

Lime blocks with coconut fibers for the construction of non-structural elements of ecological homes

Rafael Oscar Crispin Vilca¹; Joseph Paul Linaja Ayala²; Gilmer Chalco Mamani³

^{1,2,3}Universidad Tecnológica del Perú, Perú, u19215555@utp.edu.pe, c28403@utp.edu.pe, c23404@utp.edu.pe

Abstract– *The objective of this research is to determine if the lime blocks with coconut fiber have adequate mechanical properties for their non-structural use, according to the E.070 standard, that is, to know if non-bearing walls can be executed using a fiber masonry unit. coconut with added lime; using organic coconut waste from the town of Aucayacu – Leoncio Prado – Huánuco; Likewise, due to the problem of population growth, it implies the need to construct homes that have non-structural elements, such as perimeter fences, leading to an increase in the acquisition of concrete blocks or clay bricks in said civil works. For this reason, the use of natural fibers of plant origin is used to produce masonry units to supply the demand. Then the optimal proportions to produce lime blocks plus the addition of coconut fiber are presented, prioritizing mainly the reuse of organic coconut waste. Finally, the classification of masonry units is defined according to regulation E.070, complying with the physical and mechanical characteristics as a block for non-structural purposes.*

Keywords– *coconut fiber, lime block and ecological housing.*

Bloques de cal con fibras de coco para la construcción de elementos no estructurales de viviendas ecológicas

Rafael Oscar Crispin Vilca¹; Joseph Paul Linaja Ayala²; Gilmer Chalco Mamani³

^{1,2,3}Universidad Tecnológica del Perú, Perú, u19215555@utp.edu.pe, c28403@utp.edu.pe, c23404@utp.edu.pe

Resumen— La presente investigación tiene como objetivo determinar si los bloques de cal con fibra de coco poseen adecuadas propiedades mecánicas para su uso no estructural, según la norma E.070, es decir, conocer si se puede ejecutar muros no portantes empleando unidad de albañilería de fibras de coco con adición de cal; utilizando los residuos orgánico del coco de la localidad de Aucayacu – Leoncio Prado – Huánuco; asimismo, debido a la problemática de crecimiento poblacional implica la necesidad de construcción de viviendas que tienen elementos no estructurales, como los cercos perimétricos, conllevando a un incremento de adquisición de los bloques de concreto o ladrillos de arcilla en dichas obras civiles. Es por ello, la utilización de fibras naturales de origen vegetal, para la producción de unidades de albañilería con el fin de abastecer la demanda. Asimismo, luego se presenta las proporciones óptimas para la dosificación de los bloques de cal más la adición de fibra de coco, priorizando principalmente, la reutilización de los residuos orgánicos del coco. Finalmente, se define su clasificación a las unidades de albañilería de acuerdo a la normativa E.070, cumpliéndose con las características físicas y mecánicas como bloque para fines no estructurales.

Palabras clave—fibra de coco, bloque de cal y vivienda ecológica.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, los residuos orgánicos de la fruta del coco en el distrito de Aucayacu, ha venido aumentando en grandes cantidades debido al liquido hidratante de su producto y otros usos industriales como son su aplicación en la cocina, salud y cosmetología, que generan consigo la acumulación desmedida de estos residuos orgánicos de la fruta del coco y su posterior reutilización en la industria [1].

Por otra parte, el sector de la construcción de edificaciones y/o obras generales, presenta actualmente una contaminación desmedida en la fabricación de los materiales y productos constructivos, asimismo a esto se le suma el crecimiento y desarrollo poblacional – económico que busca la mejora constante en la construcción ecosostenible de sus viviendas propias, es por ello la necesidad de maximizar los recursos en las materias primas en las construcciones de hoy en día [2].

Asimismo, mencionar que en la actualidad los países en globalización emplean las fibras naturales para incrementar y optimizar las propiedades de los materiales de construcción como son las bloquetas, bloques, ladrillos, etc.), necesarios para una construcción sostenible [3].

Por lo tanto, el presente trabajo de investigación presenta la utilización de los residuos orgánicos para la fabricación de bloques de fibra de coco y resina de pan de árbol, para su empleo en muros no estructurales según la normativa E.070 de Albañilería, la NTP 399.613 (UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Métodos de muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañilería) [4] y la NTP 399.605 (UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Método de ensayo para la determinación de la resistencia en compresión de prismas de albañilería) [5].

