

# Analysis of Reinforced Concrete Beams with Steel and Bamboo Reinforcement, San Pedro Sula 2023

Grecia Maria Cueva Ramirez, Ing. Civil<sup>1</sup>, Debora Mariel Calix Fajardo, Ing. Civil<sup>2</sup>, Ada S. Rodriguez, Mastér Ing. en Estructuras<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Tecnológica Centroamericana, Honduras, greciamcueva@unitec.edu, deboracalix@unitec.edu, ada.rodriguez@unitec.edu.hn.

*Abstract - This research focuses on the feasibility of using bamboo as reinforcement in reinforced concrete beams to reduce steel consumption in construction. Bamboo stands out as an ecological alternative, since it is a plant with mechanical properties comparable to steel. The main objective of this research is to analyze the flexural behavior of reinforced concrete beams through standardized tests and simulations, considering the addition of bamboo slats as reinforcement, in comparison with conventional reinforced concrete beams with steel reinforcement.*

*According to the data obtained, the beams with bamboo and steel reinforcement showed effective results with an average resistance of 1654 PSI, similar to the control beam studied that obtained a resistance of 1601 PSI. On the other hand, the beam that only contained bamboo reinforcement in the tension part did not have the expected flexural strength compared to the control beam. The strength of the beam with only bamboo reinforcement in tension was 771 PSI.*

*The data found demonstrates that the reinforcement of bamboo with steel is a viable option for reducing steel in structural elements, and at the same time allows a reduction in the environmental impact in the construction sector.*

**Keywords -- Bamboo, Flexion, Reinforcement, Sustainability, Stress.**

**Digital Object Identifier:** (only for full papers, inserted by LACCEI).  
**ISSN, ISBN:** (to be inserted by LACCEI).  
**DO NOT REMOVE**

# Análisis de Vigas de Concreto Armado con Refuerzo de Acero y Bambú, San Pedro Sula 2023

Grecia Maria Cueva Ramirez, Ing. Civil<sup>1</sup>, Debora Mariel Calix Fajardo, Ing. Civil<sup>2</sup>, Ada S. Rodriguez, Mastér Ing. en Estructuras<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Tecnológica Centroamericana, Honduras, greciamcueva@unitec.edu, deboracalix@unitec.edu, ada.rodriguez@unitec.edu.hn.

**Resumen – Esta investigación se enfoca en la viabilidad de utilizar el bambú como refuerzo en vigas de concreto armado para reducir el consumo de acero en la construcción. El bambú se destaca como una alternativa ecológica, ya que es una planta con propiedades mecánicas comparables al acero. El objetivo principal de esta investigación es analizar el comportamiento a flexión de vigas de concreto armado mediante ensayos normados y simulaciones, considerando la adición de tablillas de bambú como refuerzo, y compararlo con vigas convencionales de concreto armado con refuerzo de acero.**

**Según los datos obtenidos, las vigas con refuerzo de bambú y acero mostraron resultados efectivos con una resistencia promedio de 1654 PSI, similar a la viga de control estudiada que obtuvo una resistencia de 1601 PSI. En cambio, la viga que solo contenía refuerzo de bambú en la parte a tensión no tuvo la resistencia a flexión esperada en comparación con la viga a control. La resistencia de la viga solo con refuerzo de bambú a tensión fue de 771 PSI.**

**Los datos encontrados demuestran que el refuerzo de bambú con acero es una opción viable para la reducción del acero en elementos estructurales, y a la vez permite una disminución del impacto ambiental en el sector construcción.**

**Palabras Clave -- Bambú, Esfuerzo, Flexión, Refuerzo, Sostenibilidad.**

## I. INTRODUCCIÓN

Desde el siglo XVII, el acero ha sido un pilar fundamental en la construcción de estructuras resistentes y duraderas. Su alta resistencia a la tracción y a la flexión lo ha convertido en un material esencial en la ingeniería civil, utilizado en la fabricación de vigas, columnas y otros elementos estructurales clave. El uso extensivo del acero ha planteado preocupaciones significativas en términos de su impacto ambiental. La producción de acero es un proceso de alto consumo en energía y recursos.

