

# Bamboo as an Alternative or Reinforcement to Concrete in Beams in the City of Cajamarca 2024

Sánchez Guevara Márllyn Yadhaira, Bachelor's Degree in Civil Engineering<sup>1</sup>, Villanueva Chacón Marlon Gabriel, Bachelor's Degree in Civil Engineering<sup>2</sup>, Romero Cueva Yoner Jaime, Doctor<sup>3</sup>, Villanueva Bazán Lilian Rocío, Magister<sup>4</sup>

<sup>1, 2, 3, 4</sup>Universidad Privada del Norte, N00198984@upn.pe, N00208691@upn.pe, yoner.romero@upn.edu.pe, lilian.villanueva@upn.edu.pe

*Abstract- The use of natural materials in the construction industry aims to reduce pollution caused by this sector. This research investigates whether bamboo, as a natural material, can exhibit similar structural characteristics to traditional materials in concrete structures, focusing on flexural strength tests for beams. An analysis was conducted on the structural behavior of beams made of concrete, bamboo, and bamboo-reinforced concrete. The results show that plain concrete beams are stronger in terms of flexural strength than bamboo-reinforced concrete beams. However, bamboo-reinforced beams exhibited fewer cracks and did not fracture completely, unlike the plain concrete beams. Additionally, a weight comparison between the three types of beams revealed that bamboo beams are lighter, followed by bamboo-reinforced concrete beams, which would result in reduced structural loads. Lastly, an economic comparison found that bamboo beams are more cost-effective than the other types.*

*Keywords: Bamboo, Flexural strength, sustainability*

# El bambú como alternativa o refuerzo al concreto en vigas en la Ciudad de Cajamarca 2024

Sánchez Guevara Márylyn Yadhaira, Bachiller en Ingeniería Civil<sup>1</sup>, Villanueva Chacón Marlon Gabriel, Bachiller en Ingeniería Civil<sup>2</sup>, Romero Cueva Yoner Jaime, Doctor<sup>3</sup>, Villanueva Bazán Lilian Rocío, Magister<sup>4</sup>  
<sup>1, 2, 3, 4</sup>Universidad Privada del Norte, N00198984@upn.pe, N00208691@upn.pe, yoner.romero@upn.edu.pe, lilian.villanueva@upn.edu.pe

**Resumen-** *El uso de materiales naturales en la industria de la construcción tiene como finalidad reducir la contaminación producida por esta industria. Motivo por el cual, el objetivo de esta investigación es identificar si un material natural como es el bambú puede presentar las mismas características estructurales o similares en una estructura de concreto, haciendo uso de la experimentación mediante ensayos de resistencia a flexión para vigas. Se realiza un análisis del comportamiento estructural de vigas realizadas con concreto, bambú y vigas de concreto con bambú, en donde se obtuvieron como resultados que las vigas de concreto simple son más resistentes que las vigas de concreto reforzado con bambú ya que su resistencia a la flexión fue mayor, pero las vigas reforzadas con bambú presentaron menores fisuras llegando incluso a no fracturarse por completo como las muestras de concreto simple. A su vez se efectuó una comparación del peso entre los tres tipos de vigas realizadas, análisis que concluyó que las muestras de bambú son más ligeras, seguida por las muestras de concreto con bambú, significando menores cargas para la estructura. finalmente en una comparativa respecto a su beneficio económico las muestras de bambú resultaron ser más económicas que las demás.*

**Palabras Clave:** *Bambú, Resistencia a la flexión, sostenibilidad.*

## I. INTRODUCCIÓN

Actualmente el mundo está en constante cambio, las industrias han crecido cada vez más, lamentablemente dicha evolución trae consigo un incremento en la contaminación.

Existen distintas listas donde se enumeran el ranking de sectores industriales que generan o tienen un impacto negativo al cuidado del ambiente, la industria de la construcción se encuentra entre el puesto 5 o 6 [1] [2] [3].

La emisión de gases de carácter contaminante en el sector constructivo es un tema controversial, ya que al elaborar los materiales de construcción se generan distintos gases. Tan solo en Perú entre febrero del año 2021 y enero del año 2022 hubo una producción de cemento de 12.9MM TM [4] lo cual considerando que 1 tonelada de cemento representa alrededor de 0.8 toneladas de CO<sub>2</sub> generado [5], esto supone una emisión del 10.32 MM TM aproximadamente en dicho periodo.

Por ello surge la pregunta ¿Se puede obtener las mismas propiedades estructurales utilizando el bambú como sustituto a materiales convencionales en elementos estructurales en la ciudad de Cajamarca, 2024? Ya que el buscar nuevas alternativas que cumplan las características estructurales de los materiales convencionales es de vital importancia. Estas nuevas opciones además de ser amigables para el ambiente deben cumplir con ciertos requerimientos estructurales para así garantizar la seguridad y calidad de la obra.

En la antigüedad las construcciones se realizaban con materiales naturales, tal es el caso de los incas, sus construcciones lo realizaban con roca y madera.

Los materiales naturales o ecoamigables en la industria constructiva tienen gran importancia pues estos ayudan a que se produzcan menos gases contaminantes en comparación con otros materiales.

El bambú es un material que al ser natural, no genera gases polucionantes al momento de su elaboración ni produce algún residuo que pueda degradar el ambiente, ayudando así en la industria de la construcción a reducir los niveles de contaminación y/o impacto ambiental que esta genera con el uso de materiales convencionales, siendo así un material sostenible [6]. Además, presenta otros beneficios relacionados a su origen ya que es renovable, no es abrasivo y presentan una menor demanda energética para su producción [7].

Así mismo, este material tiene buenas propiedades estructurales, tanto así que en algunos lugares es conocido como “acero de la naturaleza” “acero vegetal”, esto debido a que las fibras que componen al bambú están ubicadas de manera longitudinal y en una cantidad considerable logrando así que su resistencia a cargas sea mayor [8]. Añadido a esto, la presencia de nudos en su estructura significa un aumento en su capacidad de soportar cargas cuando se encuentra sometido a flexo-compresión[6].