Asimismo, de acuerdo con el Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento [6], la producción y comercialización de bloques constructivos elaborados con materiales básicos como arcilla, hormigón, y/o sílice-cal, deben ajustarse a las pruebas técnicas correspondientes de unidades de albañilería.

En consecuencia, dada la proliferación de desperdicios derivados del coco, se propone llevar a cabo su evaluación físico mecánica, reemplazando el uso del agregado mineral y/o la arcilla in situ, así como del hormigón convencional, mediante la incorporación de cal viva y resina proveniente del pan de árbol. Este proceso permitirá analizar la repercusión de sustituir las materias primas tradicionales por los subproductos orgánicos del coco sobre las características físicas y mecánicas de los bloques de muestra, con la intención de desarrollar unidades constructivas que sean ecológicas y ambientalmente sostenibles. De igual forma, se busca eliminar la necesidad de emplear hornos tanto artesanales como industriales para su proceso de fabricación y secado a altas temperaturas, apuntando a su clasificación como material no estructural de acuerdo con la normativa E.070 [6], específicamente dentro de la categoría de bloques tipo I.

Por otro lado, su uso y aplicación del residuo orgánico del coco como material para la construcción es casi inexistente, estos terminan como desperdicio o quemados al aire libre, aumentando el nivel de contaminación al medio ambiente. Es así que en el presente estudio se busca una alternativa de material ecosostenible para la aplicación de las fibras de coco, en la producción de bloquetas para fines no estructurales según la norma E070 [7], utilizando aglutinantes como la cal viva y la resina del pan de árbol del distrito de Aucayacu, considerando que la población en mención dispone de los elementos base para la creación de los bloques con fibras de coco a bajo costo.

Cabe precisar que la planta cocotera (*Cocos nucifera*) cosecha de la fruta del coco, presenta en su membrana externa la composición de materia fibrosa, consiguiendo la proporción del 30% del peso total del coco, asimismo, debido a sus características físicas y mecánicas hace que este sea un material alternativo en el reemplazo de las fibras sintéticas, con resistencia a la tracción que depende del grosor de la fibra, cuyo módulo elástico medio es de 1.83 GPa. Las mencionadas fibras tienen un grosor de 0.3 mm y su bajo porcentaje de celulosa es de 46.5%, de igual forma, el porcentaje de celulosa en su composición reduce el esfuerzo a la tracción de estas fibras [8].

Finalmente, el comportamiento particular en la intensificación de fibras de coco durante la confección de los bloques constructivos con adición de fibra de coco evidenció un incremento del 15% en su resistencia a la fractura en comparación con el hormigón tradicional [9].

II. METODOLOGÍA

A. Proporciones de diseño de mezcla

Las muestras para el presente estudio de bloques de fibra de coco a emplear con la mezcla de cal y resina, es la cantidad de 135 unidades en total, de las cuales 45 unidades serán especímenes de bloques con fibra de coco con adición de cal en proporción 4:3:1 (cal, fibra de coco, agua) y 45 unidades serán especímenes de bloques con fibra de coco con adición de cal en proporción 2:1.5:1. Las dos proporciones indicadas se determinaron luego de ensayos previos con relación 2:4:1 y 2:2:1, de cuyos resultados se advirtió que las unidades de albañilería no eran consistentes, es decir se desmoronaban con la presión de las manos.

Tabla I

CANTIDAD DE ENSAYOS EN UNIDADES DE ALBAÑILERÍA PARA LOS BLOQUES DE FIBRA DE COCO			
Ensayos	Cantidad de especímenes		Total
	2:1.5:1	4:3:1	
Variación dimensional	10	10	20
Alabeo	10	10	20
Absorción	5	5	10
Resistencia a compresión de unidad	5	5	10
Resistencia en compresión de prismas	15	15	30
Total de unidades de ladrillos			90

De la tabla anterior, se indica el total de muestras y los ensayos necesarios de unidades de albañilería para dos proporciones de cal, fibras de coco y agua. En la sección III se compara los resultados obtenidos para cada ensayo descrito en la tabla I con respecto a los valores mínimos establecidos en la Norma E.070 [7], la NTP 399.613 [4] y la NTP 399.605 [5].

