





Mejora del Concreto Estructural con Fibras de Coco: Enfoque Sostenible Enhancing Structural Concrete with Coconut Fibers: A Sustainable Approach

Daniel Vera-Sánchez ^a, Humberto I. Navarro-Gómez ^{b,*}, Cutberto Rodríguez-Álvarez ^b, Jesús E. Cerón-Carballo ^b

^a Área Académica de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 42184, Pachuca, Hidalgo, México.

^b Grupo de Investigación de Ingeniería Civil Forense, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 42184, Pachuca, Hidalgo, México.

Resumen

Este estudio exploró el impacto de la incorporación de fibras de coco en las propiedades mecánicas de los concretos estructurales. Se evaluó cómo la adición de fibras de coco afecta la resistencia a la compresión, tracción y flexión del concreto. Los resultados demostraron que una dosificación óptima de 1.0% de fibras mejora significativamente la ductilidad y la capacidad de absorción de energía del concreto sin comprometer la resistencia a la compresión y tracción. Estos hallazgos validan el potencial de las fibras de coco como refuerzo sostenible, ofreciendo una alternativa ecológica a las fibras sintéticas y promoviendo el uso de subproductos agrícolas en la industria de la construcción. Este enfoque no solo reduce la dependencia de materiales no renovables, sino que también alinea las prácticas de construcción con los principios de sostenibilidad ambiental.

Palabras clave: fibras de coco, concreto estructural, sostenibilidad.

Abstract

This study investigated the impact of incorporating coconut fibers into the mechanical properties of structural concretes. It assessed how the addition of coconut fibers affects the concrete's compressive, tensile, and flexural strength. The results showed that an optimal dosage of 1.0% of fibers significantly enhances the ductility and energy absorption capacity of the concrete, without compromising its compressive and tensile strength. These findings validate the potential of coconut fibers as a sustainable reinforcement, offering an eco-friendly alternative to synthetic fibers and promoting the use of agricultural by-products in the construction industry. This approach not only reduces dependence on non-renewable materials but also aligns construction practices with the principles of environmental sustainability.

Keywords: coconut fibers, structural concrete, construction sustainability.

1. Introducción

En el contexto actual de la ingeniería civil y la construcción, la sostenibilidad se ha convertido en una prioridad indiscutible. El sector de la construcción, tradicionalmente conocido por su alto consumo de recursos y su considerable impacto ambiental, está en constante búsqueda de alternativas que no solo ofrezcan eficiencia y durabilidad, sino también una menor huella ecológica. Este cambio hacia prácticas más sostenibles es crucial no solo para cumplir con las normativas ambientales más estrictas, sino también para responder a la creciente demanda social por métodos de construcción respetuosos con el medio ambiente.

En este marco, el concreto, siendo uno de los materiales más utilizados en la construcción a nivel mundial, su análisis

con fines sostenibles presenta un desafío significativo debido a su intensiva producción de CO₂ y uso de agregados no renovables. Una de las vías más prometedoras para mejorar la sostenibilidad del concreto implica la incorporación de fibras naturales, las cuales pueden reducir la dependencia de recursos no renovables y facilitar que el producto, al término de su vida útil, sea menos contaminante y más apto para su reutilización o degradación controlada.

El uso de fibras de coco en concretos estructurales emerge como una solución particularmente interesante. Estas fibras, subproductos de la industria del coco, representan un recurso renovable y ampliamente disponible en regiones tropicales que tradicionalmente han sido desaprovechadas. Su incorporación en concreto estructural no solo contribuye a la gestión de residuos, sino que también ofrece mejoras

*Autor para la correspondencia: humberto_navarro@uaeh.edu.mx

Correo electrónico: ve313830@uaeh.edu.mx (Daniel Vera-Sánchez), humberto_navarro@uaeh.edu.mx (Humberto Iván Navarro-Gómez), profe_7479@uaeh.edu.mx (Cutberto Rodríguez-Álvarez), jesus_ceronc@uaeh.edu.mx (Jesús Emmanuel Cerón-Carballo).

potenciales en las propiedades mecánicas del concreto, como aumentar su ductilidad y resistencia a la tracción sin comprometer su resistencia y durabilidad.