Acorde a diversas investigaciones realizadas con el mismo enfoque de buscar nuevos elementos que permitan obtener construcciones seguras pero sin causar un impacto ambiental negativo, se observó que el bambú genera un mejor rendimiento en los elementos estructurales que presenten a dicho material como refuerzo [9]. Así mismo, otras investigaciones señalan al bambú como un material alternativo viable y sostenible para la industria de la construcción debido a las propiedades que presenta [10]. Su renovabilidad es otra característica que hace de este un excelente recurso, ya que no necesita de procesos industriales para su obtención [11].

En otras investigaciones se presenta al bambú como una gran alternativa de refuerzo, llegando incluso a ser un gran sustituto del acero de construcción siendo así idóneo en zonas en las que el acero de construcción sea de acceso limitado, siempre y cuando no se sometan a cargas muy elevadas [12][13].

El objetivo principal de la presente investigación es analizar la factibilidad de hacer uso del bambú como material alternativo empleado en los elementos estructurales, reduciendo los desechos contaminantes que se producen en la ejecución de

obras de construcción civil en la ciudad de Cajamarca, además de reducir gastos en materiales, sin poner en riesgo la seguridad ni la calidad de las construcciones. Para llegar a este objetivo se necesitan de los siguientes objetivos específicos: Efectuar una comparación de las propiedades estructurales del bambú respecto al concreto y de ambos materiales en conjunto que se emplean en vigas, comparar el peso de dichas muestras de concreto, de bambú y las que fueron realizadas con ambos materiales de manera agrupada, para determinar qué tipo de viga genera menor carga en el diseño de una estructura y realizar un análisis comparativo en el beneficio económico sin que se vea afectada su resistencia.

## II. MÉTODOS Y MATERIALES

El enfoque utilizado en la investigación es de carácter cuantitativo, el cual se define como la representación de una secuencia de pasos continuos y probatorios, teniendo como característica principal el orden.

El diseño de la investigación es experimental, en este diseño la experimentación es la base para el desarrollo de la investigación. El corte es transversal, lo cual significa que los datos obtenidos para la investigación pertenecen a un solo momento en el tiempo. [14]

Para llevar a cabo la investigación se considera como población a las vigas reforzadas con caña de Bambú en la ciudad de Cajamarca. De la cual se extrae como muestra a 9 vigas elaboradas con concreto, 9 vigas solamente de caña de bambú *Guadua Angustifolia* y 9 vigas elaboradas de concreto con refuerzo de caña de bambú *Guadua Angustifolia*, cantidades que se detallan en la Tabla I. La medida de cada muestra es de 15 cm x 15 cm x 50 cm.

TABLA I  
CANTIDAD DE MUESTRAS DE CONCRETO Y BAMBÚ (VIGAS)

EDADES (días)	CONCRETO	BAMBÚ	CONCRETO + BAMBÚ	Total
14	3	3	3	9
21	3	3	3	9
28	3	3	3	9
<b>Total</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>27</b>

En la TABLA I se detallan la cantidad de muestras para cada uno de los casos de vigas que se someterán a los ensayos necesarios. (Fuente: Elaboración propia)

Para la elaboración de dichas muestras es necesario realizar el diseño de mezcla para dicho concreto, entonces haciendo uso del Método Walker para diseños de mezcla de  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$  se obtiene la dosificación del concreto.

Previo a elaborar el diseño de mezcla se debe recolectar los datos necesarios del agregado a usar. Para ello se realizan ensayos tanto para agregado fino como para agregado grueso, dichos ensayos están regulados por sus respectivos manuales.

Los ensayos son de granulometría (MTC E204), contenido de humedad (MTC E108), peso específico y absorción (MTC E205 para agregado fino y MTC E206 para agregado grueso), peso unitario suelto y compactado (MTC E203).

Como materiales principales para estos ensayos se tiene como agregado fino a la arena gruesa obtenida de la cantera “EL AGUILAR” ubicada en Tartar Chico - Baños del Inca – Cajamarca y como agregado grueso se tiene a la piedra de  $\frac{3}{4}$ ” obtenida de la misma cantera, el bambú fue obtenido de La Florida perteneciente al distrito de San Miguel– Cajamarca.

Una vez obtenido los datos de los ensayos de agregados se procede a realizar el diseño de mezcla por método Walker, considerando que será un concreto de  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ , desviación estándar de  $26.7 \text{ kg/cm}^2$ , debido a que las muestras no estarán sometidas a temperaturas extremas se considera una mezcla sin aire incorporado.

Para el caso del Bambú se debe someter a un tratamiento previo, el cual se realiza para evitar que el bambú sufra patologías propias de un material orgánico, ya sea por agentes abióticos generados por su exposición, o bióticos como hongos y bacterias que con el tiempo llegarían a degradar el material causando algún efecto negativo en el concreto[6]. Por ello, es importante que el bambú pase por un curado previo, en este caso el tratamiento al bambú se llevó a cabo en el mismo sitio donde se adquirió el material. El proceso fue someter las varillas de bambú a una solución con cal viva para poder exterminar cualquier agente tanto abiótico como biótico; así mismo fue sometido a un proceso de secado para poder ser almacenado.

Al momento de realizar los testigos de concreto con bambú se requiere sumergir por un periodo de 1 hora en agua a los pedazos de bambú que se van a usar para evitar que absorban el agua de la mezcla y no se altere su composición, evitando que se produzcan fisuras al momento de su secado previo a ser colocadas en curado.

Para el vaciado de concreto en los moldes se debe realizar en capas de 5 cm cada una y realizando el proceso de varillado, dando un golpe por cada  $14 \text{ cm}^2$  de superficie, dando un total de 60 golpes por capa con una varilla de 16mm de diámetro según lo establecido en la NTP 339.183.

Posterior a ello se debe desmoldar luego de 24 horas  $\pm$  8 horas según lo establecido en la NTP.339.183.

Inmediatamente después del desmoldado se debe colocar en curado sumergiendo los testigos prismáticos en agua durante el tiempo requerido acorde a la edad necesitada en cada muestra.