Cabe precisar que no se realizaron las probetas proyectadas de resina con fibra de coco, debido a que las primeras pruebas demostraron que estas no cuentan con resistencia suficiente en su estado endurecido.

B. Materiales y Procedimiento

Paso 1: Elaboración del molde

Las dimensiones de la unidad de albañilería, según el ladrillo convencional tienen una longitud de 23.5 cm, un ancho de 12.5 cm y una altura de 9 cm, asimismo, el molde fue elaborado con material y planchas de metal de acuerdo a la Fig. 1.



Fig. 1 - Molde metálico de bloque prefabricado

Paso 2: Habilitación de las materias primas e insumos.

Se realizó la obtención de los residuos de fibra de coco, resina y la adquisición de la cal viva, asimismo, se procedió a extraer y acumular la fibra de coco con longitudes de hasta 5.0 cm para las proporciones del ensayo, ver Fig. 2. Luego se realizó la extracción, acumulación, limpieza y desinfección de las fibras de coco según la Fig. 3.



Fig. 2 - Extracción y acumulación de las fibras de coco



Fig. 3 - Limpieza y desinfección de las fibras de coco

Paso 3: Proporciones de mezcla

Se realiza las proporciones de mezcla de fibra de coco con adición de cal viva y resina, de acuerdo con lo siguiente:

Tabla II
DOSIFICACION DE MATERIAS PRIMAS EN PESO PARA UN BLOQUE DE FIBRA DE COCO

Proporción	Cal viva (kgf)	Resina de árbol (kgf)	Agua (kgf)	Fibra de coco (kgf)
4: 3: 1	1.80	-	1.35	0.45
2: 1.5: 1	0.90	-	0.67	0.40
1: 2: 1	-	0.45	0.90	0.45
0.5: 1.5: 1	-	0.22	0.67	0.40

De la tabla anterior, se indica las proporciones para el diseño de un bloque de fibra de coco, a fin de cumplir con los ensayos de unidad de albañilería de la norma E.070 [7], la NTP 399.613 (UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Métodos de muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañilería) [4] y la NTP 399.605 (UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Método de ensayo para la determinación de la resistencia en compresión de prismas de albañilería) [5].

Posteriormente, se realizó el mezclado y moldeado de la proporción de cal viva + fibra de coco + agua; y la proporción resina + fibra de coco + agua, con el empleo de un mezclador mecánico (según proporciones de tabla 2), ver Fig. 4 y 5.



Fig. 4 - Empleo de mezclador mecánico con mezcla con cal viva



Fig. 5 - Empleo de mezclador mecánico con mezcla con resina

Paso 4: Secado de moldes de bloques de fibras de coco

Asimismo, se colocaron los bloques a la intemperie del sol por un plazo de 14 días, para su máximo fraguado, ver Fig. 6 y 7.



Fig. 6 - Bloques de fibra de coco más adición de cal viva, en su proceso de secado a la intemperie.



Fig. 7 - Bloques de fibra de coco más adición de resina, en su proceso de secado a la intemperie.

III. DISCUSION DE RESULTADOS

Para la proporción de fibra de coco más adición de resina de árbol, se observó que posterior a su etapa de formación del sólido en ambas proporciones, estos bloques carecían de resistencia a su compresión, es decir, tenían la forma del molde, pero su composición y dureza era frágil, ver Fig. 8, por lo tanto, no cumplían como muestras aptas para la aplicación de los

respectivos ensayos de unidad de albañilería, según la clasificación de la norma E.070 [7].



Fig. 8 - Carencia de resistencia para la aplicación de ensayos mecánicos en los bloques de fibra de coco más adición de resina.

Sin embargo, para la proporción de fibra de coco más adición de cal viva, se desarrollaron los ensayos de unidad de albañilería, de variación dimensional, determinación del alabeo, determinación de la absorción, resistencia a compresión axial en unidad y resistencia a compresión de pilas de albañilería.

Por tanto, los resultados de la variabilidad dimensional de los bloques de fibra de coco más adición de cal, indican que el promedio en largo, ancho y alto es menor para la proporción con 4: 3: 1 de fibras de coco más cal con 0.37%, y es mayor para la proporción 2: 1.5: 1 de fibras de coco más cal con 0.62%.