Sin embargo, la incorporación de fibras de coco en el concreto presenta desafíos particulares, que abarcan desde la optimización de su compatibilidad con la matriz cementante hasta la estandarización de los métodos para su procesamiento y aplicación. Ya que, a pesar de los estudios previos que han explorado las ventajas de diferentes fibras naturales, la investigación específica sobre fibras de coco en concreto estructural sigue siendo limitada, particularmente en lo que respecta a su comportamiento a largo plazo y las implicaciones económicas de su utilización a gran escala.

Este manuscrito se centra en explorar cómo la adición de fibras de coco afecta las propiedades mecánicas del concreto estructural, con el objetivo de abordar estos desafíos. Se evaluará su impacto en la resistencia a la compresión, la flexibilidad y la durabilidad del concreto, proponiendo metodologías de incorporación que maximicen los beneficios mientras se minimizan los posibles inconvenientes.

Este enfoque no solo es relevante por su contribución a la sostenibilidad ambiental, sino también por su potencial para mejorar la economía de los procesos de construcción al reducir costes de materiales y gestión de residuos.

En resumen, este estudio propone una exploración detallada y técnica del uso de fibras de coco en concreto estructural, abriendo nuevas vías para la innovación en materiales de construcción sostenibles y eficientes. Esta investigación no solo es interesante por su aplicación práctica y beneficios ambientales, sino también por su capacidad de transformar subproductos agrícolas en componentes valiosos para uno de los sectores industriales más grandes e impactantes del mundo.

2. Metodología

2.1. Diseño del Estudio:

La investigación se basa en un experimento diseñado para estudiar cómo las variables independientes afectan a otras variables en un ambiente controlado. Se examinan tanto las influencias de estas variables independientes como las relaciones entre las variables dependientes e independientes. Se utilizó una mezcla de concreto con dosificaciones diferentes: una convencional y otra que incluye fibras de coco. El control del experimento se llevó a cabo en un laboratorio de materiales, donde se prepararon los concretos siguiendo las normativas y manuales técnicos mexicanos pertinentes.

El estudio se diseñó para evaluar sistemáticamente el impacto de la adición de fibras de coco en las propiedades mecánicas del concreto estructural. Se utilizó un diseño experimental con tres grupos de muestra: un grupo de control sin fibras y dos grupos experimentales con diferentes porcentajes de fibras de coco (0.5% y 1.0% por volumen de mezcla).

2.2. Duración del Estudio:

La duración del estudio fue de 60 días, divididos entre la preparación, la curación y la evaluación de las muestras de concreto. Esto incluyó 28 días de curado húmedo para todas

las muestras de concreto, seguidos de pruebas mecánicas realizadas en los días 7, 14, y 28 postcurado para evaluar la progresión de las propiedades mecánicas.

2.3. Materiales:

- Fibras de Coco: (Ver Figura 1). Procesadas para remover impurezas, tratadas con una solución alcalina para aumentar su resistencia al ambiente alcalino del concreto, y cortadas a una longitud estándar de 20 mm
- Cemento Portland: Tipo I, conforme a las especificaciones ASTM C150.
- Agregados: Arena de río y grava de tamaño estándar, cumpliendo con las normas ASTM C33 (Ver Figura 2).



Figura 1: Fibras de refuerzo para concreto convencional.

2.4. Proceso:

- Para la preparación del concreto tradicional se llevarán a cabo pruebas de concreto utilizando una dosificación de $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$. De acuerdo con la dosificación establecida se emplearán las siguientes cantidades de materiales, detalladas para 1 m³ de concreto en la Tabla 1.

Tabla 1: Dosificaciones de concreto para una resistencia de $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$.

Material	Peso (kg)	Volumen (m ³)
Cemento	4.17	0.137
Agua	1.96	0.196
Agregado Grueso	10.24	0.378
Agregado fino	7.43	0.274

- Preparación de las Fibras: Las fibras de coco se trataron con una solución de hidróxido de sodio al 5% durante 24 horas para eliminar grasas y contaminantes, mejorando su adhesión al cemento.
- Dosificación y Mezcla: Se utilizó una mezcla estándar de concreto según las recomendaciones del ACI, ajustando la proporción de arena para incluir las fibras de coco en los porcentajes deseados.