Finalmente se realizará el ensayo de resistencia a la flexión del concreto con el método de la viga simple cargada en el punto central detallado en el manual MTC E711 el cual se realizará en la máquina de compresión usando los accesorios necesarios para efectuar dicho ensayo.

### III. RESULTADOS

#### 1. Ensayos en agregados

Previo a realizar las muestras de concreto que serán estudiadas se deben efectuar ensayos a los componentes que formarán parte del concreto que será usado en las vigas sometidas a ensayos de flexión. Motivo por el cual, es importante determinar la granulometría, peso específico y absorción, contenido de humedad y peso unitario de los agregados.

##### A. Resultados de ensayos para agregado fino

Posterior a realizar los ensayos se obtuvo que el agregado fino presenta las características mostradas en la Tabla II.

**TABLA II**  
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS PARA EL AGREGADO FINO

ENSAYO	CARACTERÍSTICA	RESULTADO
Granulometría	Módulo de finura	2.75
Contenido de humedad	Porcentaje de humedad	0.81
Peso unitario	Peso unitario suelto	1.67
	Peso unitario compactado	1.81
Peso específico	Peso específico	2.51
	Absorción	1.04

En la TABLA II se muestran los resultados de los ensayos previos realizados para el agregado fino. (Fuente: Elaboración propia)

##### B. Resultados de ensayos para agregado grueso

Concluyendo los ensayos se obtuvo que el agregado grueso presenta las características mostradas en la Tabla III.

**TABLA III**  
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS PARA EL AGREGADO FINO

ENSAYO	CARACTERÍSTICA	RESULTADO
Granulometría	Tamaño máximo nominal	3/4"
Contenido de humedad	Porcentaje de humedad	0.19
Peso unitario	Peso unitario suelto	1.45
	Peso unitario compactado	1.53
Peso específico	Peso específico	2.64
	Absorción	1.08

En la TABLA III se muestran los resultados de los ensayos previos realizados para el agregado grueso. (Fuente: Elaboración propia)

#### 2. Diseño de mezcla

Después de hacer los ensayos a los agregados es importante realizar el diseño de la mezcla que será utilizada para las muestras, para el caso de la presente investigación se realizó el diseño para una mezcla de  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$  mediante el método Walker.

Obteniendo la siguiente dosificación mostrada en la Tabla IV y Tabla V.

**TABLA IV**  
DOSIFICACIÓN PARA MEZCLA DE  $F'C=280 \text{ KG/CM}^2$

COMPONENTE	DOSIFICACIÓN POR M3
Cemento	438.71 kg/m <sup>3</sup>
Agua efectiva	214.278 kg/m <sup>3</sup>
Agregado fino húmedo	635.113 kg/m <sup>3</sup>
Agregado grueso húmedo	993.855 kg/m <sup>3</sup>

En la TABLA IV se presenta la dosificación para el concreto de  $F'C=280\text{KG/CM}^2$  según el método Walker. (Fuente: Elaboración propia)

**TABLA V**  
DOSIFICACIÓN PARA MEZCLA DE  $F'C=280 \text{ KG/CM}^2$ , CANTIDADES REQUERIDAS PARA LOS ESPÉCIMENES.

COMPONENTE	DOSIFICACIÓN POR ESPÉCIMEN	DOSIFICACIÓN PARA 18 ESPÉCIMENES
Cemento	4.935 Kg	88.839 Kg
Agua efectiva	2.411 L	43.391 L
Agregado fino húmedo	7.145 Kg	128.610 Kg
Agregado grueso húmedo	11.181 Kg	201.256 Kg

En la TABLA V se muestra la dosificación de concreto para cada espécimen. (Fuente: Elaboración propia)

#### 3. Registro de peso de las muestras

Luego de realizar las muestras necesarias se procede a tomar registro del peso de cada una, obteniéndose los siguientes resultados presentados en la Tabla VI.

**TABLA VI**  
REGISTRO DEL PESO DE CADA UNO DE LAS MUESTRAS A ENSAYAR.

MUESTRA	CONCRETO SIMPLE	CONCRETO + BAMBÚ	BAMBÚ
M1	27.9 kg	26.5 kg	1.12 kg
M2	27.7 kg	26.6 kg	1.28 kg
M3	27.7 kg	26.8 kg	0.52 kg
M4	27.2 kg	26.5 kg	0.84 kg
M5	27.9 kg	26.4 kg	1 kg
M6	27.8 kg	26.4 kg	1.34 kg
M7	26.5 kg	26.6 kg	1.28 kg
M8	27.7 kg	26.7 kg	1.06 kg
M9	27.6 kg	26.9 kg	1.2 kg
<b>PROMEDIO</b>	<b>27.6 kg</b>	<b>26.6 kg</b>	<b>1.1 kg</b>

En la TABLA VI se registran el peso de cada uno de los especímenes. (Fuente: Elaboración propia)

4. *Ensayo de flexión del concreto método de la viga simple cargada en el punto central*

Las vigas fueron sometidas a cargas en el punto central, de lo cual se obtienen los resultados acordes a las edades de curado de cada muestra, presentando así en la Tabla VII para las muestras de edad de 28 días, en la Tabla VIII para las muestras de 21 días, en la Tabla IX para las muestras de 14 día de curado.

