

Caracterización del Mortero Compuesto con Fibras de Cabuya Obtenidas en la Ciudad de Riobamba.



Characterization of Composite Mortar with Cabuya Fibers Obtained in Riobamba City.

Marco Antonio Ordoñez Viñan. ¹, Jessica Arcos Logroño. ², William Ibañez Moreno. ³ & Santiago Cazar Rivera. ⁴

Recibido: 28-04-2019 / Revisado: 04-05-2019 / Aceptado: 08-06-2019/ Publicado: 05-07-2019

Abstract.

DOI: <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i3.610>

Typography: Time New Roman 12 line spacing 1.15 (150 - 300 words). The following study analyses the influence on the mechanical and thermal properties of mortars when “Cabuya Negra” fibres (Agave Americana) are added.

Based on Ecuadorian construction regulations, the ideal mixture of the cement matrix was defined. This cement matrix was used as a base for the addition of different Agave fibres concentrations.

The fibre lengths considered in the study were 15 mm, using a random distribution. Regarding the reinforcement configurations, four nominal volumetric fractions of fibre were used: 0.25, 0.50, 0.75 and 1.0 %. The manufactured samples were tested using four standard trials: thermal conductivity, specific heat, resistance to bending and compression. The results obtained showed that the reinforced mortar using a volumetric fraction of 0.5% Agave fibre present the best fluency of a material suitable for coating. Therefore, 0.5% volumetric fraction was also defined as the most suitable Agave concentration for the mixture. As result, the resistance to bending and

¹ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. Macas, Ecuador. marco.ordonez@esPOCH.edu.ec.

² Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. Macas, Ecuador. paola.arcos@esPOCH.edu.ec.

³ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. Macas, Ecuador. william.ibanez@esPOCH.edu.ec.

⁴ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. Macas, Ecuador. eduardo.cazar@esPOCH.edu.ec.

compression increase 9 and 11% respectively compared to the cement matrix without Agave fibres. In addition, the thermal conductivity and the specific heat were also improved 13 and 18% respectively.

Keywords: Thermal characterization, Thermal conductivity, Mortar, Fiber of cabuya.

Resumen.

El siguiente estudio analiza la influencia sobre las propiedades mecánicas y térmicas de los morteros de cemento al adicionar fibras de cabuya negra (Agave Americano).

En base a las normas de construcción utilizadas en Ecuador, se determinó la mezcla ideal para la matriz cementicia, que servirá de referencia al momento de agregar las diferentes concentraciones de fibra de cabuya.

Las longitudes consideradas para la fibra fueron 15 mm y la distribución es de tipo aleatoria. Para las diferentes configuraciones de refuerzo se agregaron cuatro fracciones volumétricas nominales de fibra: 0.25; 0.50; 0.75; y 1.0 %. Los especímenes fabricados fueron sometidos a ensayos de conductividad térmica, calor específico, resistencia a flexión y compresión. Los resultados obtenidos mostraron que el mortero reforzado con una fracción volumétrica de fibra de cabuya de 0.50 % exhibió la fluidez ideal de un material apto para recubrimientos, limitando así la cantidad máxima de fibra que puede agregarse para formar el material. Como resultado se determina que la resistencia a la compresión y a la flexión del material compuesto es mayor con respecto a la matriz cementicia 9 y 11% respectivamente, se determina también que la conductividad térmica y el calor específico en comparación con la matriz cementicia mejoraron 13 y 18 % respectivamente.

Palabras claves: Caracterización térmica, Conductividad térmica, Mortero, Fibra de cabuya.

Introducción.

En muchas civilizaciones de la antigüedad, las fibras se usaron para reforzar materiales (Vidaud, 2015).

Por ejemplo, la paja se usaba como refuerzo en los adobes de arcilla para controlar la tensión por el secado y reducir el agrietamiento (Gutiérrez Jiménez, Oteiza San José, Monjo Carrió, & Rey González, 2008). Posteriormente, en la era moderna el asbesto comenzó a ser utilizado frecuentemente en muchos países. La industria de la construcción usó a gran escala las fibras minerales de asbesto en una matriz de cemento (Mari, 1990). Sin embargo, debido a que se detectaron algunos daños a la salud como la asbestosis al fabricar productos de asbesto-cemento, su aplicación disminuyó considerablemente. Debido a esto, se buscó entonces sustituir el asbesto por fibras de otros materiales las cuales resultaron ser una alternativa viable (Akers & Studinka, 1989).