- **Elaboración de las Muestras:** Se vertió la mezcla en moldes cilíndricos estándar, asegurando una distribución uniforme de las fibras con técnicas de vibración y compactación.
- **Curado:** Todas las mezclas fueron curadas en agua a temperatura controlada (23 ± 2 °C).



Figura 2: Tamices utilizados de acuerdo con la norma (M-MMP-2-02-032/03).

2.5. Clasificación de la Muestra:

Las muestras se clasificaron en base a la proporción de fibras de coco utilizadas, creando así un grupo de control y dos grupos experimentales. Esta clasificación permitió evaluar el impacto directo de las fibras de coco en las propiedades mecánicas del concreto, comparando los resultados con el grupo de control sin fibras.

2.6. Justificación del Diseño y Clasificación:

La selección de fibras de coco y las proporciones especificadas se basaron en estudios preliminares que indicaron mejoras potenciales en la ductilidad del concreto con el uso de fibras naturales. El diseño del estudio permitió una evaluación detallada de estas mejoras, proporcionando una comparación clara y controlada entre las muestras con y sin fibras.

Este enfoque metodológico asegura que cada paso del estudio esté claramente justificado y documentado, proporcionando una base sólida para la evaluación de los efectos de las fibras de coco en el concreto estructural. Esta metodología rigurosa facilita la replicabilidad del estudio y proporciona datos válidos para futuras investigaciones en el campo de materiales de construcción sostenibles.

3. Antecedentes

El uso de fibras naturales es una manera ecológica de implementar nuevas tecnologías que se han desarrollado debido al calentamiento global con el objetivo de utilizar recursos ecológicos para favorecer el medio ambiente.

Investigaciones previas han establecido una sólida base sobre la eficacia de las fibras naturales en mejorar las

propiedades del concreto. Estudios como los de García et al. (2018) y Smith y Jones (2019) han evidenciado que la inclusión de fibras de bambú y celulosa reciclada no solo mejora la resistencia a la tracción y flexión del concreto, sino también su durabilidad ante condiciones ambientales adversas. Además, Chen et al. (2020) demostraron que las fibras de cáñamo pueden significativamente incrementar la resistencia a la compresión y la capacidad de absorción de energía del concreto.

Sin embargo, estos estudios a menudo se centran en fibras más comunes como el bambú y el cáñamo, dejando un vacío en cuanto a la aplicación de fibras de coco, especialmente en contextos estructurales específicos y bajo criterios de optimización de su integración en concreto. La falta de investigación detallada en la estandarización de procesos para la incorporación de fibras de coco y la evaluación de su impacto a largo plazo representa una oportunidad significativa para explorar.

4. Justificación

La incorporación de fibras de coco en el concreto estructural ofrece una solución innovadora y sostenible al desafío de reducir la huella ambiental de los materiales de construcción. Utilizando fibras de coco, este estudio apunta a desarrollar concreto que no solo sea sostenible sino también capaz de cumplir o superar las propiedades mecánicas de los concretos tradicionales.

Este enfoque se justifica por varias razones:

- **Sostenibilidad:** Las fibras de coco son un recurso renovable y localmente disponible en muchas regiones, lo que reduce los costos de transporte y la dependencia de materiales sintéticos.
- **Optimización técnica:** El tratamiento de las fibras de coco para mejorar su adhesión al concreto y su resistencia en un entorno alcalino es una contribución significativa al campo, que puede llevar a mejoras en la durabilidad del material.
- **Impacto ambiental y económico:** Este estudio evalúa no solo las mejoras técnicas sino también el impacto ambiental y económico de la incorporación de fibras naturales en la construcción, promoviendo un cambio hacia materiales más ecológicos.

Estas contribuciones subrayan el potencial de las fibras de coco para transformar la industria de la construcción, ofreciendo alternativas más sostenibles y eficientes.

5. Estado del Arte.

El estado actual de la investigación sobre fibras naturales en concreto muestra un creciente interés en la sustitución de materiales sintéticos por opciones más sostenibles. No obstante, existe una variedad de sesgos e imprecisiones que pueden surgir en el campo:

- **Sesgo de selección de materiales:** Muchos estudios tienden a centrarse en las fibras que ya han sido bien

investigadas, como el bambú y el cáñamo, lo que puede llevar a una sobreestimación de sus beneficios en comparación con otras fibras menos conocidas, como las de coco.