**TABLA VII**  
RESULTADOS DEL ENSAYO DE FLEXIÓN PARA MUESTRAS CON EDAD 28 DÍAS.

CONCRETO SIMPLE		CONCRETO + BAMBÚ	
MUESTRA	kg/cm2	MUESTRA	kg/cm2
M1-C	163.16	M1-C+B	111.31
M2-C	84.62	M2-C+B	97.02
M3-C	78.36	M3-C+B	97.71
<b>PROMEDIO</b>	<b>108.71</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>102.01</b>
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>	<b>47.26</b>	<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>	<b>8.06</b>

En la TABLA VII se presentan los valores obtenidos después de someter las vigas tanto de concreto simple como las de concreto reforzado con bambú, ambos tipos de vigas fueron sometidas al ensayo de flexión tras haber estado 28 días en curado. (Fuente: Elaboración propia)

**TABLA VIII**  
RESULTADOS DEL ENSAYO DE FLEXIÓN PARA MUESTRAS CON EDAD 21 DÍAS.

CONCRETO SIMPLE		CONCRETO + BAMBÚ	
MUESTRA	kg/cm2	MUESTRA	kg/cm2
M4-C	87.04	M4-C+B	79.71
M5-C	85.73	M5-C+B	91.11
M6-C	90.18	M6-C+B	81.82
<b>PROMEDIO</b>	<b>87.65</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>84.21</b>
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>	<b>2.29</b>	<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>	<b>6.07</b>

En la TABLA VIII se presentan los valores obtenidos después de someter las vigas tanto de concreto simple como las de concreto reforzado con bambú, ambos tipos de vigas fueron sometidas al ensayo de flexión tras haber estado 21 días en curado. (Fuente: Elaboración propia)

**TABLA IX**  
RESULTADOS DEL ENSAYO DE FLEXIÓN PARA MUESTRAS CON EDAD 14 DÍA.

CONCRETO SIMPLE		CONCRETO + BAMBÚ	
MUESTRA	kg/cm2	MUESTRA	kg/cm2
M7-C	78.02	M7-C+B	73.58
M8-C	77.67	M8-C+B	75.91
M9-C	77.4	M9-C+B	67.58
<b>PROMEDIO</b>	<b>77.7</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>72.36</b>
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>	<b>0.31</b>	<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>	<b>4.3</b>

En la TABLA IX se presentan los valores obtenidos después de someter las vigas tanto de concreto simple como las de concreto reforzado con bambú, ambos tipos de vigas fueron sometidas al ensayo de flexión tras haber estado 14 días en curado. (Fuente: Elaboración propia)

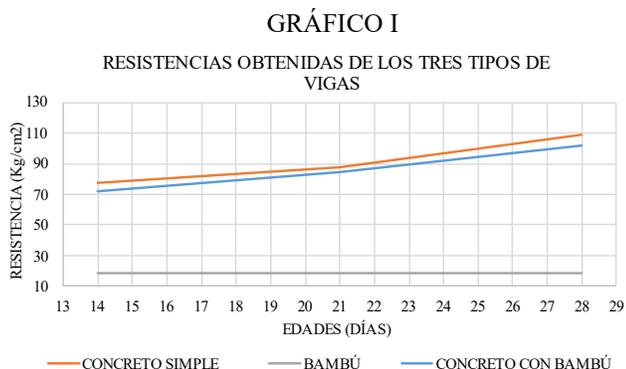
En la Tabla X se presenta los resultados de los ensayos realizados al bambú, los cuales al no requerir días de curado se analizó en grupo general de 9 muestras para posteriormente comparar con cada una de las edades de las vigas de concreto.

**TABLA X**  
RESULTADOS DEL ENSAYO DE FLEXIÓN PARA MUESTRAS DE BAMBÚ.

BAMBÚ	
MUESTRA	kg/cm2
M1-B	13.02
M2-B	26.85
M3-B	15.43
M4-B	25.92
M5-B	14.79
M6-B	21.7
M7-B	21.12
M8-B	13.02
M9-B	12.09
<b>PROMEDIO</b>	<b>18.22</b>
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>	<b>5.76</b>

En la TABLA X se muestran los resultados después de someter las vigas de bambú a los ensayos de flexión, se trabajó con los 9 especímenes de este tipo de viga en la misma fecha debido a que no hay una comparativa de curado en este material. (Fuente: Elaboración propia)

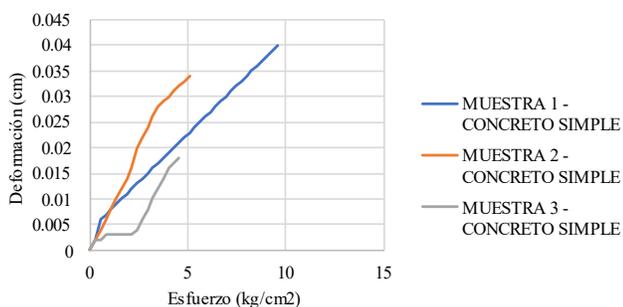
Añadido a esto se presenta en el GRÁFICO I la curva comparativa de las resistencias de tres tipos de vigas en las diferentes edades, en dicha curva se puede apreciar el aumento de la resistencia así como también resulta más fácil compararlas.



En el GRÁFICO I se muestran para cada tipo de viga su curva formada por los resultados de los ensayos de flexión en cada edad de curado. (Fuente: Elaboración propia)

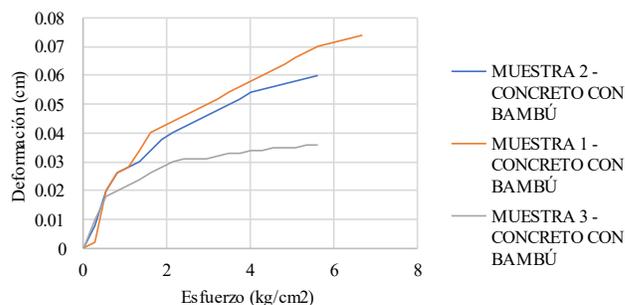
Así mismo se muestran en la GRÁFICO II, GRÁFICO III, GRÁFICO IV, GRÁFICO V, GRÁFICO VI, GRÁFICO VII y GRÁFICO VIII las curvas de flexión que se obtuvieron después de realizar el ensayo, en dichas graficas se puede apreciar desde el momento en el que se empieza a someter a esfuerzos a cada una de las vigas y su deformación hasta el punto final, donde se quiebran las vigas de concreto simple, las vigas de concreto con bambú llegan al fallo permitido por la máquina y las vigas de bambú se fisuran longitudinalmente.