Estudios previos han sido realizados en México, Singapur y Brasil utilizando fibras vegetales bajo condiciones regulares, existen también estudios donde se analiza el deterioro del concreto con fibras vegetales expuesto a medios alcalinos y a ciclos de humedecimiento y secado (“FEA,” n.d.; Paramasivam, Nathan, & Das Gupta, 1984; Ramakrishna, Sundararajan, & Kothandaraman, 2010)

En el Ecuador la producción de cerámicas para revestimientos cumplen con normas establecidas, aunque los métodos de producción son meras copias de productos y estándares extranjeros, de tal manera que no ha existido algún tipo de investigación en el área específica sobre fibras de cabuya; sin embargo existen estudios referenciales que indican la inclusión de materiales como plástico, determinándose su viabilidad financiera y ambiental (Aguirre, 2013)

Se han estudiado características con diferentes configuraciones de materiales compuestos con la fibra de cabuya como material disperso con los diferentes diámetros de fibras existentes en el medio, aprovechando sus características de resistencia y durabilidad, instituciones tales como la ACI, ASTM, de origen Americano, han desarrollado programas de investigación en sus respectivos países empleando en todos los casos, materia prima propia de sus regiones. Lo cual hace que aquellas normas internacionales para el diseño de concretos y morteros reforzados o no reforzados no se apliquen para materiales propios dentro del país (Dávila et al., 2011).

Como potenciales fuentes de materia prima, el estudio se enfoca hacia las fibras vegetales de la cabuya, debido a que son especies propagadas en gran escala en la provincia de Chimborazo, y que no han sido utilizadas para ningún proceso que les agreguen valor para su adecuado consumo en la industria de la construcción; de tal manera que es necesario por medio del presente estudio, realizar la caracterización de estas especies, con el fin de integrarlas como materias primas, y así determinar su impacto en el sector de la construcción y a nivel social y económico.

De lo expuesto anteriormente se determina la importancia de realizar una investigación que aporte información genérica relacionada con la utilización de fibras de cabuya como refuerzo en morteros con un agregado propio de la región, justificando con la poca o nula información que existe sobre este material compuesto y sus características térmicas y mecánicas dentro de las alternativas para la construcción.

Metodología.

Materiales

Se utilizó como refuerzo fibra de cabuya negra Las fibras fueron adquiridas en el mercado General Dávalos, dichas fibras fueron extraídas de plantas cultivadas en el cantón Guano, la parroquia San Gerardo. Las muestras se obtuvieron a partir de los bultos.

Como matriz del material compuesto se empleó mortero de cemento compuesto de arena proveniente de la cantera Hnos. Castro Cerro Negro con código 3322 y de cemento HIDRAULICO tipo PORTLAND.

Métodos

Se considera una investigación exploratoria, debido a que el tema estudiado acerca de un material compuesto con fibras naturales a base de fibras de cabuya, ha sido poco analizado en el país, pero con el sustento técnico de los ensayos que se realizaron se logró determinar la influencia que tiene sobre las propiedades mecánicas (Borri & Bucci, 2013; Con & Colectividad, 2015; De, De Sistemas, Fernando, Arteaga, & Armendariz, 2008; Gutiérrez Jiménez et al., 2008; Las et al., 2014; Velasco Roldán, Goyos Pérez, Delgado García, & Amores, 2016).

Dosificación del mortero.

La dosificación del mortero viene recomendada en base a la Norma (INEN 488,2009).

Elaboración de las probetas de material compuesto.

Debido a que no se disponen de datos previos sobre la mezcla de fibras de cabuya y morteros de cemento en los cuales basarse, se decide realizar un barrido preliminar de proporciones cemento/arena manteniendo constante las proporciones de los componentes de la matriz cementicia y se varía la concentración de las fibras de cabuya. Esta experiencia sirve para determinar el nivel de trabajabilidad de la muestra.

Luego del análisis de las experiencias más cercanas con fibras vegetales como refuerzo de materiales constructivos, se puede observar que existe un espectro muy amplio de porcentajes de refuerzo que van desde el 0,5 % al 16 % inclusive varios ensayos coinciden en que el uso de fibras en una proporción de 0.5 % en peso es la más adecuada, tanto para tensión como para compresión, independientemente de la edad de la probeta a la hora de hacer el ensayo.

El comportamiento general es una reducción de la resistencia a medida que el refuerzo

Ensayo de fluidez en morteros.