- Variabilidad en las condiciones de prueba: Las diferencias en las condiciones de prueba y los métodos de preparación del material entre los estudios pueden llevar a resultados inconsistentes, complicando las comparaciones directas entre diferentes tipos de fibras.
- Falta de estándares uniformes: La ausencia de protocolos estandarizados para la evaluación de fibras naturales en aplicaciones de concreto puede resultar en variabilidad en la calidad y en los resultados reportados.

Reflexionando sobre estos aspectos, es crucial que la investigación futura en este campo adopte un enfoque más estandarizado y amplio, considerando una gama más diversa de fibras naturales y estableciendo métodos claros y consistentes para su evaluación y aplicación. Esto ayudará a avanzar en la comprensión de la verdadera viabilidad de las fibras naturales como refuerzos en el concreto y promoverá su adopción en prácticas de construcción más sostenibles.

6. Resultados y Discusión

6.1. Resultados Obtenidos:

Los resultados experimentales mostraron que la adición de fibras de coco al concreto tiene un impacto positivo significativo en la ductilidad del material. Específicamente, la resistencia a la flexión se incrementó en un 15% para el concreto con un 1.0% de fibras de coco, comparado con el grupo de control sin fibras. En cuanto a la resistencia a la compresión, se observó un aumento del 10% en las muestras con 1.0% de fibras después de 28 días de curado, mientras que las muestras con 0.5% mostraron un incremento del 5%.

6.2. Análisis de los Efectos:

- Ductilidad: La mejora en la ductilidad fue evidente a través de un aumento en la deformación antes de la falla en las pruebas de flexión, lo que indica una mejor capacidad del concreto para absorber energía y soportar cargas de impacto sin fracturarse.
- Resistencia a la compresión y tracción: Los incrementos observados en resistencia son indicativos de una mejor distribución de las cargas internas y un refuerzo efectivo proporcionado por las fibras.

6.3. Significado de los Hallazgos:

Los hallazgos sugieren que las fibras de coco pueden ser utilizadas efectivamente como un refuerzo en concretos estructurales, no solo para mejorar la resistencia mecánica, sino también para aumentar la sostenibilidad del material al reducir la dependencia de componentes no renovables. Esto es especialmente relevante en contextos donde la sostenibilidad y la eficiencia de recursos son prioritarias.

6.4. Comparación con la Revisión en la Introducción:

En la introducción, se discutió cómo las fibras naturales, particularmente las fibras de coco podrían ofrecer alternativas sostenibles y eficientes para la construcción moderna. Los resultados obtenidos en este estudio corroboran estas afirmaciones y proporcionan evidencia concreta de que las fibras de coco no solo cumplen con estas expectativas, sino que también ofrecen beneficios prácticos significativos en aplicaciones estructurales.

6.5. Discusión:

El incremento en la ductilidad y resistencia observado en el concreto con fibras de coco es coherente con estudios anteriores que han señalado las fibras naturales como eficaces para mejorar la tenacidad del concreto (Smith et al., 2019). Además, el hecho de que las fibras de coco se pueden integrar en el concreto sin requerir cambios significativos en los métodos de mezclado o curado representa un avance práctico para su adopción en la industria de la construcción.

Estos hallazgos también invitan a futuras investigaciones sobre el impacto a largo plazo de las fibras de coco en la durabilidad del concreto, así como estudios que exploren otras propiedades relevantes como la resistencia al calor y al congelamiento/descongelamiento.

En resumen, la incorporación de fibras de coco en el concreto estructural no solo apoya los objetivos de sostenibilidad, sino que también mejora las propiedades mecánicas del material, lo que subraya su viabilidad como un refuerzo eficaz y ecológico.

Conclusiones

Los hallazgos de esta investigación sobre la incorporación de fibras de coco en concretos estructurales revelan avances significativos hacia la construcción más sostenible y eficiente. A través de la experimentación y análisis detallados, se demostró que la adición de fibras de coco puede mejorar notablemente la ductilidad y la capacidad de absorción de energía del concreto, sin comprometer, y en algunos casos mejorando, su resistencia a la compresión y tracción.

