

Hormigón reforzado con fibra natural de caña de azúcar y su resistencia a la compresión

Carrión L.*; Ordoñez J.*; Duran J.*; Farias J.*

Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ingeniería Civil, Machala, Ecuador
e-mail: {locarrion; jlordonez; jduran3; jfarias4}@utmachala.edu.ec

RESUMEN:

Actualmente se han desarrollado diferentes estudios para lograr el aprovechamiento de agregados no convencionales en la preparación de mezclas de concreto, en este caso en particular se han analizado los efectos de la fibra natural de caña de azúcar como medrador de las características físicas y mecánicas en el hormigón.

El presente trabajo experimental se inició con una previa investigación bibliográfica de la dosificación requerida para la elaboración de probetas de hormigón que cumplan con los requisitos establecidos en la normativa vigente en el país. Una vez estudiada dicha información se procedió con el procesamiento de la caña de azúcar, removiendo las fibras naturales de su tallo, posteriormente las fibras fueron cortadas y lavadas tanto en agua fría como caliente en reiteradas ocasiones para luego secarlas de forma natural durante una semana, asegurando así la total eliminación de los azúcares e impurezas propias de la caña. Finalmente, se distribuyeron dentro de la mezcla de forma homogénea en un equivalente de 2.37 kg/m^3 en función al peso del cemento.

Analizando los resultados obtenidos se evidenciaron variaciones relativamente bajas en relación a las presentadas por el hormigón utilizado para las muestras de control, tanto en trabajabilidad, como consistencia. Sin embargo, los ensayos demostraron que las mejoras si fueron notables en la resistencia a la compresión, pues se demostró que las fibras naturales de la caña de azúcar mejoran la respuesta mecánica del hormigón.

Palabras clave: agregados, fibra natural, probetas de hormigón.

ABSTRACT:

Currently, different studies have been developed to take advantage of unconventional aggregates in the preparation of concrete mixtures, in this case in particular the effects of natural sugarcane fiber have been analyzed as a measure of physical and mechanical characteristics in the concrete.

This experimental work began with a previous bibliographical investigation of the dosage required for the preparation of concrete specimens that meet the requirements established in the regulations in force in the country. Once this information was studied, the sugarcane was processed, removing the natural fibers from its stem, then the fibers were cut and washed both in cold and hot water repeatedly and then dried naturally for a week, thus ensuring the total elimination of sugars and impurities of the cane. Finally, they were distributed homogeneously within the mixture in an equivalent of 2.37 kg / m³ depending on the weight of the cement.

Analyzing the results obtained, relatively low variations were evidenced in relation to those presented by the concrete used for the control samples, both in workability and consistency. However, the trials showed that the improvements were remarkable in compressive strength, as it was shown that the natural fibers of sugarcane improve the mechanical response of concrete

Keywords: aggregates, natural fiber, concrete specimens.

Introducción

La ingeniería de materiales de construcción es una ciencia que avanza exponencialmente, en una constante búsqueda por ofrecer mejores alternativas que permitan mejorar la resistencia y vida útil de las estructuras sin comprometer la rentabilidad del proyecto.

Indiscutiblemente el hormigón es el material que predomina en la construcción debido a sus excelentes propiedades mecánicas que garantizan un óptimo comportamiento y resistencia a diferentes tipos de esfuerzos, no obstante, dichas propiedades podrían ser mejoradas incorporando porcentajes de fibras naturales en la mezcla usada para su elaboración consiguiendo así una textura más uniforme y homogénea que brinda una mayor resistencia a la compresión simple del prototipo de hormigón diseñado con fibra natural en relación con otro ejemplar diseñado con una mezcla tradicional.

El principal aporte de las fibras en el hormigón se evidencia en la mejora de la resistencia a tensión, resistencia a compresión, módulo elástico, resistencia al agrietamiento, control del agrietamiento, durabilidad, resistencia a la fatiga, resistencia al impacto y a la abrasión, contracción, expansión, características

térmicas y resistencia al fuego (Espinoza, 2015), sin embargo este parámetro varía según el tipo de fibra empleada.