Este tipo de ensayo se emplea para determinar si el contenido de agua que se encuentra en la mezcla es suficiente para proporcionar fluidez en el mortero, para esto se utilizó la Norma (INEN 2502,2009) y se emplea la relación mostrada en la Ecuación 1.

$$Flujo = \frac{(\emptyset \text{ prom} - \emptyset \text{ base})}{\emptyset \text{ base}} \times 100 \quad (1)$$

Donde:

Flujo: Fluidez del mortero [%].

$\emptyset prom$: Diámetro de la muestra saturada [cm].

$\emptyset base$: Diámetro de la base [cm].

Resistencia a flexión y compresión de morteros

El estudio se centró básicamente en el estudio de la resistencia de las probetas tanto a flexión como a compresión bajo la Norma (INEN 198,2009), esta norma establece los métodos para determinar la resistencia a flexión y a la compresión de morteros de cemento hidráulico.

Flexión

El ensayo consiste en aplicar una carga con una velocidad de 5 kPa/s en el centro de la probeta que se coloca de forma biapoyada con una luz de 100 mm. La resistencia a flexión se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$R_f = \frac{6M}{b^3} = 1,5 \frac{P_f}{b^3} \quad (2)$$

Donde:

R_f : Resistencia a la flexión [MPa].

M : Momento flector (módulo de rotura) [Nmm].

b : Arista de la sección cuadrada del prisma [mm].

P_f : Carga a la rotura a la flexión [N].

l : Distancia entre los apoyos [mm].

Como $l = 100\text{mm}$ y $b = 40\text{mm}$ la ecuación anterior se simplifica a:

$$R_f = 0,0023437P_f \quad (3)$$

Compresión

Para el ensayo de compresión se utiliza la máquina universal con una velocidad de carga de 240 kPa/s sobre una superficie cuadrada de $4 \times 4 \text{ cm}^2$ correspondiente a uno de los lados de

las probetas resultantes de la rotura del ensayo de flexión. La resistencia a la compresión se determina por medio de la siguiente ecuación:

$$R_c = \frac{p_c}{b^2} \quad (4)$$

Donde:

R_c : Resistencia a la compresión [MPa].

P_c : Carga de rotura a la compresión [N].

b : Arista de la sección cuadrada del prisma [mm].

Como $b = 40\text{mm}$ la ecuación anterior se simplifica a:

$$R_f = 0,0023437P_f \quad (5)$$

Conductividad térmica.

Para la prueba de conductividad se ejecuta según lo indicado en la norma (ASTM: C177, 1992), se prepararon diez muestras de mortero con las concentraciones de fibra de cabuya indicadas en la tabla, las dimensiones de los especímenes deben ser de 300 mm x 300 mm x 50 mm. La conductividad térmica se denota por la siguiente expresión:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{kA}{\Delta x} (T_1 - T_2) \quad (6)$$

Donde:

$\frac{\Delta Q}{\Delta t}$: Calor transmitido por unidad de tiempo.

$k(\lambda)$: Conductividad térmica

A : Área de la superficie de contacto.

$(T_1 - T_2)$: Diferencia de temperatura entre el foco caliente y el foco frío.

Δx : Espesor del material.

Calor específico.

Para determinar el calor específico de las muestras a diferentes temperaturas se hizo referencia a la norma (ASTM E1269, 2001) que establece un método de prueba estándar para determinar la capacidad calorífica específica mediante calorimetría diferencial de barrido.

Donde:

Cp(s) : Capacidad calorífica específica de la muestra. $[J(gK)^{-1}]$.

Ds : Desplazamiento vertical entre el porta-muestras y la muestra de las curvas térmicas DSC en un temperatura. [mW]

ΔW : Diferencia de masa entre la muestra vacía titular de la muestra de ensayo si el mismo no se utiliza para ambas ejecuciones.

Resultados.

Dosificación del mortero.

Para la dosificación del mortero para esta investigación se determina la combinación óptima a partir del ensayo de fluidez siendo la indicada la dosis 2 de la Tabla 1, misma que sirve como base para la elaboración del material compuesto.

Tabla 1. Dosificación del mortero.

	Cemento	Arena	Relación A/c
Dosis 1	1	2,75	0,485
Dosis 2	1	2	0,65

Elaboración de las probetas de material compuesto.