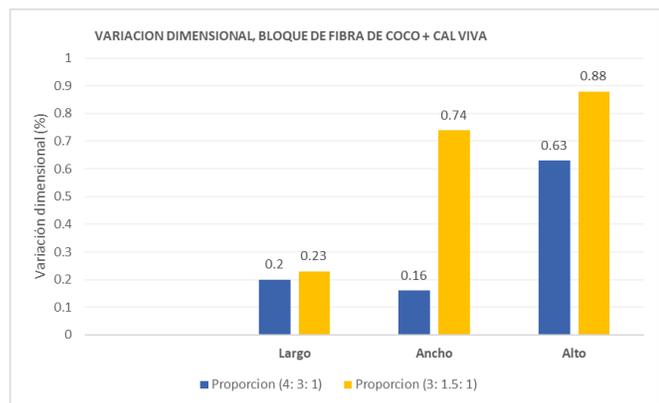


Fig. 9: Grafico de Variación Dimensional, Bloques de Fibra de Coco + Cal Viva

Se observa que en ambas proporciones de unidades de albañilería de (4: 3: 1) y (2: 1.5: 1) de fibra de coco más cal viva ver Fig. 9, cumplen su clasificación según con la norma E.070 [7], debido a que no superan el 1% de variación dimensional, de igual forma se indica que, para las unidades de albañilería de tipo I, su variación no deben ser mayor al 4.00%, por tanto, los resultados lo clasifican para un tipo V, con variación no mayor al 2%. Por lo tanto, se puede sostener que la utilización de las fibras de coco en la mezcla con cal viva no genera la variación en sus medidas finales de los bloques de fibra de coco, sin embargo, mencionar que estas mínimas diferencias de (mm) son debido al proceso artesanal en su producción.

Asimismo, los resultados de la determinación del alabeo de los bloques de fibra de coco más adición de cal, indican que la concavidad y convexidad superior e inferior es mayor en la proporción 2: 1.5: 1, con un promedio de 0.41 mm, frente a la proporción 4: 3: 1, con un promedio de 0.34 mm.

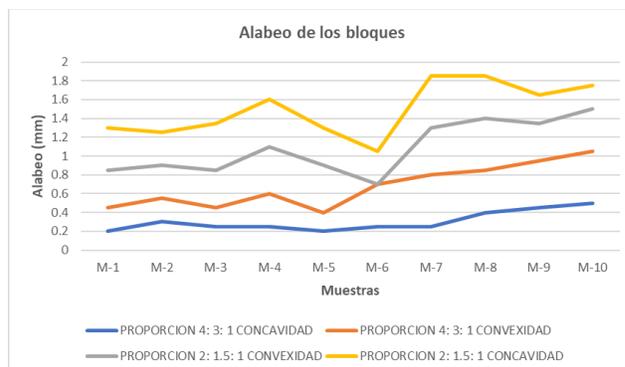


Fig. 10: Grafico de Alabeo, Bloques de Fibra de Coco + Cal Viva, convexidad y concavidad

Asimismo, se observa en la Fig. 10, los resultados de la concavidad de las unidades de albañilería de los bloques de fibra de coco más adición de cal viva en ambas proporciones oscilando entre 1% a 2%, y la convexidad en ambas proporciones oscila entre 1% a 1.6%.

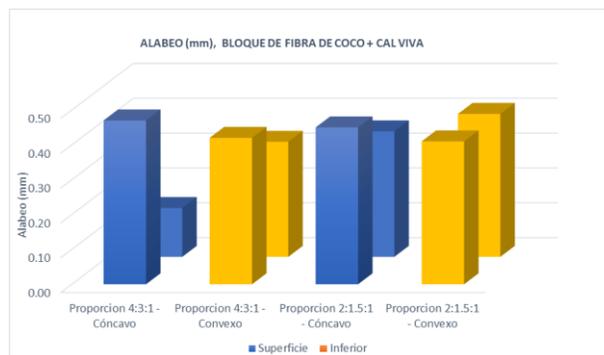


Fig. 11: Grafico de Alabeo, Bloques de Fibra de Coco + Cal Viva, convexidad y concavidad

De igual forma, se observa en la Fig. 11, el valor máximo en la concavidad de las unidades de ambas proporciones de los bloques de fibra de coco más adición de la cal viva es 0.47 mm, mientras que el valor máximo en la convexidad de las unidades de ambas proporciones de los bloques de fibra de coco más adición de cal viva es 0.42 mm, sin embargo, todos las unidades de bloques de fibra de coco sin diferenciar su proporción cumplen con la norma E.070 [7], que indica que los ladrillos tipo I, no deben exceder el valor máximo de 10 mm de alabeo por convexidad o concavidad.