Cabe mencionar, que la producción de acero genera residuos industriales, como las escorias negras de horno de arco eléctrico. Estos desechos, si no se manejan

adecuadamente, pueden tener un impacto negativo en el entorno, contaminando suelos y cuerpos de agua. En un estudio realizado por Gervasio [1] destaca que uno de los impactos más significativos de la industria del acero es su contribución a la emisión de CO<sub>2</sub> y otros gases que tienen un efecto perjudicial en el medio ambiente. A pesar de los avances tecnológicos para mejorar la eficiencia de los procesos de producción de acero, las emisiones de gases continúan siendo una preocupación ambiental importante.

El desecho de escorias negras resultante de la producción de acero se ha convertido en un problema ambiental que necesita de avances tecnológicos que amortigüen el daño hecho al mundo en términos ambientales. Por cada tonelada de acero producida, se generan entre 0.1 y 0.3 toneladas de escoria [2]. Si estas escorias no se reutilizan o reciclan adecuadamente, pueden contaminar el medio ambiente y causar daños a largo plazo en los ecosistemas. En estudios comparativos de emisión de gases en una fábrica de elementos de acero en Cuba se menciona que la mayor contaminación se produce en la acería y en los hornos de recalentado. La chimenea de acería resulto ser la principal fuente emisora de contaminantes, debido a la fusión producida en el horno de arco eléctrico. Entre algunas de las emisiones se encuentran el dióxido de nitrógeno, monóxido de carbono, cobre, plomo, cinc, níquel, arsénico y compuestos orgánicos volátiles distintos al metano. Haciendo un análisis estricto, se observa que no hay mediciones de emisiones de metales pesados en la industria [3].

Dentro de los estudios de contaminación debida a la producción de acero, una investigación guatemalteca resalta que el zinc es el elemento con mayor concentración en los humos [4]. Cada una de las investigaciones se realizó con el propósito de brindar un tratamiento para la disminución de gases de efecto invernadero que se producen por la fabricación de acero.

Con los años se han hecho estudios que buscan la reducción de la contaminación que se produce por la fabricación de acero. Dentro de la composición de este material, el ferromanganeso es una aleación de gran relevancia contaminante. Debido a que el ferromanganeso suma al impacto ambiental, el autor sugiere la fabricación de acero con solo manganeso en sustitución del ferromanganeso. Este proceso se llevó a cabo en un horno que le permitiera al material llegar al punto de diseño necesario. Se concluyó que

**Digital Object Identifier:** (only for full papers, inserted by LACCEI).  
**ISSN, ISBN:** (to be inserted by LACCEI).  
**DO NOT REMOVE**

este proceso reduce la huella de carbono producida por el acero, así como los gases generados y los residuos sólidos [5].

Como se puede ver, el proceso de reducir la huella de carbono debido a la producción de este material ha sido ampliamente estudiado, buscando métodos que permitan cumplir con el propósito. La contaminación aumenta con los años debido a la demanda del uso del acero y el crecimiento de la sociedad. Cada día se construye más infraestructura para lograr un mundo más moderno y eficiente. Estos precedentes ilustran la necesidad urgente de buscar alternativas más sostenibles al uso intensivo de acero en la construcción. La investigación sobre materiales alternativos, como el bambú, se ha convertido en un enfoque crucial para reducir el impacto ambiental de la industria de la construcción y promover prácticas más amigables con el ecosistema en la ingeniería civil.

El bambú en Honduras, aun no es un recurso utilizado como material de construcción, en especial a nivel estructural. Su producción no es masiva en comparación a materiales como acero. Es por esto, que la investigación busca analizar si es factible su uso en la construcción.