Para la elaboración de las muestras se construyeron seis moldes prismáticos en acero con dimensiones 40 x 40 x 160 mm a los cuales se les aplicó un agente desencofrante a los moldes para facilitar el desprendimiento cuando se encuentren endurecidos. Una vez elaborada las mezclas de mortero con las dosificaciones mencionadas en la Tabla 1, se llenan los moldes en dos capas, cada capa se compactada 32 veces en 4 rondas y en cada ronda se compacta con 8 golpes en dirección perpendicular a la anterior como se indica en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** Se deben completar 4 rondas de apisonado del mortero en un prisma antes de pasar al siguiente.

Al finalizar la compactación se retira con una espátula el exceso de mortero que hay en el borde del molde y se alisa la superficie.

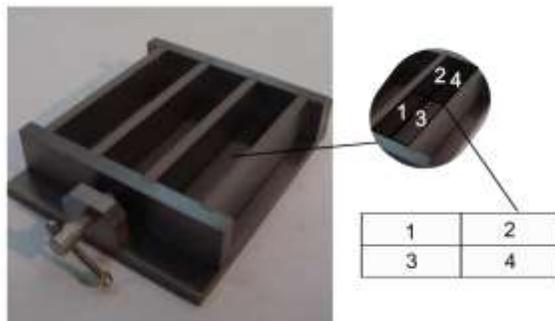


Figura. 1 Orden de apisonamiento en el molde de los especímenes.
Ensayo de fluidez en morteros

La fluidez del mortero endurecido a los 28 días se determina en la Tabla 2, donde la muestra M3 presenta el flujo en el rango permisible del mortero para revestimientos.

Tabla 2. Fluidez de materiales compuestos de mortero - cemento en función de la fracción volumétrica de fibra de 28 días de curado.

DETERMINACIÓN FLUIDEZ (FLUJO)				
$(\phi_{prom} - \phi_{base}) * 100 / \phi_{base}$				
MUESTRA	AGU A (g.)	ϕ (mortero) (cm.)	ϕ (base) (cm.)	FLUJO (%)
M1	325	21,7	10	116,5
		21,6	10	
		21,7	10	
		21,6	10	
		20,6	10	
M2	325	20,2	10	103
		20,2	10	

			20,2	10	
			19,8	10	
M3	325		19,3	10	96,5
			19,7	10	
			19,8	10	
			18	10	
M4	325		18,3	10	81,5
			18,1	10	
			18,2	10	
			17,2	10	
M5	325		17	10	69,75
			16,9	10	
			16,8	10	

1.1.1 Resistencia a flexión y compresión de morteros

Flexión

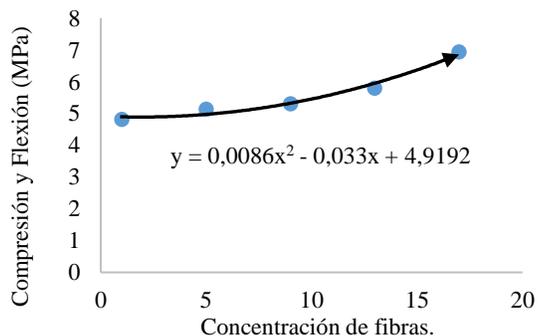
La flexión a tres puntos se incrementó respecto al de la matriz cementicia para todos los materiales compuestos de mortero - cabuya, como se muestra en la Figura. 2. Para los materiales fabricados con fibra de cabuya de 15 mm en todas las fracciones volumétricas analizadas, el módulo a la flexión sufrió un incremento comprendido entre el 6 y 16%.

Tabla 3. Flexión de materiales compuestos de mortero - cemento en función de la fracción volumétrica de fibra de 28 días de curado.

FLEXIÓN 28D SECO				
	KN	TON	Rf Mpa	
	2,1070	0,2149		
M1	2,4110	0,2459	0,2094	4,8128
	2,5610	0,2612		

	2,0000	0,2039		
	2,2210	0,2265		
	2,3130	0,2359		
M2			0,2236	5,1386
	1,9460	0,1984		
	2,1640	0,2207		
	2,5310	0,2581		
	2,6160	0,2668		
M3			0,2310	5,3097
	2,0510	0,2091		
	2,0000	0,2039		
	2,5370	0,2587		
	2,4230	0,2471		
M4			0,2523	5,7995
	2,6130	0,2665		
	2,4120	0,2460		
	2,9170	0,2975		
	3,2900	0,3355		
M5			0,3017	6,9339
	2,8590	0,2915		
	3,0000	0,3059		

Figura. 2 Flexión de materiales compuestos de mortero - cemento en función de la fracción volumétrica de fibra de 28 días de curado.