Podemos indicar que los hormigones reforzados con fibra han sido utilizados en diversas obras de ingeniería como en: pavimentos en pisos industriales, revestimiento de túneles, tableros de rodadura de puentes, prefabricados, entre otros (Espinoza, 2015), además Jiménez & Ochoa (2014) explica que las fibras de bagazo de caña de azúcar han permitido aligerar los paneles de concreto.

Cuando nos referimos al reforzamiento de elementos de hormigón en la construcción con la ayuda de las fibras, tenemos un informe denominado State of the Art Report on Fiber Reinforced Concrete ACI 544.1R-96 (Informe del Estado del Arte sobre el Hormigón Reforzado con Fibra), donde nos da información pertinente sobre la aplicación de diferentes tipos de fibras para el reforzamiento de hormigones (Seabrook et al., 1984).

Según Sera (1990), las características morfológicas y las propiedades físico-mecánicas del bagazo de caña de azúcar, la catalogan como un material adecuado para ser usado como Fibrorefuerzo.

En la Tabla 1, se dan a conocer las propiedades más significativas del bagazo de caña, las cuales sirven de base para el aprovechamiento y manipulación de este tipo de material.

Tabla 1. Propiedades de la Fibra del Bagazo de Caña (Saraz, Aristizabal, & Mejía, 2007)

Especificaciones	Bagazo
Continuo / Disperso	Disperso
Orientación	Aleatoria
Matriz	Cemento
Longitud mm	26
Diámetro promedio (mm)	0.24
Gravedad específica (g/cm ³)	1.25
Absorción de humedad %	78.5
Contenido de humedad %	12.1
Resistencia última MPa	196.4
Módulo de elasticidad GPa	16.9
Resistencia a la adherencia MPa	0.84

Es importante definir un método para procesar químicamente las fibras naturales que se incorporan a diseños de mezclas de hormigones con el fin de protegerla de la alcalinidad del cemento en su fase de hidratación. En nuestro caso particular utilizamos fibra natural obtenida de los residuos de la caña de azúcar (bagazo) no procesadas, es decir solo se aplicó un proceso básico de corte, lavado y secado de la fibra.

Con los resultados obtenidos se observaron mejoras sus propiedades mecánicas del hormigón, pero debemos indicar que con la falta de un proceso químico de las fibras, estas presentarían deficiencias respecto a su durabilidad, Estas deficiencias se dan como resultado de la reacción entre la alcalinidad de la pasta de cemento y las fibras, además de la susceptibilidad al ataque de microorganismos en presencia de la humedad (Lewis, 1979).

En nuestro caso particular se ha verificado que la incorporación de la fibra natural no procesadas, nos permitió ver mejoras a los esfuerzos de compresión directa de las probetas diseñadas $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$, incremento de la tenacidad en su estado endurecido, controlar la contracción plástica en el periodo de fraguado y como una ventaja adicional podríamos indicar que la incorporación de fibra al hormigón controla la aparición de fisuras durante la vida útil del elemento.

Otro aspecto importante es ayudar a sustituir la fibra de asbesto que ha sido utilizado como material de reforzamiento en una gran cantidad de materiales combinados que se utiliza en el sector de la construcción y que la misma ha sido prohibido por sus efectos perjudiciales sobre la salud humana en la mayor parte de los países del mundo, por lo que por alrededor de las décadas de 1960 y 1970 fueron introducidos tipos alternativos de fibras.

Enmarcándose en esta tendencia y aprovechando los agregados no convencionales nació esta investigación, donde la innovación y tecnología permitirán determinar la cantidad o porcentaje de la fibra natural de caña de azúcar no procesada que debe incorporarse a la mezcla para potenciar las características físicas y mecánicas del hormigón.