Por otra parte, los resultados de la determinación de la absorción de los bloques de fibra de coco más adición de cal, indican que la absorción es mínimamente mayor en la

proporción 2: 1.5: 1, con un promedio de 22.2%, frente a la proporción 4: 3: 1, con un promedio de 21.9%.

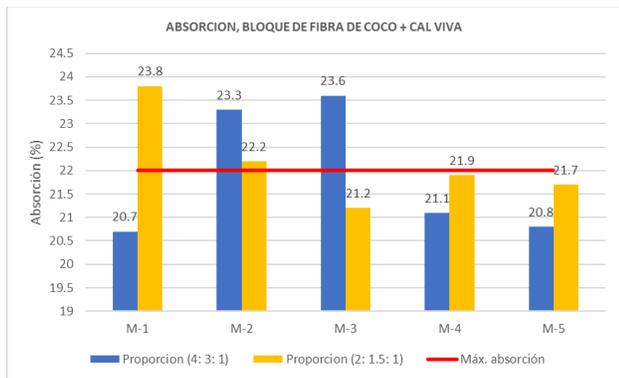


Fig. 12: Grafico de Absorción, Bloques de Fibra de Coco + Cal Viva

De igual forma, se observa en la Fig. 12, que dos muestras de la proporción (4: 3: 1), tienen porcentajes de 23.3% y 23.6%, estando sobre el límite del porcentaje de absorción del 22%, mientras que los tres restantes de 20.7%, 21.1% y 20.8% si están cumpliendo con dicho porcentaje, de acuerdo a la norma E.070 [7], mientras que la proporción (2: 1.5: 1), tienen porcentajes de 23.8% y 22.2%, que están sobre el límite del porcentaje de absorción del 22%, y asimismo, los tres restantes de 21.2%, 21.9% y 21.7% si están cumpliendo con dicho porcentaje, de acuerdo a la norma E.070 [7].

Por lo tanto, al verificar los porcentajes de absorción del total de muestras, se puede mencionar que los resultados no son concluyentes puesto que cuatro de diez exceden el porcentaje límite del 22% de absorción para unidades de arcilla y silico calcáreas, según la norma E.070, indicando que la variación del porcentaje de fibras de coco incide en la absorción del agua en los bloques lo que influiría en su durabilidad, comportamiento térmico y su resistencia a la compresión, provocando que el bloque se deteriore más rápido al estar expuesto a la humedad y al cambio de temperatura del ambiente.

Asimismo, los resultados de la resistencia a compresión en unidades de los bloques de fibra de coco más adición de la cal, indican que la reducción de la dosificación de la cal viva y fibras de coco con la proporción 2: 1.5: 1 (cal viva; fibra de coco y agua), presentan una rotura con un promedio de 41.60 kgf/cm², frente a su proporción 4: 3: 1, con un promedio de rotura de 52.10 kgf/cm².

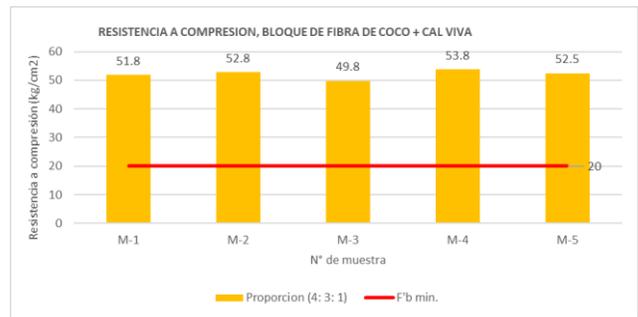


Fig. 13: – Grafica de Resistencia a compresión, Bloques de Fibra de Coco + Cal Viva, proporción (4: 3: 1)

