 495-502. <https://doi.org/10.17559/TV-20200214103332>.
- Ruano, G., Bellomo, F., López, G., Bertuzzi, A., Nallim, L., & Oller, S. (2020). Mechanical behaviour of cementitious composites reinforced with bagasse and hemp fibers. *Construction and Building Materials*, 240, 117856. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117856>.
- Samosir, F., Hutabarat, L. E., Purnomo, C. C., & Tampubolon, S. P. (2021). The effect of bagasse fibers material with pumice as a partial substitution of coarse aggregate to increase compressive strength and tensile strength on lightweight concrete. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 878(1), 012046. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/878/1/012046>.
- Sánchez Flores, F. A. (2019). Fundamentos Epistémicos de la Investigación Cualitativa y Cuantitativa: Consensos y Disensos. *Revista Digital de Investigación en Docencia Universitaria*, 101-122. <https://doi.org/10.19083/ridu.2019.644>.
- Siddique, R., Singh, M., & Singhal, A. K. (2019). Use of Unprocessed Wood Ash as Partial Replacement of Sand in Concrete. *ACI Materials Journal*, 116(6), 77-86.
- Subedi, S., Arce, G. A., Hassan, M. M., Barbato, M., Mohammad, L. N., & Rupnow, T. (2022). Feasibility of ECC with high contents of post-processed bagasse ash as partial cement replacement. *Construction and Building Materials*, 319, 126023. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.126023>.
- Tamanna, K., Raman, S. N., Jamil, M., & Hamid, R. (2020). Utilization of wood waste ash in construction technology: A review. *Construction and Building Materials*, 237, 117654. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117654>.

Zerihun, B., Yehualaw, M. D., & Vo, D.-H. (2022). Effect of Agricultural Crop Wastes as Partial Replacement of Cement in Concrete Production. *Advances in Civil Engineering*, 1-31. <https://doi.org/10.1155/2022/5648187>.