**GRÁFICO II**  
CURVA DE FLEXIÓN MUESTRAS DE CONCRETO SIMPLE 28 DÍAS



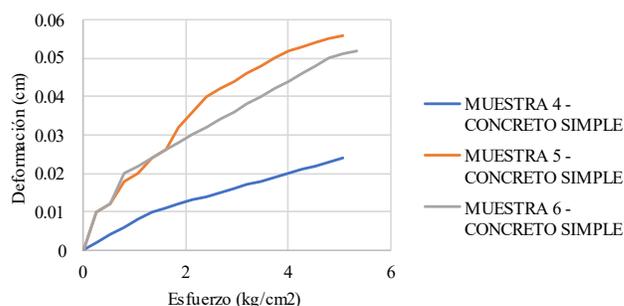
En el GRÁFICO II se presentan las curvas de flexión para las vigas de concreto simple sometidas a ensayos después de 28 días de curado. (Fuente: Elaboración propia)

**GRÁFICO III**  
CURVA DE FLEXIÓN MUESTRAS DE CONCRETO CON BAMBÚ 28 DÍAS



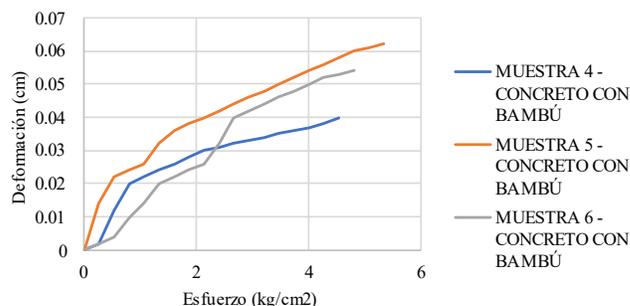
En el GRÁFICO III se presentan las curvas de flexión para las vigas de concreto reforzado con bambú que fueron sometidas a ensayos después de 28 días de curado. (Fuente: Elaboración propia)

**GRÁFICO IV**  
CURVA DE FLEXIÓN MUESTRAS DE CONCRETO SIMPLE 21 DÍAS



En el GRÁFICO IV se presentan las curvas de flexión para las vigas de concreto simple sometidas a ensayos después de 21 días de curado. (Fuente: Elaboración propia)

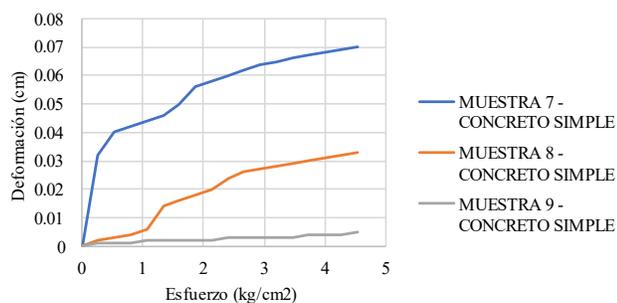
**GRÁFICO V**  
CURVA DE FLEXIÓN MUESTRAS DE CONCRETO CON BAMBÚ 21 DÍAS



En el GRÁFICO V se presentan las curvas de flexión para las vigas de concreto reforzado con bambú que fueron sometidas a ensayos después de 21 días de curado. (Fuente: Elaboración propia)

GRÁFICO VI

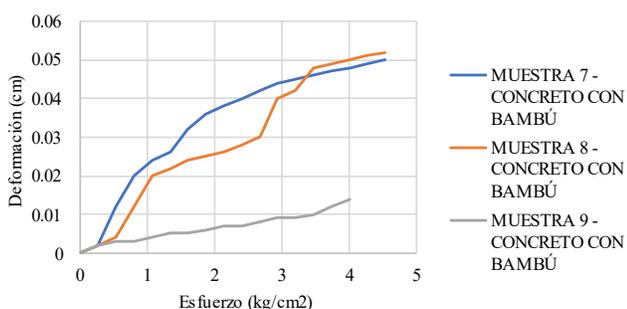
CURVA DE FLEXIÓN MUESTRAS DE CONCRETO SIMPLE 14 DÍAS



En el GRÁFICO VI se presentan las curvas de flexión para las vigas de concreto simple sometidas a ensayos después de 14 días de curado. (Fuente: Elaboración propia)

GRÁFICO VII

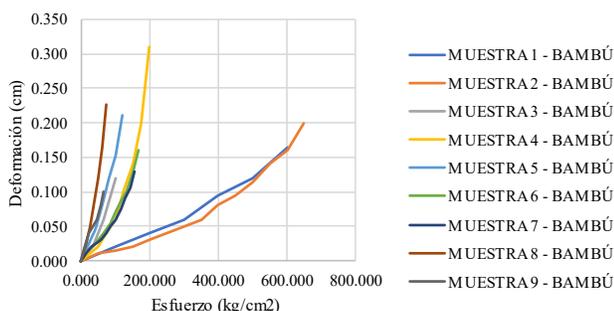
CURVA DE FLEXIÓN MUESTRAS DE CONCRETO CON BAMBÚ 14 DÍAS



En el GRÁFICO VII se presentan las curvas de flexión para las vigas de concreto reforzado con bambú que fueron sometidas a ensayos después de 14 días de curado. (Fuente: Elaboración propia)

GRÁFICO VIII

CURVA DE FLEXIÓN MUESTRAS DE BAMBÚ



En el GRÁFICO VIII se presentan las curvas de flexión para las vigas de bambú que fueron sometidas a ensayos de flexión. (Fuente: Elaboración propia)

Así mismo se realiza un análisis estadístico teniendo en cuenta las cargas últimas soportadas por las vigas. Por ello, se muestra en la Tabla XI, Tabla XII, Tabla

XIII y Tabla XIV los distintos tipos de vigas y sus valores de cargas últimas así como las medidas de tendencia obtenidas de dichos valores. Además, otra que se considerará en el análisis es el chi-cuadrado para cada uno de los tipos de vigas y días de curado.

TABLA XI

CARGAS ULTIMAS Y MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL PARA VIGAS DE 28 DÍAS DE CURADO.