## II. MÉTODOS

### A. *Enfoque y Alcance*

La investigación busca conocer los beneficios de la implementación de bambú como refuerzo longitudinal en vigas de concreto, orientada específicamente para el diseño de una casa con un nivel de entepiso. El propósito de conocer la resistencia a flexión que soporta la viga con ayuda del bambú es la reducción de costos y un menor impacto ambiental. Los datos obtenidos son de carácter cuantitativo.

Al utilizar una metodología cuantitativa, se permite un enfoque riguroso y objetivo para recopilar, analizar y evaluar datos relacionados con el comportamiento del bambú como material de construcción.

Se hicieron seis vigas en total, dos de control, dos vigas solamente con bambú como refuerzo longitudinal en la parte a tensión y dos vigas las cuales se les adiciono un porcentaje bambú en el acero a tensión. Se uso una iteración del 3.02% del área transversal de la viga para sacar las dimensiones de las tablillas de bambú (porcentaje determinado según la elección de los investigadores dentro del rango establecido por Raj [6] en un estudio del uso del bambú como elemento estructural). La dimensión de las tablillas de bambú que se utilizo fue de 2.00 cm x 2.00 cm. Las vigas que contenían bambú se compararon con las de control.

### a. *Muestra*

La muestra preparada consiste en seis vigas, las cuales serán comparadas según su resistencia a flexión. Se hizo un modelo de viga a control con solamente acero, un modelo de viga con reducción de acero longitudinal más bambú de refuerzo y un modelo de viga sustituyendo el acero longitudinal a tensión por bambú. Dadas las regulaciones establecidas según la ASTM C 78, se debe ensayar un mínimo de dos vigas por modelo. La resistencia a flexión de las vigas será ensayada a los 28 días. Se le hicieron las respectivas pruebas de cilindros y vigas de concreto simple para entender el desempeño de la mezcla respecto al diseño planteado.

Los ensayos y normas que se utilizaron en la investigación son:

- ASTM C143 – Revenimiento del concreto fresco [7].
- ASTM C39 – Método estándar de ensayos a concreto simple [8].
- ASTM C78 – Ensayo de vigas de concreto simple con ruptura a los tercios [9].
- ASTM C138 – Peso unitario y contenido fresco de aire [10]
- ISO 148-1 – Lineamientos de ensayos a flexión [11].
- ISO 22156:2021 – Uso del bambú en elementos estructurales [12].
- ASTM D1434 – Determinación de propiedades a flexión de materiales con compuestos de bambú [13].
- ASTM D1666-20 – La norma hace referencia al ensayo a flexión del bambú [14].

### b. *Diseño y Procedimiento*

Detalladamente se muestra el diseño de vigas que se hizo para esta investigación, así como también el procedimiento necesario para la correcta fabricación de las vigas, y obtener un resultado optimo

#### 1. *Diseño*

Se hizo un diseño considerando las cargas a soportar en una casa de un nivel de entepiso. El  $f'_c$  del concreto fue 3000 PSI y un  $f_y$  de 40000 PSI. La sección de la viga era de 20 cm x 40 cm, con refuerzo de 2 barras de 3/8” en la parte superior y 3 barras de 1/2” en la parte inferior, estos datos fueron tomados para la viga a control.

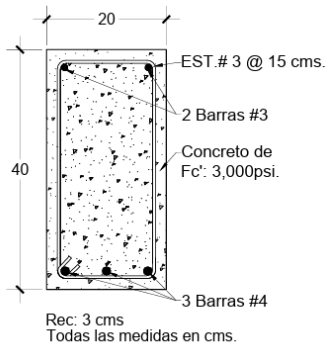


Fig.1 Viga Control.



Fig.2 Armado de Viga Control.

La viga control en figura 1 y 2 fue diseñada para poder comparar la resistencia a flexión que se obtuvo con las vigas con iteraciones de bambú en la parte a tensión.