Los resultados del ensayo de flexión permitieron verificar el aumento en la rigidez de los materiales compuestos obtenidos en relación a la matriz cementicia, apreciando la marcada influencia de la fibra en estas propiedades mecánicas.

Compresión

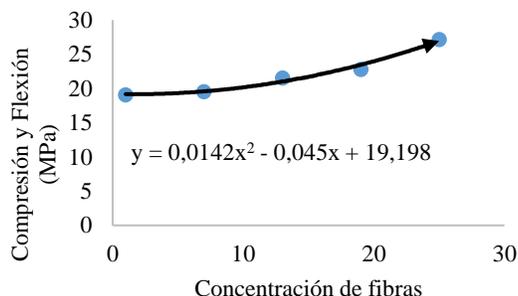
Los resultados del ensayo a compresión se incrementó respecto al de la matriz cementicia para todos los materiales compuestos de mortero - cabuya, como se muestra en la Figura. 3Figura. 2. Para los materiales fabricados con fibra de cabuya de 15 mm en todas las fracciones volumétricas analizadas, la compresión sufrió un incremento comprendido entre el 2 y 29%.

Tabla 4. Compresión de materiales compuestos de mortero - cemento en función de la fracción volumétrica de fibra de 28 días de curado.

COMPRESION 28D SECO			
	TON	KN	Rc Mpa
	3,1090	30,4888	
	3,1210	30,6064	
	2,8580	28,0273	
M1	3,0040	29,4591	3,1155 19,0954
	3,0230	29,6454	
	3,1220	30,6162	
	3,2250	31,6263	
	3,0890	30,2926	
	3,1210	30,6064	
M2	3,1370	30,7633	3,1900 19,5520
	3,1680	31,0674	
	3,1550	30,9399	
M3	3,5650	34,9606	3,5115 21,5225

	3,0720	30,1259		
	3,6640	35,9314		
	3,2950	32,3128		
	3,5610	34,9214		
	3,4580	33,9113		
	3,7910	37,1769		
	3,7100	36,3825		
	3,2950	32,3128		
M4	3,8210	37,4711	3,7215	22,8097
	3,6540	35,8334		
	3,6520	35,8138		
	4,51	44,21		
	4,27	41,83		
	4,43	43,46		
M5	4,26	41,82	4,44	27,18
	4,37	42,83		
	4,36	42,78		

Figura. 3 Compresión de materiales compuestos de mortero - cemento en función de la fracción volumétrica de fibra de 28 días de curado.



Los resultados del ensayo de compresión permitieron verificar el aumento en la rigidez de los materiales compuestos obtenidos en relación a la matriz cementicia, pudiéndose apreciar la marcada influencia de la fibra en estas propiedades mecánicas.

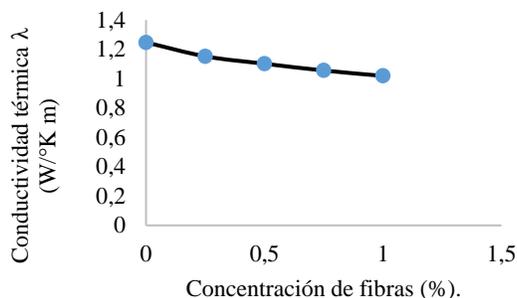
Conductividad térmica.

La conductividad térmica incrementó respecto al de la matriz cementicia para todos los materiales compuestos de mortero - cabuya, como se muestra en la Figura. 4. Para los materiales fabricados con fibra de cabuya de 15 mm en todas las fracciones volumétricas analizadas, el módulo a la flexión sufrió un incremento comprendido entre el 8 y 22%.

Tabla 5. Conductividad térmica de materiales compuestos de mortero - cemento en función de la fracción volumétrica de fibra de 28 días de curado.

CONCENTRACIÓN	λ (W/°K m)
0	1,247
0,25	1,152
0,5	1,102
0,75	1,056
1	1,019

Figura. 4 Conductividad térmica de materiales compuestos de mortero - cemento en función de la fracción volumétrica de fibra de 28 días de curado.



Los resultados del ensayo de conductividad térmica de los materiales compuestos obtenidos en relación a la matriz cementicia, pudiéndose apreciar la marcada influencia de la fibra en estas propiedades térmicas.