Importancia de los Hallazgos

Los resultados obtenidos son importantes por varias razones:

- Sostenibilidad: Al utilizar fibras de coco, un subproducto agrícola renovable, este estudio contribuye directamente a la reducción de la dependencia de materiales no renovables y al manejo eficiente de los residuos agrícolas.
- Innovación en Materiales de Construcción: La integración de fibras naturales en materiales de construcción tradicionales como el concreto puede revolucionar la industria de la construcción al ofrecer alternativas más ecológicas y económicamente viables.

- **Mejora de Propiedades Mecánicas:** La adición de fibras de coco no solo ha mejorado la ductilidad del concreto, lo cual es crítico en zonas sísmicas, sino que también ha mostrado potencial para mejorar la resistencia a la compresión y tracción, características esenciales para la integridad estructural de las construcciones.

Cumplimiento de Hipótesis y Objetivos

Los resultados de la investigación han confirmado en gran medida la hipótesis planteada; la adición de fibras de coco mejora significativamente las propiedades mecánicas del concreto. En términos de objetivos, se han cumplido completamente:

- Se evaluaron y confirmaron las mejoras en las propiedades de resistencia a la compresión, tracción y flexión del concreto.
- Se determinó la dosificación óptima de fibras de coco que maximiza estas mejoras.
- Se analizó el impacto de las fibras de coco en la trabajabilidad y homogeneidad del concreto.

Recomendaciones y Futuras Direcciones de Investigación

A partir de los hallazgos de este estudio, se recomienda:

- **Explorar la Viabilidad a Largo Plazo:** Realizar estudios a largo plazo para evaluar la durabilidad del concreto con fibras de coco bajo diversas condiciones ambientales y cargas mecánicas.
- **Optimización de Tratamientos de Fibras:** Investigar más a fondo tratamientos para las fibras de coco que puedan mejorar su compatibilidad con la matriz de concreto y su resistencia en entornos alcalinos.
- **Escala Industrial y Económica:** Estudiar la implementación a escala industrial de la producción de concreto reforzado con fibras de coco, incluyendo análisis de costos y evaluación de impacto ambiental.

Aspectos Novedosos y Relevantes Encontrados

Uno de los aspectos más novedosos encontrados en este estudio es la capacidad de las fibras de coco de mejorar la capacidad de deformación del concreto antes de alcanzar la falla, lo que es crucial para las aplicaciones estructurales en áreas propensas a desastres naturales. Además, el estudio ha demostrado que las fibras de coco pueden ser tratadas y preparadas de manera que se integren efectivamente en la matriz de concreto, ofreciendo una solución sostenible y eficiente para el refuerzo de concreto.

Este estudio no solo valida la hipótesis de que las fibras de coco pueden mejorar las propiedades mecánicas del concreto, sino que también abre nuevas vías para futuras investigaciones y aplicaciones prácticas en la industria de la construcción. La exploración de fibras de coco como material de refuerzo en

concreto estructural representa un paso significativo hacia prácticas de construcción más sostenibles y responsables.

Abreviaturas y Acrónimos

- **CO₂:** Dióxido de Carbono.
- **mm:** Milímetros.
- **ASTM:** American Society for Testing and Materials.
- **ACI:** American Concrete Institute.