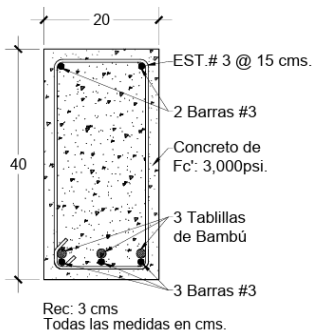


Fig.3 Viga con adición de bambú.

La viga mostrada en la figura 3 y 4 tiene un área de acero a tensión menor que la viga de control, con un refuerzo de bambú que se agregó con el propósito de complementar la resistencia que puede soportar la viga.



Fig.4 Armado de Viga con adición de bambú.

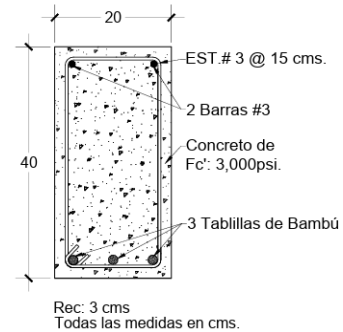


Fig.5 Viga con sustitución de bambú.



Fig.6 Armado de Viga con sustitución de bambú.

La figura 5 y 6 muestra la viga con una iteración de bambú del 100% en la parte a tensión del elemento estructural. Se decidió sustituir el acero a tensión por tablillas de bambú con el propósito de comparar la resistencia a flexión que brinda la viga solo con refuerzo del material. Una vez entendido el propósito de la investigación, se habla del procedimiento a seguir y el análisis de resultados.

## 2. Procedimiento

Para la elaboración de las vigas, primeramente, se buscó el bambú, que fue obtenido de Zoilabe, Honduras. Se cortó el bambú en tablillas de 2.00 cm<sup>2</sup> según la iteración propuesta y se procedió a impermeabilizarlo, en este caso, con pintura SUR Aqualock, la cual resultó la más apropiada para el material debido a su nivel de impermeabilización. Las tablillas de bambú impermeabilizadas se trataron 4 días antes de fundir el concreto. Continuando, se elaboró el armado de las vigas según el diseño de cada uno. Menos de una hora antes de fundir las vigas, se le colocó una capa de adhesivo SIKADUR 32 Gel al bambú para permitir una mejor adherencia. Luego se realizó la dosificación de la mezcla de concreto según el diseño establecido de un concreto 3000 psi y se procedió a fundir. Pasados los 28 días se procedió a hacer los ensayos a flexión de las vigas de concreto armado.

### III. ANÁLISIS Y RESULTADOS

Los resultados de la investigación abarcan datos desde las propiedades de los materiales, propiedades de la mezcla fresca de concreto y las resistencias proporcionadas por las vigas de concreto armado.

#### A. Propiedades del Bambú

La Tabla I muestra los resultados de los ensayos a compresión del bambú. La altura del tallo de bambú se determinó en relación a su diámetro (en promedio tenían 3.6 in).

TABLE I  
RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL BAMBÚ

RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL BAMBÚ	
MATERIAL A ENSAYAR	RESISTENCIA (PSI)
Tallo 1	1783
Tallo 2	1920
Tallo 3	2058

Las resistencias obtenidas de los tallos de bambú en promedio tienen una resistencia entre los 1700 y 2000 PSI, lo que significa que es un material resistente. Cabe destacar que esta especie de bambú *Guadua Angustifolia* contaba con más de 4 años de edad.

#### B. Propiedades de los Agregados

Se observa de forma resumida las propiedades del agregado grueso y fino utilizados en la mezcla de concreto para las vigas.

#### a. Análisis de Grava ¾"

En la Tabla II se muestran los resultados al realizar el ensayo de granulometría de la grava ¾" por la norma ASTM C33-07.