Materiales y Métodos

Se realizó una revisión bibliográfica (estado del arte) sobre los procesos a seguir, la normativa vigente que se aplica al estudio de los hormigones reforzados con fibra natural.

En lo que respecta a identificar el método adecuado para proteger la fibra natural de la alcalinidad del cemento, debemos indicar que en esta presente investigación no se utilizó ningún proceso químico si no que se realizó el respectivo corte, lavado y secado la fibra, es decir se utilizó las fibras naturales de caña de azúcar no procesadas.

Tanto para la caracterización física de los materiales pétreos sean estos finos (arena) y gruesos (triturado), como para el cemento que fueron utilizados para la elaboración del hormigón reforzado con fibra natural se respetó lo que dice la normativa vigente en el país NTE INEN y las normas internacionales ASTM y ACI para este tipo de ensayos.

Con la elaboración de la mezcla se realizaron 6 probetas cilíndricas de hormigón de 100x200 mm, diseñadas respetando las normas planteadas. Se tomó como patrón de diseño una mezcla con un $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ (cemento, arena, grava, agua y aditivo), a la que se le añadió a su dosificación una cantidad o porcentaje de fibra natural no procesada, solo tratada con ayuda de un proceso muy básico de corte, lavado y secado la fibra natural.

A la muestra compuesta por hormigón y fibra natural no procesada se le adicionara un aditivo acelerador de fraguado.

La muestra de caña de azúcar utilizada estaba previamente exprimida (bagazo de caña) y para la obtención de su fibra natural se desarrollaron las siguientes actividades:

1. El primer paso consistió en remover la fibra de los residuos que quedan luego de que a la caña de azúcar se le extrae su jugo (bagazo).
2. Después se procedió a cortar en tiras la fibra obtenida.
3. Es necesario que la fibra natural esté libre de impurezas, por lo que fue recomendable realizar lavados consecutivos con agua fría y caliente.
4. Se requirió que la fibra natural de la caña de azúcar esté totalmente seca, por lo cual, se la expuso a la luz solar durante 1 semana.
5. Por último, se procedió a licuar parcialmente la fibra seca para obtener trozos más delgados y de menor sección.

A continuación, en la siguiente figura se presenta la fibra natural de caña de azúcar después de pasar por el proceso básico antes mencionado:

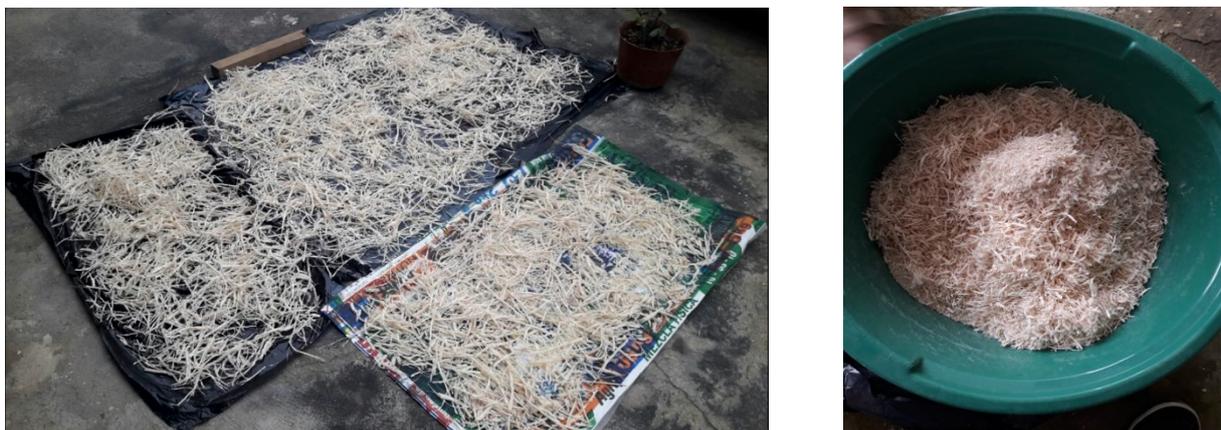


Fig. 1. Fibra natural utilizada en la mezcla de hormigón.