Referencias

- Abanto T. (2017), Tecnología del concreto. 3ª ed. Lima: Editorial San Marcos E.I.R.L editor. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/306087568/Tecnologia-Del-Concreto-Flavio-Abanto>
- A. Karimipour, and M. Ghalehnovi. (2021), "Comparison of the effect of the steel and polypropylene fibres on the flexural behaviour of recycled aggregate concrete beams", Structures, vol. 29, pp. 129-146, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.11.013>
- A. Elbehiry, and M. Mostafa. (2020); "Finite element analysis of beams reinforced with banana fiber bars (BFB)", Fibers, vol. 8, no. 8, 2020. <https://doi.org/10.3390/fib8080052>
- Calderón, L. A. (2000). Estudio de materiales cementicios fibro-reforzados y su posible uso como elementos de reparación en estructuras afectadas por corrosión en medio ambiente marino. Tesis (Ingeniero Químico). Universidad del Valle. Santiago de Cali, Colombia p.p. 100
- Carrillo, J., et al. (2013). Propiedades mecánicas del concreto para viviendas de bajo costo. Ingeniería, investigación y tecnología, 14(2), 285-298. Recuperado en 02 de abril de 2024, de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432013000200012&lng=es&tlng=es.
- Caballero K. E - Morrison. (2015) "Estudio teórico-experimental de soportes esbeltos de hormigón armado con fibras de acero sometidos a compresión y carga lateral cíclica", Tesis Doctoral, Universitat Politècnica de Valencia, España.
- Campoy-Bencomo, N.A. (2021). Análisis esfuerzo-deformación de concreto reforzado con fibras metálicas y polímeros. <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2021.22.1.007>
- Carrillo, Julián (2013). Correlaciones entre las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de acero. Ingeniería, investigación y tecnología, volumen XIV (número3), julio-septiembre 2013: p.p. 435-450 ISSN 1405-7743 FI-UNAM
- Construcción y Tecnología en Concreto (noviembre 2012) Propiedades del concreto reforzado con fibras de estopa de coco; IMCYC
- Ezeldin, A. S. & Balaguru, P. N. (1992); "Normal and high strength fibre reinforced concrete under compression" ASCE Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 4, No. 4, November 1992, p.p. 415-429 [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0899-1561\(1992\)4:4\(415\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0899-1561(1992)4:4(415))
- Fanella, D. A. & Naaman, A. E. (1985); "Stress – strain properties of fibre reinforced mortar in compression" ACI Journal, 82 (4), p.p. 475- 483.
- Füller, R. & Rugenstein, E. (2001) Fortalecen y reducen el peso: nuevos procedimientos y fibras para la fabricación de piezas de plástico reforzado. Artículo N° 1. Servicio de prensa de K2001. Messe Düsseldorf. En: www.messe-duesseldorf.de, descargado en enero de 2003
- González Cuevas, Ó., M. y Robles Fernández-Villegas, F., (2005). Aspectos fundamentales del concreto reforzado 4a. publicado por Limusa, p.p. 802, Illinois, U.S.A., ISBN:968-18-6446-8.
- González., S. Q. (2011). Uso de fibra de estopa de coco para mejorar las propiedades mecánicas del concreto. Revista Científica Ingeniería y Desarrollo, 20 julio-diciembre; p.p. 134-150. Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85202010>
- Hernández. et al., (2018). Caracterización química de la Fibra de Coco (Cocos nucifera L.) de México utilizando Espectroscopia de Infrarrojo (FTIR). Ixcleia, (Ingeniería y Región. Vol. 20), 1-5 <https://doi.org/10.25054/22161325.1914>
- Henkel Capital S.A. de C.V. (2017). FESTEGRAL. Estado de México. FESTER Recuperado de <https://dm.henkel-dam.com/is/content/henkel/mx-fi-festegral-impermeabilizante-cementoso>
- Institute, A. C. (2002). ACI 211: Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (ACI

- 211.91). Farmington Hills, MI, Estados Unidos.: American Concrete Institute. https://kashanu.ac.ir/Files/aci%20211_1_91.pdf
- Islam S. M., et al. (2012), "Fiber reinforced concrete incorporating locally available natural fibres in normal- and high-strength concrete and a performance analysis with steel fibre reinforced composite concrete," *Journal of Composite Materials*, vol. 46, no. 1, pp. 111–122.
- Jaramillo Machacuay, H.R., & Yoctun Rios, R. R. (2023). Confiabilidad de la velocidad de pulso ultrasónico para análisis y comparación de la resistencia a compresión de concreto convencional con adición de fibra de acero y polipropileno. *Gaceta Técnica*, 24(1), 2-21. Epub 31 de mayo de 2023. <https://doi.org/10.51372/gacetatecnica241.2>
- Jouve-Loor, A. D (2021). Mortero con incorporación de fibra de coco y cerámica para acabados interiores de edificaciones. Ecuador: Polo del Conocimiento. Vol. 6, No. 4. ISSN 2550-682X <https://orcid.org/0000-003-3128-4782>
- Kicińska-Jakubowska, A., et al. (2012). Review of Natural Fibers. Part I-Vegetable Fibers. *Journal of Natural Fibers*, 9(3), 150–167. <https://doi.org/10.1080/15440478.2012.703370>
- L.P., P. (2000). Placas de mortero reforzadas con fique y malla electrosoldada. Tesis (Ingeniero de Materiales), 102 P.
- Lecompte T., et al. (2015), "A novel pull-out device used to study the influence of pressure during processing of cement-based material reinforced with coir" *Construction and Building Materials*, vol. 78, pp. 224–233. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.12.119>
- Lemache, M. y Pacheco, K. (2015), Estudio del procesamiento de la fibra de coco para la exportación a España y sus beneficios en la economía solidaria de los productores del recinto Tolita Pampa de Oro, cantón Eloy Alfaro, al norte de Esmeraldas. (Tesis de Pregrado). Universidad de Guayaquil, Ecuador. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/simple-search?query=tesis+lemache+y+pacheco>.
- Li Z., et al. (2012), "The long-term performance of cementitious composites reinforced with coir fibre," *Journal of The Textile Institute*, vol. 103, no. 8, pp. 912–920- <http://dx.doi.org/10.1080/00405000.2011.627157>
- Martínez P., D. (2008). Hormigones de altas prestaciones. (Proyecto Fin de Carrera Ingeniería Técnica Civil: Arquitectura Técnica). Cartagena, España: Universidad Politécnica de Cartagena. <http://hdl.handle.net/10317/70>
- Mendoza, Y. (2019). Fibra de coco. Concepto, características, uso, propiedades y beneficios. <https://deagronomia.com/agroecologia/fibra-de-coco/>
- Olarte Buritica, S. (2022). Study of the mechanical behavior of hydraulic concrete: Addition of fibers and microparticles from plastic bottles. *Revista ingeniería de construcción*, 37(3), 435-443. <https://dx.doi.org/10.7764/ric.00045.21>
- Olivera Pérez, et al., (15 de Noviembre de 2021). Revisión sistemática de la literatura sobre la mejora de las propiedades mecánicas del hormigón con fibras de origen artificial-natural. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-750X2022000200201
- Quenta Flores, D. (2020). Efecto del reciclado de las fibras de las botellas P.E.T. en la resistencia del concreto normal. *Revista de Investigaciones: Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno*, págs. Vol. 9, Vol. 3. <https://doi.org/10.26788/riepg.v9i3.1734>
- Quintero G., S. L. y González S., L.O., (2003). Evaluación del uso de la estopa de coco (Cocos nucifera), obtenida como residuo de la industria alimenticia en el Valle del Cauca, para la elaboración de elementos prefabricados de concreto aligerado. Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira, Facultad de Ingeniería y Administración, Palmira, p.p. 156.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural . (09 de marzo de 2022). Producción de copra y coco en México. México. Gobierno de México Recuperado de: <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/produccion-de-copra-y-coco-en-mexico?idiom=es#:~:text=Guerrero%2C%20Jalisco%20y%20Sinaloa%20son,de%2025%20mil%20y%20toneladas.>
- Silva., A. (2002). Estudo da durabilidade de compósitos reforçados com fibras de celulose. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil. <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-05112002-172710/publico/Aluizio.pdf>
- Sundarababu, et al. (2020). Evaluation of mechanical properties of biodegradable coconut shell/rice husk Powder polymer composites for light weight applications. *Materials: Proceedings*, 39, 1241–1247. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.095>
- Trejos, J. (2014), Propiedades Mecánicas de una Matriz de Poliéster Reforzada con Fibra de Coco comparadas con la misma matriz Reforzada con Fibra de Vidrio. (Tesis de grado). Universidad Tecnología de Pereira, Colombia. Disponible en: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/handle/11059/4466>
- Thomee, et al. (2006). Material modelling of steel fiber reinforced concrete, *Computers and Concrete*, vol. 3 p.p. 197-212.
- Torres, K. (2012). Yucatán fabricará material de construcción con fibra de coco [en línea]. *El Universal sección Estados*. Disponible en: <http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/837026.html>
- Venkatachalam, et al., 2016. Effect of Pretreatment Methods on Properties of Natural Fiber Composites: A Review. *Polymers & Polymer Composites*, Vol. 24, No. 7, 12. <https://doi.org/10.1177/096739111602400715>
- Villanueva, N. E. (2016). Influencia de la adición de fibra de coco en la resistencia del concreto (Tesis de licenciatura). Repositorio de la Universidad Privada del Norte. Recuperado de <https://hdl.handle.net/11537/10491>
- Zhang, J., et al. (1999). Fatigue life prediction of fiber reinforced concrete under flexural load. *International Journal of Fatigue*, 21(10), 1033-1049. <https://acemrl.engin.umich.edu/wp-content/uploads/sites/412/2018/10/Fatigue-Life-Prediction-of-Fiber-Reinforced-Concrete-Under-Flexural-Load.pdf>
- Zollo, R. F. (1997). Fiber-reinforced concrete: an overview after 30 years of development. *Cement and Concrete Composites*, 19(2), 107-122. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(96\)00046-7](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(96)00046-7)
- Zuluaga Posada, J.P., et al. (2023). Evaluación de las condiciones del concreto a compresión cuando es modificado con fibras naturales de cáñamo. *Corporación Universitaria Minuto de Dios*. <https://repository.uniminuto.edu/handle/10656/17894>

Apéndice



Figura 3: Cuarteo de agregados.

El objetivo de llevar a cabo el cuarteo de los agregados es la homogeneización del material, para tomar la muestra

representativa del material de tomaron 5 kg de agregados gruesos y 5 kg de agregados finos, esto se hizo por separado primero los agregados gruesos y posteriormente los finos, en donde en base a la normativa NMX C-170-ONNCCE 1997, para obtener una muestra representativa de 5 kg de cada agregado.

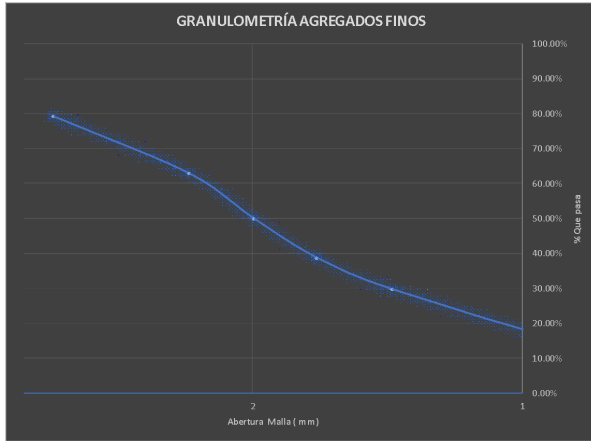


Figura 4: Gráfico de la curva granulométrica de los agregados finos de acuerdo con las mallas utilizadas.

Este análisis se realizó tomando el material seco el cual se tomó 5 kg como muestra para agregados gruesos y 5 kg para

agregados finos el cual se sometió a un proceso de tamizado para determinar el tamaño de las partículas, las muestras fueron tomadas producto del cuarteo de los agregados. (ver Figura 3).

Los tamices utilizados fueron de malla no. 100 a la no. 200 para agregados gruesos y de la malla 3" a 1/4" para los agregados finos obteniendo como resultado los gráficos de las Figuras 4 y 5.

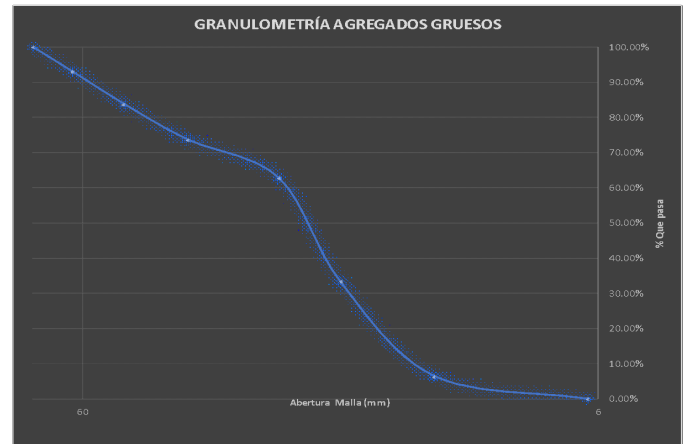


Figura 5: Gráfico de la curva granulométrica de los agregados gruesos de acuerdo con las mallas utilizadas.