TABLE II  
GRANULOMETRÍA DE GRAVA ¾"

Tamiz	Equiv. (mm)	(PRI)	(PRA)	(%PRI)	(%PRA)	%pasado
3/8"	9.51	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
#4	4.76	66.40	66.40	8.69	8.69	91.31
#8	2.38	132.80	199.20	17.37	26.06	73.94
#16	1.19	125.20	324.40	16.38	42.44	57.56
#30	0.59	139.30	463.70	18.22	60.66	39.34
#50	0.29	132.70	596.40	17.36	78.02	21.98
100	0.14	108.40	704.80	14.18	92.20	7.80
Fondo		59.60	764.40	7.80	100.00	0.00
		764.40				

A través de la evaluación de los resultados del análisis granulométrico presentados en la Tabla II, se llevó a cabo la verificación de los parámetros del porcentaje pasado para la grava ¾" para ver si cumplían. El agregado cumplió según la norma ASTM C33-07. El porcentaje de error fue de 0.006 %.

#### b. Análisis de la Arena

En la Tabla III se pueden observar los resultados del análisis granulométrico de la arena.

TABLE III  
GRANULOMETRÍA DE LA ARENA

Tamiz	Equiv. (mm)	(PRI)	(PRA)	(%PRI)	(%PRA)	%pasado
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
¾"	19.05	72.70	72.70	4.60	4.60	95.40
½"	12.70	418.80	491.50	26.50	31.10	68.90
3/8"	9.51	414.00	905.50	26.20	57.30	42.70
#4	4.76	529.40	1434.90	33.50	90.80	9.20
#8	2.38	75.80	1510.70	4.80	95.60	4.40
#16	1.19	52.10	1562.80	3.30	98.89	1.11
#30	0.59	1.60	1564.40	0.10	98.99	1.01
#50	0.29	1.40	1565.80	0.09	99.08	0.92
#100	0.14	5.80	1571.60	0.37	99.45	0.55
#200	0.07	8.70	1580.30	0.55	100.00	0.00
Fondo		0.00	1580.30	0.00	100.00	0.00
		1580.30				

En la Tabla III se muestran los valores obtenidos al realizar la granulometría para la arena. Seguidamente se calculó como porcentaje de error para la arena, considerando un valor de 0.013%, dato que está por debajo de lo establecido que solicita la norma ASTM C33-07. El módulo de finura de la arena fue de 3.08. En resumen, el agregado fino cumple según los parámetros de la norma mencionada anteriormente.

#### C. Propiedades del Concreto Fresco

Se muestran los resultados de las propiedades del concreto fresco, desde contenido de aire y revenimiento hasta resistencias a compresión con el propósito de analizar la calidad de la mezcla.

a. *Revenimiento y Contenido de Aire*

Los resultados de la siguiente investigación presentaron un revenimiento de 5.25 pulgadas y un porcentaje de aire de 0.9%. Se diseñó una mezcla con un revenimiento de 5 a 7 pulgadas, lo que significa que cumple con el diseño establecido. El porcentaje de aire se encuentra debajo del 2% lo que da a entender que los agregados utilizados cumplen con las características estipuladas.



Fig.7 Ensayo de revenimiento del concreto fresco.

b. *Resistencia a compresión del concreto simple*

La figura 8, se presenta los resultados obtenidos de los cilindros de concreto para las pruebas de compresión con el propósito de saber si la mezcla cumple con la resistencia de diseño. Se hicieron en total 9 cilindros los cuales fueron ensayados a los 3, 7 y 28 días. Para estas pruebas se utilizaron testigos de 6” de diámetro y 12” de altura con un área transversal de 28.27 in<sup>2</sup>, mezcla diseñada para un  $f'_c=3000$  psi.