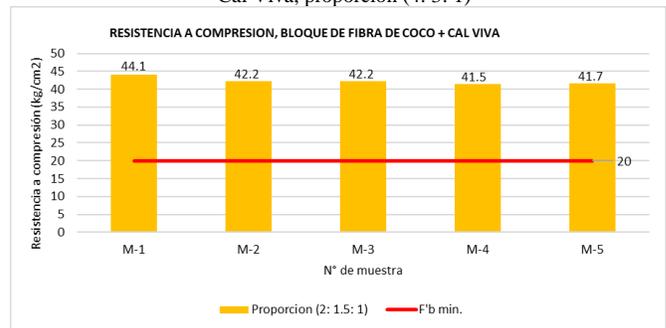


Fig. 14: Absorción, Bloques de Fibra de Coco + Cal Viva, proporción (2: 1.5: 1)

A partir de los resultados obtenidos, de acuerdo a la Fig. 13 y 14, se indica que en la proporción (4: 3: 1), se tiene una resistencia a compresión axial de unidad de albañilería de $F'b = 50.80 \text{ kgf/cm}^2$, mientras que la proporción (2: 1.5: 1), tiene una resistencia a compresión axial de unidad de albañilería de $F'b = 41.40 \text{ kgf/cm}^2$, siendo estos valores de acuerdo a la norma E.070, que indican que para clasificación de fines no estructurales la resistencia a compresión de las unidades de albañilería debe ser mayor a 20.00 kgf/cm^2 , comportándose como un muro no portante.

Por último, los resultados del ensayo de resistencia a compresión axial de los bloques de fibra de coco más adición de la cal, indica que la elaboración de pilas con los bloques en las diferentes proporciones con (4: 3: 1) y (2: 1.5: 1), se obtuvieron resistencia a compresión axial promedio de 41.70 y 38.50 kgf/cm², respectivamente.

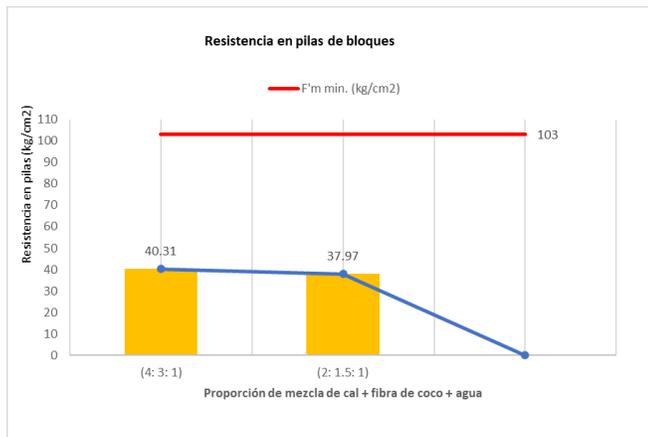


Fig. 15: Grafica de Resistencia en Pilas de Bloques de Fibra de Coco + Cal Viva

Asimismo, a partir de los resultados obtenidos, de acuerdo a la Fig. 15, se indica que en la proporción (4: 3: 1), tiene una resistencia a compresión axial de la albañilería de $F'm = 40.31 \text{ kgf/cm}^2$, mientras que la proporción (2: 1.5: 1), una resistencia a compresión axial de albañilería de $F'm = 37.97 \text{ kgf/cm}^2$, por lo tanto, el resultado de ensayo de pilas de las muestras alcanzaron la resistencia a compresión axial mínima de 35 kgf/cm^2 , según la norma E.070, [3], del anexo 03, indicado en la tabla para una resistencia mínima aplicada.

IV. CONCLUSIONES

Los bloques de cal con fibra de coco cumplen con la variación dimensional, tanto para fines no estructurales y estructurales según la norma E.070, teniendo como clasificación a un tipo V, demostrándose tener un porcentaje de variación menor al 2% en su variación de medidas.

Los bloques de cal más adición de fibra de coco cumplen con el alabeo, tanto para fines no estructurales y estructurales según la norma E.070, teniendo como clasificación a un tipo de ladrillo clase V, demostrándose tener unas mediciones en concavidad y convexidad valores menores a 1mm.