Conclusiones.

- El porcentaje de fibra aceptable para la matriz cementicia fue de 0,50 %, desde el punto de vista de la fluidez al agregar una cantidad mayor de fibra disminuye el flujo y la mezcla se vuelve menos manejable.
- La dosificación óptima para fabricar la matriz cementicia es 1:2 con una relación de agua/cemento de 0.65, obteniendo una resistencia a los 28 días de 31,9 kN.
- El esfuerzo máximo a la compresión y flexión, incrementaron 9 y 11% para los materiales compuestos reforzados con fibra corta de cabuya con respecto a las correspondientes propiedades de la matriz cementicia.
- Al usar fibras de cabuya, el comportamiento a flexión y compresión del mortero reforzado evidencia incremento en la ductilidad.
- La conductividad térmica, disminuyó el 13% para los materiales compuestos reforzados con fibra corta de cabuya con respecto a las correspondientes propiedades de la matriz cementicia, disminuyendo así la conducción del calor.

Referencias bibliográficas.

- Aguirre, D. F. (2013). El plástico reciclado como elemento constructor de la vivienda, 3–127. Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/520/1/TESIS.pdf>
- Akers, S. A. S., & Studinka, J. B. (1989). Ageing behaviour of cellulose fibre cement composites in natural weathering and accelerated tests. *International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete*, 11(2), 93–97. [https://doi.org/10.1016/0262-5075\(89\)90119-X](https://doi.org/10.1016/0262-5075(89)90119-X)
- Borri, A., & Bucci, V. Pietro. (2013). University of Calabria Address, 2011–2013.

- Con, V., & Colectividad, L. A. (2015). Vicerrectorado De Investigación. Retrieved from <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/12213/1/T-ESPEL-MAS-0024.pdf>
- Dávila, J., Galeas, S., Guerrero, V., Pontón, P., Rosas, N., Sotomayor, V., & Valdivieso, C. (2011). Nuevos Materiales: Aplicaciones Estructurales E Industriales.
- De, F., De Sistemas, I., Fernando, L., Arteaga, A., & Armendariz, I. X. (2008). Escuela Politécnica Nacional. Retrieved from <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/727/1/CD-1669%282008-09-15-11-00-15%29.pdf>
- FEA. (n.d.), (4).
- Gutiérrez Jiménez, J. P., Oteiza San José, I., Monjo Carrió, J., & Rey González, J. R. (2008). Estudio del comportamiento mecánico de los muros no portantes de fábrica de ladrillo, en fachadas. In II Jornadas de Investigación en Construcción (Instituto de Ciencias de la Construcción “Eduardo Torroja” (pp. 1315–1324). Retrieved from <http://hdl.handle.net/10261/6296>
- LMari, E. A. (1990). Situación actual y perspectivas del uso de fibras de vidrio para el refuerzo de materiales cementicios, 29, 331–337.
- Paramasivam, P., Nathan, G. K., & Das Gupta, N. C. (1984). Coconut fibre reinforced corrugated slabs. *International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete*, 6(1), 19–27. [https://doi.org/10.1016/0262-5075\(84\)90056-3](https://doi.org/10.1016/0262-5075(84)90056-3)
- Ramakrishna, G., Sundararajan, T., & Kothandaraman, S. (2010). Evaluation of Durability of Natural Fibre Reinforced Cement Mortar Composite- a New Approach, 5(6), 44–51.
- Velasco Roldán, L., Goyos Pérez, L., Delgado García, R., & Amores, L. F. (2016). Instalación para medición de conductividad térmica en composites basados en residuos de biomasa. *Enfoque UTE*, 7(2), 69–81. Retrieved from <http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/index.php/revista/article/view/96%0Ahttp://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/index.php/revista/article/download/96/101>
- Vidaud, E. (2015). Una aproximación a los concretos reforzados con fibras, 30–35.

PARA CITAR EL ARTÍCULO INDEXADO.

Párraga Palacios, Ángel, Intriago Rodríguez, S., Velasco Fuentes., E., Cedeño Quinto, V., Cedeño Quinto, V., Murillo Párraga, N., & Zambrano Gavilanes, F. (2019). Producción de energía eólica en Ecuador. *Ciencia Digital*, 3(3), 22-32. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i3.610>



El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Ciencia Digital**.

El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Ciencia Digital**.