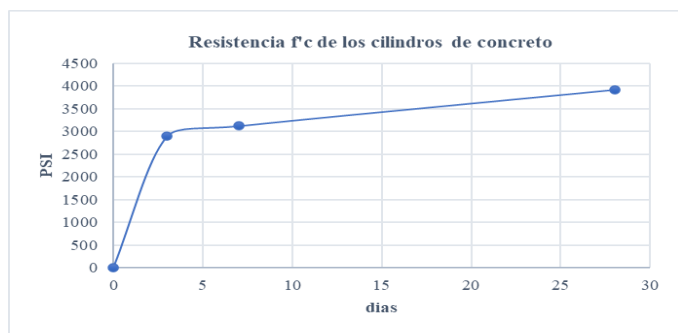


Fig.8 Resistencia a compresión de los cilindros de concreto según su edad.

El gráfico muestra los esfuerzos a compresión de los cilindros a 28 días en función de su edad. Se observan resultados eficientes desde el primer ensayo realizado a los tres días, se obtuvo una resistencia promedio de 2890 PSI casi cercana a la resistencia de diseño que era de 3000 PSI. Finalmente, a los 28 días ya había superado su resistencia de diseño con resultados superiores, obteniendo un promedio de 3920 PSI.

c. *Resistencia a flexión del concreto simple*

Se hizo un total de 9 vigas que se ensayaron a los 3, 7 y 28 días. Para estas pruebas se utilizaron testigos de 6” de ancho, 6” de alto y 21” de largo con un área transversal de 36 in<sup>2</sup>, mezcla diseñada para un MR-600 PSI. El ensayo realizado fue el de ruptura a los tercios de viga según la norma ASTM C-78.

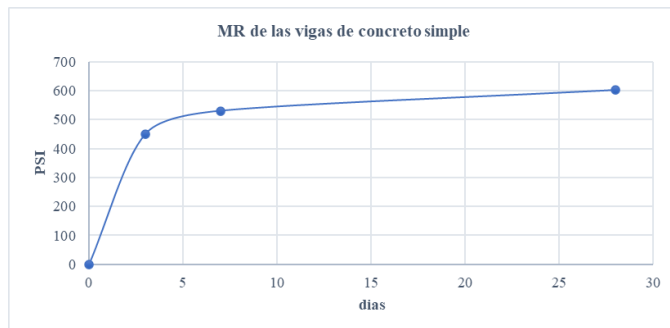


Fig.9 Resistencia a flexión de las vigas de concreto simple según su edad.

Se muestra un gráfico con los resultados obtenidos de las pruebas de flexión donde se puede observar que la resistencia a flexión que se muestra a los 28 días es igual al 100% obteniendo un MR equivalente 601 psi. Se puede observar como la mezcla de concreto alcanza la resistencia a flexión a través de los días, hasta a los 28 que fue el tiempo establecido para lograr su resistencia de diseño.

D. *Resultados de las vigas de concreto armado*

Este apartado hace referencia a los resultados principales de la investigación, los cuales permitirán comprobar las hipótesis que se establecieron al inicio.

TABLA IV  
CARGA SOPORTADA POR VIGAS DE CONCRETO ARMADO

Tipo de viga	Carga en lb		
	$V_c$	$V_{x\%B}$	$V_{100\%B}$
<b>Pu</b>	51472	55871	24901
<b>Pu</b>	54487	53588	26144
<b>Promedio</b>	52979	54729	25523

Donde:

$V_c$ : vigas control.

$V_{3.02\%}$ : vigas con 3.02% iteración de bambú, reduciendo acero a tensión.

$V_{100\%}$ : vigas con 100% bambú en refuerzo a tensión.

En la Tabla IV se dan a conocer los resultados principales de nuestra investigación a partir de los esfuerzos encontrados en las vigas de concreto armado.



TABLA V  
RESISTENCIA A FLEXIÓN DE LAS DE CONCRETO ARMADO

Esfuerzo en vigas de concreto armado			
Tipo de viga	$V_c$	$V_{3.02\%B}$	$V_{100\%B}$
Resistencia (PSI)	1556	1689	753
	1647	1620	790
Promedio	1601	1654	771

En la Tabla V se presentan los resultados de los ensayos a flexión de las vigas de concreto armado, tanto las vigas de control como las vigas con refuerzo adicional de bambú en la armadura y las que solamente cuentan con bambú a flexión.