Los bloques de cal con fibra de coco muestran resultados no concluyentes en el ensayo de absorción según la norma E.070, debido a la determinación de porcentajes en su absorción indicando en dos muestras de ambas proporciones con valores de (23.3%, 23.6 y 23.8%, 22.2%), mayores al máximo del 22% según la norma E.070, deduciendo que al utilizarse mayor cantidad de agua en su proporción el grado de porosidad disminuye, asimismo, la dosificación más óptima para la elaboración de los bloques de fibra de coco es la proporción (4: 3: 1), debido a la mínima porosidad en sus lados que estos tienen en la fase de secado a la intemperie, teniéndose a tener una menor absorción de agua.

Los bloques de cal con fibra de coco cumplen con la resistencia a la compresión, según la clasificación en la norma E.070, tanto para fines estructurales con un valor promedio de 52.10 kgf/cm^2 , correspondiente a un tipo de ladrillo clase I y para fines no estructurales al ser mayor a 20 kgf/cm^2 , por consiguiente, ambas proporciones de diseño satisfacen con la resistencia mínima para fines no estructurales usados en la construcción de muros no portantes.

Los bloques de fibra de coco más adición de cal, cumplen con la resistencia a la compresión de pilas de albañilería, según la clasificación en la norma E.070, para clase tipo I a una resistencia mayor a 35 kgf/cm^2 , por tanto, teniendo resultados en el presente ensayo de compresión axial valores de 40.5 y 38.0 kgf/cm^2 , por lo tanto, cumpliéndose según la tabla del anexo 04; de la norma E.070.

Se indica que la proporción óptima para la dosificación y elaboración de los bloques de fibra de coco es (4 cal viva: 3 agua: 1 fibra de coco), debido a sus mejores resultados cumpliendo la norma E.070 y las normas técnicas peruana de unidades de albañilería.

Se sugiere, que esto sea el comienzo para próximas investigaciones que indaguen nuevos aportes en la búsqueda de nuevos materiales eco amigables en la industria de la construcción, así como la reutilización de los residuos orgánicos del coco u otras fibras vegetales.

REFERENCIAS

- [1] Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, "EL AGRO EN CIFRAS," Lima, Apr. 2024, p. 181. Accessed: Feb. 02, 2025. [Online]. Available: https://siea.midagri.gob.pe/portal/phocadownload/datos_estadisticas/mensual/Agro/2024/Agro_en_cifras_01_2024.pdf
- [2] M. F. Serrano Guzmán, D. D. Pérez Ruiz, L. M. Torrado Gómez, and N. Darío Hernández, "Residuos Inertes para la Preparación de Ladrillos con Material Reciclable: Una Práctica para Protección del Ambiente," *Industrial Data*, vol. 20, no. 1, p. 131, Jul. 2017, doi: 10.15381/idata.v20i1.13507.
- [3] S. P. Muñoz Pérez, J. L. Delgado Sánchez, and L. E. Facundo Peña, "Elaboración de ladrillos ecológicos en muros no estructurales: una revisión," *Cultura Científica y Tecnológica*, vol. 18, no. 1, pp. 1–9, 2021, doi: 10.20983/culcyt.2021.1.3.1.
- [4] Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales - INDECOPI, "NTP 399.613 - UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Métodos de muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañilería," p. 36, Jul. 2017.
- [5] Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales - INDECOPI, "NTP 399.605 UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Método de ensayo para la determinación de la resistencia en compresión de prismas de albañilería," p. 23, Jan. 2013.

- [6] C. y S. Ministerio de Vivienda, “*REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES.*” 2019.
- [7] Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, “NORMA E.070 ALBAÑILERÍA,” in *Reglamento Nacional de Edificaciones*, 2019.
- [8] T. S. Gomez, S. Zuluaga Palacio, M. C. Salazar Marín, A. F. Peñuela, and P. Fernández Morales, “Comportamiento mecánico de fibras y no tejidos de coco. Comparación entre parámetros de punzonado y adhesión química,” *Avances Investigación en Ingeniería*, vol. 17, no. 1, Apr. 2020, doi: 10.18041/1794-4953/avances.1.5255.
- [9] M. A. Rivera Miranda, L. A. Jarquín Flores, A. A. Obando Francis, J. C. Araúz Urbina, and J. A. Flores-Pacheco, “Fibra de coco como aditivo de mejoramiento en la elaboración de bloques,” *Nexo Revista Científica*, vol. 34, no. 06, pp. 1649–1657, Dec. 2021, doi: 10.5377/nexo.v34i06.13125.