CONCRETO SIMPLE		CONCRETO + BAMBÚ	
MUESTRA	CARGA ÚLTIMA	MUESTRA	CARGA ÚLTIMA
M1-C	7342	M1-C+B	5009
M2-C	3808	M2-C+B	4366
M3-C	3526	M3-C+B	4397
<b>MEDIA</b>	<b>4892</b>	<b>MEDIA</b>	<b>4590.7</b>
<b>MEDIANA</b>	<b>3808</b>	<b>MEDIANA</b>	<b>4397</b>
<b>MODA</b>	<b>3526</b>	<b>MODA</b>	<b>4366</b>
<b>Chi-cuadrado</b>	<b>1848.63</b>	<b>Chi-cuadrado</b>	<b>57.29</b>
<b>p-valor</b>	<b>0</b>	<b>p-valor</b>	<b>0.000000000000363</b>

En la TABLA XI se presentan las cargas últimas obtenidas de las vigas de concreto simple y las reforzadas con bambú a 28 días de curado, además de sus medidas de tendencia central para su análisis estadístico. (Fuente: Elaboración propia)

TABLA XII

CARGAS ULTIMAS Y MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL PARA VIGAS DE 21 DÍAS DE CURADO.

CONCRETO SIMPLE		CONCRETO + BAMBÚ	
MUESTRA	CARGA ÚLTIMA	MUESTRA	CARGA ÚLTIMA
M4-C	3917	M4-C+B	3587
M5-C	3858	M5-C+B	4100
M6-C	4058	M6-C+B	3682
<b>MEDIA</b>	<b>3944.3</b>	<b>MEDIA</b>	<b>3789.7</b>
<b>MEDIANA</b>	<b>3917</b>	<b>MEDIANA</b>	<b>3682</b>
<b>MODA</b>	<b>3858</b>	<b>MODA</b>	<b>3587</b>
<b>Chi-cuadrado</b>	<b>5.35</b>	<b>Chi-cuadrado</b>	<b>39.31</b>
<b>p-valor</b>	<b>0.069</b>	<b>p-valor</b>	<b>0.000000002910000</b>

En la TABLA XII se presentan las cargas últimas obtenidas de las vigas de concreto simple y las reforzadas con bambú a 21 días de curado, además de sus medidas de tendencia central para su análisis estadístico. (Fuente: Elaboración propia)

**TABLA XIII**  
CARGAS ULTIMAS Y MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL PARA  
VIGAS DE 14 DÍAS DE CURADO.

CONCRETO SIMPLE		CONCRETO + BAMBÚ	
MUESTRA	CARGA ÚLTIMA	MUESTRA	CARGA ÚLTIMA
M7-C	3511	M7-C+B	3311
M8-C	3495	M8-C+B	3416
M9-C	3483	M9-C+B	3041
<b>MEDIA</b>	<b>3496.3</b>	<b>MEDIA</b>	<b>3256</b>
<b>MEDIANA</b>	<b>3495</b>	<b>MEDIANA</b>	<b>3311</b>
<b>MODA</b>	<b>3483</b>	<b>MODA</b>	<b>3041</b>
<b>Chi-cuadrado</b>	<b>0.11</b>	<b>Chi-cuadrado</b>	<b>22.99</b>
<b>p-valor</b>	<b>0.945</b>	<b>p-valor</b>	<b>0.000010200000000</b>

En la TABLA XIII se presentan las cargas últimas obtenidas de las vigas de concreto simple y las reforzadas con bambú a 14 días de curado, además de sus medidas de tendencia central para su análisis estadístico. (Fuente: Elaboración propia)

**TABLA XIV**  
CARGAS ULTIMAS Y MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL PARA  
VIGAS DE BAMBÚ.

BAMBÚ	
MUESTRA	kg/cm2
M1-B	600
M2-B	1300
M3-B	300
M4-B	800
M5-B	600
M6-B	1000
M7-B	1100
M8-B	600
M9-B	600
<b>MEDIA</b>	<b>766.7</b>
<b>MEDIANA</b>	<b>600</b>
<b>MODA</b>	<b>600</b>
<b>Chi-cuadrado</b>	<b>1017.39</b>
<b>p-valor</b>	<b>0</b>

En la TABLA XIV se presentan las cargas últimas obtenidas de las vigas de bambú, además de sus medidas de tendencia central para su análisis estadístico. (Fuente: Elaboración propia)

En el caso de las vigas de concreto simple se puede verificar que efectivamente mientras más días de curado tenga la viga mayor será la carga que resista, la diferencia de la media y mediana a 28 días de curado muestra la presencia de valores atípicos.

Para las vigas de concreto reforzado con bambú pasa lo mismo que con las vigas de concreto simple, a más días de curado presenta una mayor carga última. Pero en este caso la diferencia entre la media y mediana al ser menor demuestra una menor variabilidad.

Y por último para las vigas de bambú al no presentar días de curado se analizaron las cargas últimas de las 9 muestras, en donde se observa claramente una menor resistencia, con una media de 766.7 kgf. La media de 600 kgf y la moda de 600 kgf nos indican también que la carga última soportada por estas vigas es menor que las vigas de concreto simple y las vigas de concreto reforzado con bambú, y con ello una menor resistencia.

Para el caso de los valores de chi cuadrado se analizaron independientemente agrupando las vigas por tipo y días de curado, con lo cual se puede apreciar que para las vigas de concreto simple a 28 días el valor de chi cuadrado es muy alto y el p-valor es 0.0; lo que sugiere que las diferencias observadas son altamente importantes. A 21 días el valor de chi-cuadrado es moderado y el p-valor es 0.069 lo que indica que las diferencias observadas no son estadísticamente significativas a un nivel de 5% de significancia. A 14 días el valor de chi-cuadrado es muy bajo y el p-valor es de 0.945 mostrando que no hay diferencias significativas en las resistencias observadas.

En las vigas de concreto reforzado con bambú a 28 días de curado el valor de chi-cuadrado es muy alto y el p-valor es extremadamente bajo mostrando que existen diferencias altamente significativas. A 21 días de curado el valor de chi-cuadrado es alto y el p-valor es muy bajo presentando diferencias considerables. Para 14 días de curado el valor de chi-cuadrado es moderado y el p-valor es bajo indicando diferencias significativas menores.