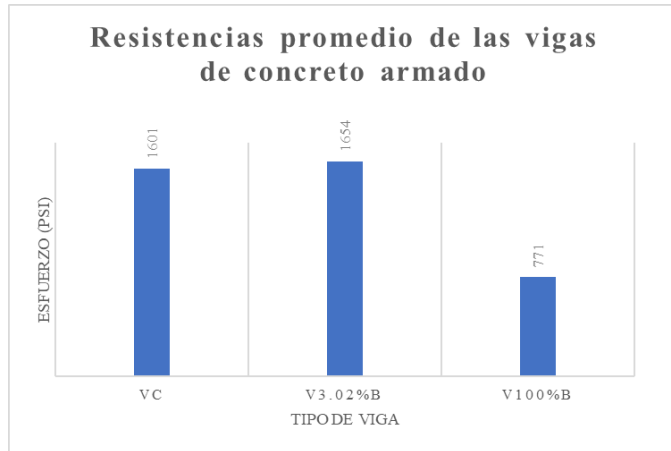


Fig.10 Grafico resumen de las resistencias a flexión de las vigas de concreto armado.

La figura 10, hace un resumen de los resultados de los tres tipos de vigas. Se puede observar que la viga V3.02%B muestra buenos resultados teniendo resistencias un poco mayores a las de la viga Vc. Por el contrario, la viga V100%B no cumple con las resistencias deseadas en comparación a la viga Vc.

#### IV. CONCLUSIONES

Los agregados utilizados para los diseños de mezcla: Porcentajes de error de la arena de 0.013% y grava  $\frac{3}{4}$  de 0.006%, de igual forma, el módulo de finura es de 3.08 que cumple según los rangos de la norma antes mencionada. Los resultados de las gravedades específicas obtenidas resultados fueron de 2.60 para la arena, y 2.67 para grava  $\frac{3}{4}$ . Las humedades obtenidas el día que se preparó la mezcla fueron de 6.36% para la arena, 2.08% para grava  $\frac{3}{4}$ . El bambú utilizado fue la especie guadua angustifolia con una edad mayor a los 4 años, contaba con un crecimiento aproximado de 15 años. El diámetro de los tallos de bambú en promedio era de 3.6 in.

El área inicial utilizada suponía un área de acero de 0.60 in<sup>2</sup> con 3 barras No. 4. Se procedió a analizar el efecto que podría obtener al reducir el acero a tensión, utilizando 3 barras

No. 3 que suponían un área de acero de 0.33 in<sup>2</sup>. Por efecto de su diferencia, el comportamiento que dio el sistema y el resultado positivo que se dio a partir del análisis de esfuerzos comparados a partir de la viga control se puede resaltar que el 27% de reducción de acero con un 3.02% de bambú es funcional.

El 100% de reducción de acero en la parte a tensión, en términos de refuerzo longitudinal, no resultó funcional. Al sustituir el área de acero de 0.60 in<sup>2</sup> con 3 barras No. 4 por 3 tablillas de bambú con un área de 0.93 in<sup>2</sup>, se obtuvieron resultados negativos en cuanto a resistencia a flexión.

La resistencia a flexión de las vigas  $V_{3.02\%B}$  es mayor a la resistencia de flexión de las vigas  $V_c$ . Las vigas  $V_{3.02\%B}$  tuvieron una resistencia promedio de 1684 PSI a los 28 días, en cambio las vigas  $V_c$  tuvieron una resistencia promedio de 1601 PSI a la misma edad, significando que la reducción de acero en la parte a tensión con un refuerzo adicional de bambú del 3.02% tuvo una resistencia mayor en un 4% a la viga a control.