En la siguiente tabla se detalla la dosificación de las probetas de hormigón con fibra natural.

Tabla 2. Dosificación empleada para hormigón con fibra natural

Material	Unidad	Cantidad
Triturado	Kg/m ³	860
Cemento	Kg/m ³	309
Arena	Kg/m ³	885
Aditivo	Kg/m ³	2.64
Agua	L/m ³	200
Fibra natural de caña de azúcar	Kg/m ³	2.37

Tanto los ensayos para determinar la resistencia a la compresión de los especímenes de hormigón y la elaboración de las probetas cilíndricas se realizaron en el laboratorio de la Planta Holcim sede Machala, El Oro y el laboratorio de la Carrera de Ingeniería Civil. Los ensayos de las probetas se efectuaron a los 7, 14 y 28 días de fraguado respectivamente. En total 4 probetas fueron ensayadas y 2 quedaron como muestras de exposición.

En las figuras que se presentan a continuación se puede observar momentos importantes desde la elaboración de las probetas hasta la realización del ensayo a compresión en el proceso de esta investigación.



Fig. 2. Elaboración de probetas cilíndricas de hormigón.



Fig. 3. Ensayo de compresión.



Fig. 4. Probetas después del ensayo de compresión.

Tal como indican Cook (1980), Gram (1983) y Sobastano (1982) las fibras orgánicas deben ser protegidas ante la descomposición para evitar pérdidas de resistencia y consistencia, sin embargo, en esta investigación no se aplicó ninguna metodología para retrasar o evitar la descomposición natural de la fibra frente a la alcalinidad propia del concreto, con el fin mantener bajos costos de producción.

La siguiente tabla resume de forma general las actividades realizadas en cada semana de los meses de julio y agosto del año 2018 donde se llevó a cabo esta investigación:

Tabla 3. Planificación de la investigación

Actividades	Julio				Agosto			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Revisión bibliográfica (estado del arte).								
Procesamiento de los residuos de la caña de azúcar.								
Método adecuado para proteger la fibra natural.								
Caracterización física de los materiales pétreos.								
Elaboración de la mezcla para las probetas cilíndricas de hormigón con fibra natural.								
Ensayo de compresión a los 7 días de fraguado.								
Ensayo de compresión a los 14 días de fraguado.								
Ensayo de compresión a los 28 días de fraguado.								
Resultados								

Discusión de Resultados

Los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos de hormigón reforzado con fibra natural se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 4. Resultados del ensayo a compresión de los especímenes de hormigón

Tiempo de Fraguado	Fuerza última (kN)	Esfuerzo a compresión (MPa)
7 días.	159.0	20.24
14 días.	205.4	26.16
28 días.	232.7	29.62

En la siguiente Tabla se presentan información técnica proporcionada por la empresa Holcim S.A., sede Machala, que es una empresa líder en el mercado nacional de la construcción, proporcionando hormigones de alta calidad al sector público y privado y que utiliza los siguientes datos de resistencia patrones (fuerza última en KN), para hormigones con distintas capacidades de resistencia a compresión axial:

Tabla 5. Datos de resistencia patrones para hormigones con distintas capacidades de resistencia a compresión

F'c (kg/cm ²)	Fuerza última (kN) 7 días	Fuerza última (kN) 28 días
210	132	166
240	152	190
250	158	198
280	176	222
300	190	237

En la siguiente Tabla se compara los resultados obtenidos del hormigón reforzado con fibra natural con los datos patrón de hormigón que produce la empresa Holcim S.A., sede Machala:

Tabla 6. Datos de resistencia patrones para hormigones con distintas capacidades de resistencia a compresión

Fuerza última (kN)	Hormigón patrón 210 kg/cm ²	Hormigón reforzado con fibra natural	Mejora (kN)	Mejora porcentual (%)
7 días	132	159.0	27,0	20.45
28 días	166	232.7	66.7	40.18

Se aprecia en los resultados obtenidos que existe una mejora de resistencia ante el hormigón convencional sin ningún tipo de fibra presente en su mezcla, llegando a estar entre una capacidad de resistencia ante esfuerzos a compresión $f'c$ de 250 kg/cm², 280 kg/cm² y muy cerca 300 kg/cm², cuando su diseño se basó con un $f'c$ de 210 kg/cm².

Además, podemos indicar que con la investigación realizada cumplimos con los requisitos que establece la NTE INEN 2380:2011 (REQUISITOS DE DESEMPEÑO PARA CEMENTOS HIDRÁULICOS), en lo que respecta a la Resistencia a la Compresión (MPa).

Conclusiones

Se concluye que las fibras naturales obtenidas de los residuos de caña de azúcar son agregados no convencional ecológicos, que se pueden considerar dentro del campo de la ingeniería civil en el sector de la construcción, al contribuir una mejor respuesta mecánica del hormigón al estar sometido a esfuerzos de compresión directa.

Es indiscutible la excelente relación calidad precio obtenida con el uso de la fibra natural de caña de azúcar como refuerzo del hormigón. No obstante, se debe recordar que estas fibras están expuestas a procesos de descomposición, razón por la cual se requieren identificar métodos correctos para proteger la fibra natural de la alcalinidad del cemento.

Si bien es cierto que las fibras aumentan la resistencia a esfuerzos en el hormigón, no hay que olvidar que ese no es el único parámetro a considerar en la construcción de obras civiles, razón por la cual el presente estudio es la pauta para profundizar la investigación hacia el uso de fibras naturales como lo sugieren diversos autores y generar alternativas de materiales como refuerzos estructurales.

Referencias Bibliográficas

- ASTM. (2015). *Normativa ASTM C39: Método de prueba estándar para resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón*.
- Cook, D. J. (1980). *Concrete and cement composites reinforced with natural fibres*. London: Lancaster: Construction Press.
- Espinoza, M. (2015). *Comportamiento Mecánico del Concreto Reforzado con Fibras de Bagazo de Caña de Azúcar*. Cuenca.
- Gram, H. (1983). *Durability of natural fabrics in concrete*. Stockholm: Research Institute.
- Holcim S.A. (2015). *Elaboración de hormigón con cemento Holcim*. Guayaquil.
- INEN. (2015). *Normativa INEN 1855-2: Hormigones. Hormigones en obra. Requisitos*. Quito.
- Jiménez, S., & Ochoa, S. (2014). *Reutilización del bagazo de caña de azúcar, en la elaboración de tableros y su aplicación de paredes, pisos y cielos falsos*. Loja: Universidad Técnica Particular de Loja.
- Lewis, G. &. (1979). Natural Vegetable Fibres as Reinforcement in Cement Sheets. *Magazine of Concrete Research*, 31(107), 104-108.
- Saraz, J., Aristizabal, F., & Mejía, J. (2007). Azúcar Mechanical Behavior of the Concrete Reinforced With Sugar Cane Bagasse Fibers. *Dyna*, 74(153), 69-79.
- Sobastano, H. (1982). *Transition zone of hardened cement paste vegetable fibre*. In *Fibre reinforced cement and concrete*. London.
- Espinoza, M. (2015). Comportamiento Mecánico del Concreto Reforzado con Fibras de Bagazo de Caña de Azúcar. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=sih&AN=SN091317&site=ehost-live>
- Seabrook, P. T., Balck, L. F., Bawa, K. S., Bortz, S. A., Chynoweth, G. L., Crom, T. R., ... Litvin, A. (1984). State of the Art Report on Fiber Reinforced Shotcrete. In *Concrete International* (Vol. 6).