Para las vigas de bambú el valor de chi cuadrado es muy alto y el p-valor es 0.0 por consecuente se muestran diferencias altamente relevantes.

#### 5. Comparativa de costos.

Como punto adicional se consideró analizar la diferencia de costos de materiales para la elaboración de un espécimen de cada tipo de vigas, tal como se detalla en la TABLA XV, TABLA XVI y TABLA XVII, cabe mencionar que los precios están sujetos a cambios acorde al mercado.

**TABLA XV**

**COSTO DE LA ELABORACIÓN DE UN ESPÉCIMEN DE CONCRETO SIMPLE.**

MATERIAL	CANTIDAD DE VENTA	PRECIO DE VENTA	CANTIDAD A UTILIZAR	PRECIO PAGADO
CEMENTO	42.5 Kg	S/ 31.90	4.935 Kg	S/ 3.70
AGREGADO GRUESO	30 Kg	S/ 5.00	11.181 Kg	S/ 1.86
AGREGADO FINO	35 Kg	S/ 5.00	7.145 Kg	S/ 1.02
<b>TOTAL</b>				S/ 6.58

En la TABLA XV se presentan los precios de los materiales que fueron empleados en la elaboración de una viga de concreto simple. (Fuente: Elaboración propia)

**TABLA XVI**

**COSTO DE LA ELABORACIÓN DE UN ESPÉCIMEN DE CONCRETO REFORZADO CON BAMBÚ.**

MATERIAL	CANTIDAD DE VENTA	PRECIO DE VENTA	CANTIDAD A UTILIZAR	PRECIO PAGADO
CEMENTO	42.5 Kg	S/ 31.90	4.935 Kg	S/ 3.70
AGREGADO GRUESO	30 Kg	S/ 5.00	11.181 Kg	S/ 1.86
AGREGADO FINO	35 Kg	S/ 5.00	7.145 Kg	S/ 1.02
BAMBÚ	1 Und.	S/ 50.00	0.09 Und.	S/ 4.50
<b>TOTAL</b>				S/ 11.08

En la TABLA XVI se presentan los precios de los materiales que fueron empleados en la elaboración de una viga de concreto reforzado con Bambú. (Fuente: Elaboración propia)

**TABLA XVII**

**COSTO DE LA ELABORACIÓN DE UN ESPÉCIMEN DE BAMBÚ.**

MATERIAL	CANTIDAD DE VENTA	PRECIO DE VENTA	CANTIDAD A UTILIZAR	PRECIO PAGADO
BAMBÚ	1 Und.	S/ 50.00	0.09 Und.	S/ 4.50
<b>TOTAL</b>				S/ 4.50

En la TABLA XVI se presentan los precios de los materiales que fueron empleados en la elaboración de una viga de Bambú. (Fuente: Elaboración propia)

#### IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

##### 1. Discusión

Posterior a efectuar el procesamiento de datos recolectados de los ensayos se observa que en relación al peso de las vigas, al promediar el peso de las vigas de bambú resultó que estas son las más ligeras en comparación con los otros tipos de vigas, así mismo las vigas de concreto reforzado con bambú resultaron tener un mayor peso que las vigas de bambú pero siendo menor que las de concreto simple.

Analizando los resultados de resistencia a flexión se observa que con edad de 28 días de curado las vigas de concreto simple presentan mayor resistencia teniendo una

resistencia promedio de 108.71 kg/cm<sup>2</sup>, para 21 días de curado las vigas de concreto simple tienen aún mayor resistencia a flexión presentando una resistencia promedio de 87.65 kg/cm<sup>2</sup> y por último para 14 días de curado las vigas de concreto simple presenta la mayor resistencia con un promedio de 77.7 kg/cm<sup>2</sup>.

Una observación notada al someter a flexión las vigas fue que las vigas de concreto simple al llegar a su carga máxima se fracturaban partiéndose por la mitad, a diferencia de las vigas de concreto reforzado con bambú, las cuales al llegar a cierto punto de carga presenta una falla dúctil la cual no parte por la mitad a la viga, habiendo incluso vigas que las fisuras eran mínimas, demostrando teóricamente que podría soportar una carga incluso mayor, ya que al someter a flexión a las vigas con edad de 28 días 2 de los 3 testigos presentaron mayor resistencia comparada con las de concreto simple. Sin embargo, debido a la máquina en la cual se sometió a ensayo a las muestras, al llegar a la carga que genera la falla se detiene, por ello no se pudo ejecutar completo el ensayo hasta el punto de que la viga se fragmente en dos. En el caso de los bambúes al someterlas a flexión las fisuras en la muestra aparecieron longitudinalmente.

Con ello se demuestra la apreciación de Saini et al. [4] ya que efectivamente el bambú usado como refuerzo en las vigas de concreto simple sí presentan un mejor rendimiento evitando la fractura total de la viga. Así mismo, como menciona Tsutsumoto et al. [8] se puede usar como refuerzo en lugar del acero en elementos estructurales que no estén sometidos a cargas muy elevadas como se indica en la investigación de Kumar et al. [7].

Adicionalmente tras la evaluación de los costos generados por cada tipo de viga en su elaboración se observó que la viga de bambú presenta mayor beneficio económico que las otras vigas, siendo 31.61% más económicas que las vigas de concreto simple.

##### 2. Conclusiones

En conclusión, las vigas de concreto simple presentan mayor resistencia frente a vigas de concreto reforzado y vigas de bambú, pero esto fue debido a que la máquina no permitió llegar a la carga máxima que logre fragmentar a la viga de concreto con Bambú. En el caso de las grietas generadas cuando se sometieron a flexión, las vigas de concreto reforzado presentaron fisuras mínimas, sin llegar a partirse en dos secciones. En cambio, las vigas sin bambú se quebraron a la mitad.

Las vigas de bambú son las vigas más ligeras comparadas con los otros tipos de muestras estudiadas y se determinó que las vigas de concreto reforzado con el material ecoamigable pesa menos que las realizadas solo con concreto lo cual supondría menores cargas de dicho elemento estructural.