La viga a control contaba con 3 barras No. 4 en la parte a tensión y la viga con el 3.02% de bambú contaba con 3 barras No. 3 y refuerzo del material mencionado. Se finaliza diciendo que la reducción de acero a tensión es posible si la viga se refuerza con tablillas de bambú. Las vigas  $V_{100\%B}$  mostraron una resistencia a flexión menor en comparación a las vigas  $V_c$ , lo que resalta que el refuerzo de bambú por sí solo en la parte a tensión de la viga no es lo suficientemente resistente como para sustituir el acero por el material.

Las vigas  $V_{100\%B}$  tuvieron una resistencia promedio de 771 PSI, menor a las vigas  $V_c$  en un 52% del esfuerzo obtenido a los 28 días. En conclusión, no es posible hacer una reducción de acero en la parte a tensión sustituyéndolo solo por tablillas de bambú.

#### REFERENCIAS

- [1] H. Gervásio, «La sustentabilidad del acero y las estructuras metálicas», 2010.
- [2] H. M. Sánchez, «Estado del Arte sobre las Escorias Negras de Horno de Arco Eléctrico y su Aplicaciones en Pavimentos», *Esprit Ingeniería*, vol. 7, n.º 1, Art. n.º 1, 2016, Accedido: 16 de agosto de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/lingenieux/article/view/1367>
- [3] L. R. B. Águila, O. C. Santos, y A. A. H. G., «Modelación de la dispersión de los contaminantes atmosféricos emitidos por Antillana de Acero», *Rev. Cuba. Meteorol.*, vol. 19, n.º 2, Art. n.º 2, jul. 2013.
- [4] C. E. C. García, «CARACTERIZACIÓN DE POLVO DE HUMOS DE LA FUNDICIÓN DE ACERO Y PROPUESTA DE TRATAMIENTO PARA SU DISPOSICIÓN FINAL.», *Agua Saneam. Ambiente*, vol. 7, n.º 1, Art. n.º 1, nov. 2012, doi: 10.36829/08ASA.v7i1.1466.
- [5] E. E. N. Medina, J. A. Ruiz, y A. B. Cabrera, «Producción de aceros al carbono en hornos de arco eléctrico en condiciones de mineral de manganeso.», 2007.
- [6] V. Raj, «Journal of Ferrocement», vol. 4, n.º 1, 1991, [En línea]. Disponible en: <https://idl-bnc-idrc.dspacedirect.org/server/api/core/bitstreams/6634d388-17cf-4d68-ae31-30775acf3d32/content?page=57>

- [7] ASTM C 143, «Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete». Accedido: 15 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: [https://www.astm.org/c0143\\_c0143m-12.html](https://www.astm.org/c0143_c0143m-12.html)
- [8] ASTM C39, «Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens». Accedido: 15 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: [https://www.astm.org/c0039\\_c0039m-21.html](https://www.astm.org/c0039_c0039m-21.html)
- [9] ASTM C 78, «Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)». Accedido: 15 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.astm.org/c0078-09.html>
- [10] ASTM C 138, «Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete». Accedido: 15 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: [https://www.astm.org/c0138\\_c0138m-17a.html](https://www.astm.org/c0138_c0138m-17a.html)
- [11] ISO 148-1, «ISO 148-1:2016», ISO. Accedido: 15 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.iso.org/standard/63802.html>
- [12] ISO 22156, «ISO 22156:2021», ISO. Accedido: 15 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.iso.org/standard/73831.html>
- [13] ASTM D 1434, «Standard Test Method for Determining Gas Permeability Characteristics of Plastic Film and Sheeting». Accedido: 19 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.astm.org/d1434-23.html>
- [14] ASTM D1666-20, «Standard Test Method for Hygroscopic Properties of Fire-Retardant Wood and Wood-Based Products». Accedido: 18 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: [https://www.astm.org/d3201\\_d3201m-20.html](https://www.astm.org/d3201_d3201m-20.html)