Por ello se concluye que las vigas de concreto simple presentan levemente una mayor resistencia, pero las vigas de bambú son las más ligeras y económicas, y las vigas de concreto reforzado con bambú presentaron las fisuras menos

notorias. Por lo tanto, las vigas de bambú exhiben gran beneficio en la construcción de edificaciones de un solo nivel, ya que significan menores cargas a las columnas que deban soportarlas y menor gasto en el presupuesto de la edificación, pero las de concreto reforzado con bambú al haber presentado un daño mínimo ante la falla por cortante supone que estas no colapsarían como las vigas de concreto siendo más seguras, logrando ser una buena alternativa ya que su resistencia es casi similar a las de concreto simple.

### 3. Recomendaciones

La principal recomendación es que al elaborar las vigas de concreto reforzado se utilice el bambú en retazos longitudinales, simulando varillas de acero, ya que así el bambú no fisurará las muestras, así mismo al momento de realizar el varillado de estas se debe tener cuidado en los bordes para evitar cangrejas en el elemento estructural.

Es sustancial hacer hincapié que previamente a elaborar los testigos que serán reforzados con bambú este debe ser remojado, ya que al realizar unas muestras con las varillas completamente secas estas absorbieron el agua de la mezcla y con ello se hincharon generando así las fisuras mencionadas, motivo por el cual dichos fueron desechadas del presente análisis comparativo ejecutado.

Además, se sugiere que al hacer el ensayo de flexión a las vigas de concreto reforzado con Bambú se configure la máquina para ejecutar el ensayo hasta que la viga se fracture completamente, no solo hasta que la viga llegue al fallo dúctil y las cargas empiecen a reducir para poder determinar la carga máxima real que supondría la fractura total de estas muestras.

### AGRADECIMIENTO/RECONOCIMIENTO

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a todas las personas que de una u otra manera nos han brindado su apoyo para poder llegar hasta aquí, a nuestros familiares y amigos por siempre alentarnos a nunca rendirnos, darnos la motivación necesaria para seguir en pie. También agradecer a nuestros docentes que nos brindaron el conocimiento que nos forjó el camino que recorrimos hasta este punto. Este logro en nuestras vidas no sería posible sin cada uno de ustedes. Agradecemos profundamente su apoyo.

### REFERENCIAS

- [1] Expok. (2024). Las 6 industrias más contaminantes en 2024. ExpokNews. <https://www.expoknews.com/las-6-industrias-mas-contaminantes-en-2024/>
- [2] Club De Empresas. (2024). Las 6 industrias más contaminantes del 2024. clubdeempresas.com. <https://clubdeempresas.com/sustentabilidad/las-6-industrias-mas-contaminantes-del-2024-nid-7431>
- [3] Derichebourg España. (2023). ¿Cuál es la industria más contaminante? Derichebourg España - Gestion Integral De Residuos. <https://www.derichebourgespana.com/cual-es-la-industria-mas-contaminante/>
- [4] ASOCEM. (2022). Reporte Estadístico Mensual ENERO 2021. LIMA. MIRAFLORES: ASOCEM.

- [http://www.asocem.org.pe/archivo/files/Reporte-Estad%20C3%ADstico-Mensual/2022-01/2022-01\\_Reporte%20Estadistico.pdf](http://www.asocem.org.pe/archivo/files/Reporte-Estad%20C3%ADstico-Mensual/2022-01/2022-01_Reporte%20Estadistico.pdf)
- [5] Pontificia Universidad Católica Del Perú. (s.f.). Emisiones de carbono de carbono la industria del cemento vs cemento verde. PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ, LIMA. LIMA: PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ. <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/civilizate/article/download/18621/18859/#:~:text=Huella%20de%20carbono%20para%20la%20producci%C3%B3n%20de%20A&text=g%20GC%20E2%86%92%20Produce%20en.por%20cada%20tonelada%20de%20cemento.>
  - [6] Edgar, S. M. (2020). Investigación Formativa en Ingeniería (ed. 4). In Zenodo (CERN European Organization for Nuclear Research). <https://doi.org/10.5281/zenodo.4031253>
  - [7] Hernández-Zamora, M. F., Jiménez-Martínez, S. I., & Sánchez-Monge, J. I. (2021). Materiales alternativos como oportunidad de reducción de impactos ambientales en el sector construcción. Tecnología En Marcha. <https://doi.org/10.18845/tm.v34i2.4831>
  - [8] L. M. N. Andrés, “Análisis del comportamiento estructural del bambú del tipo ‘Guadúa Angustifolia Kunth’ como material de construcción en sustitución del hormigón armado,” Aug. 01, 2019. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17760>
  - [9] K. Saini, V. Matsagar, and V. R. Kodur, “Recent advances in the use of natural fibers in civil engineering structures,” Construction and Building Materials, vol. 411, p. 134364, Jan. 2024, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2023.134364.
  - [10] “EL BAMBÚ: UNA SOLUCIÓN ECOLÓGICA SUSTENTABLE COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN | TZHOECOEN.” <https://revistas.uss.edu.pe/index.php/tzh/article/view/1264/1326>
  - [11] A. G. Jiménez, “Análisis del desempeño mecánico de una mezcla asfáltica modificada con fibra de bambú,” Infraestructura Vial, vol. 23, no. 42, pp. 44–52, Jul. 2021, doi: 10.15517/iv.v23i42.44839.
  - [12] P. Kumar, P. Gautam, S. Kaur, M. Chaudhary, A. Afreen, and T. Mehta, “Bamboo as reinforcement in structural concrete,” Materials Today: Proceedings, vol. 46, pp. 6793–6799, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2021.04.342.
  - [13] N. Y. Tsutsumoto, J. L. P. Melges, C. F. Fioriti, J. L. Akasaki, and M. M. Tashima, “Análisis de vigas de hormigón con refuerzo adicional a la armadura de talas de bambú,” Revista De Ingeniería De Construcción, vol. 34, no. 2, pp. 124–135, Aug. 2019, doi: 10.4067/s0718-50732019000200124.
  - [14] Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2014). METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN. Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana.