

Análisis de la deformación axial en columnas de prototipo de vivienda rural construido con bambú en Bagua Chica, Perú

Analysis of axial deformation in columns of a rural housing prototype built with bamboo in Bagua Chica, Peru

Análise da deformação axial em colunas de protótipo de habitação rural construído com bambu em Bagua Chica, Peru

Emerson Cuadros¹, Guido Ordoñez², Yesenia Santillan², Jairo Danducho²

DOI: <https://doi.org/10.55996/dekamuagropec.v4i1.144>

RESUMEN

El objetivo 11 del desarrollo sostenible ONU promueve la construcción de infraestructuras resilientes. En ese sentido, la región Amazonas es productoras de bambú, presenta una oportunidad para desarrollar el uso de esta planta y lograr dicho objetivo, es por ello que la presente investigación ha explorado las propiedades mecánicas del bambú, para ello se ha diseñado y construido un prototipo de vivienda rural a escala real para evaluar el comportamiento axial de las columnas, de esta edificación frente a una carga adicional permanente de 0.40 kN/m. También se ha monitorizado con un sistema mixto: para la temperatura y humedad se ha utilizado sensores de bajo costo calibrados montados sobre un sistema de prototipado electrónico de código abierto que, mediante una conexión Wifi incorporado permitió enviar las mediciones a una base de datos en la nube; por otra parte, para el control de los desplazamientos se ha utilizado comparadores mecánicos calibrados, sus mediciones se realizaron mediante un sistema de video inalámbrica. Los resultados indican que se ha alcanzado una deformación máxima de $\epsilon = 8 \times 10^{-5}$ y que las columnas aún se encuentran en el 1.6% del límite elástico lo que indica un buen desempeño y un alto factor de seguridad.

Palabras claves: Bambú, deformación Axial, Prototipo, vivienda rural, construcción bajo costo, pruebas experimentales.

ABSTRACT

The UN Sustainable Development Goal 11 promotes the construction of resilient infrastructures. In this sense, the Amazon region is a producer of bamboo, which presents an opportunity to develop the use of this plant and achieve this goal, which is why this research has explored the mechanical properties of bamboo, for this purpose a prototype of a full-scale rural house has been designed and built to evaluate the axial behavior of the columns of this building against an additional permanent load of 0.40 kN/m. It has also been monitored with a mixed system: for temperature and humidity it has been used low cost calibrated sensors mounted on an open source electronic prototyping system that, through an embedded Wifi connection allowed sending the measurements to a database in the cloud; on the other hand, for displacement control it has been used calibrated mechanical comparators, their measurements were performed through a wireless video system. The results indicate that a maximum deformation of $\epsilon = 8 \times 10^{-5}$ has been reached and that the columns are still at 1.6% of the elastic limit which indicates a good performance and a high safety factor.

Keywords: Bamboo, Axial deformation, Prototype, rural housing, low-cost construction, experimental tests.

¹Universidad Politécnica de Catalunya, España: emerson.julio.cuadros@upc.edu

²Universidad Nacional Intercultural Fabiola Salazar Leguía de Bagua, Perú: gordon@unibagua.edu.pe; ysantillan@unibagua.edu.pe; jdanduchop@unibagua.edu.pe

RESUMO

O Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 11 da ONU promove a construção de infraestruturas resilientes. Neste sentido, a região amazônica é produtora de bambu, o que representa uma oportunidade para desenvolver a utilização desta planta e atingir este objetivo, razão pela qual esta investigação explorou as propriedades mecânicas do bambu, pois foi concebido e construído um protótipo de habitação rural à escala real para avaliar o comportamento axial das colunas deste edifício face a uma carga adicional permanente de 0,40 kN/m. Foi também monitorizado com um sistema misto: para a temperatura e a humidade, foram utilizados sensores calibrados de baixo custo montados num sistema de prototipagem eletrónica de código aberto, que, através de uma ligação Wifi integrada, permitiram enviar as medições para uma base de dados na nuvem; por outro lado, para o controlo do deslocamento, foram utilizados comparadores mecânicos calibrados, cujas medições foram feitas através de um sistema de vídeo sem fios. Os resultados indicam que foi atingida uma deformação máxima de $\epsilon = 8 \times 10^{-5}$ e que as colunas ainda se encontram a 1,6% do limite elástico, o que indica um bom desempenho e um elevado fator de segurança.

Palavras-chave: Bambu, Deformação axial, Protótipo, habitação rural, construção de baixo custo, ensaios experimentais.

INTRODUCCIÓN

El bambú es una planta de la familia de las gramíneas y un material mixto bifásico de gradiente natural compuesto por fibras y células de parénquima (Yuan et al., 2019; Jing Yuan et al., 2021). Se utiliza ampliamente para la construcción en diferentes partes del mundo, con un mayor índice en países orientales y en regiones selváticas de América. Aunque, se tiene constancia de su uso desde épocas precolombinas (Hidalgo-Lopez, 2003), en la región selva, como se muestra en la Figura 1, las construcciones típicas rurales en su mayoría se realizan con madera y no con bambú. No obstante, el uso del bambú está muy extendido en países orientales como las áreas tropicales y subtropicales de China, donde su uso data de más de 7.000 años (Chen et al., 2020), principalmente como componente estructural de las edificaciones (Chen et al., 2020; Nie et al., 2021) esto está relacionado generalmente con lugares de bajos recursos económicos y de países como India, Filipinas, Colombia, Ecuador y Etiopía, generalmente llamadas "casas Mizo", "cabañas Nipa", "Bahareque", "Quincha" y "Sidama" (Chen et al., 2022). El bambú también se puede utilizar en la construcción de puentes, pasarelas (Paraskeva, 2017), andamios (Chung & Yu, 2002), el primero se construyó hace 5000 años, encofrados de puentes y edificios. Las zonas de Bagua tienen similares características climáticas a la región, por lo que su aplicación pudiera ser posible. Actualmente, el uso de bambú está restringido a familias menos favorecidas y su uso en la ejecución de obras civiles, es mínimo debido a la falta de conocimiento y praxis entre los constructores de esta región. A pesar de esto existe una mínima industria del bambú que mantiene activo este flujo.

El bambú tiene ventajas, tales como la corta tasa de crecimiento y ciclo de rotación, lo que permite que se pueda utilizar con mayor frecuencia, ser renovable y ecológico lo que le convierte en una mejor opción,

desde el punto de vista ambiental, a otros materiales de construcción como ladrillos, cemento y acero. Además, sus buenas propiedades mecánicas y ecológicas (Ghavami, 2005; Tian et al., 2019; van der Lugt, 2006), convierten al Bambu en un candidato para la sustitución de madera cuya extracción no planificada causa daños irreparables en la Amazonía peruana.



Figura. 1. Viviendas típicas de las comunidades nativas de la región Amazonas.

Existen diferentes normas para la construcción con Bambu, E.100 del Perú (Ministerio de vivienda, 2012), guía práctica de Bambú caña Guada de Ecuador (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2000) y la norma NSR 10 de estructuras de madera y Aguada de Colombia (Sísmica, 2012), sin embargo, estas normas son generales y conservadoras. Es por ello que se diseñó un programa experimental para analizar el comportamiento axial de las columnas de Bambu en un prototipo a escala real y ubicarlo en una zona representativa de la región Amazonas para que pueda emular condiciones similares a las actuales viviendas rurales que existen.

MATERIALES Y MÉTODOS

La campaña experimental tuvo lugar en la comunidad de El Horno de la provincia de Bagua, Región Amazonas en Perú (Figura 2), en las instalaciones de la Universidad Nacional Intercultural "Fabiola Salazar Leguía" de Bagua (UNIFSLB), el clima se caracteriza por ser Semiseco con humedad abundante todas las estaciones del año que se clasifica de forma Cálido (C (r) A') (Senamhi, 2020) con un promedio de temperatura de 30-32 °C, siendo la mínima de 18 °C y máxima de 43 °C (Estela Urbina et al., 2020).

La secuencia de trabajo para obtener los objetivos de la investigación se acumula en tres paquetes de trabajo los cuales se detallan en las secciones siguientes:

1. Análisis de las propiedades de los materiales: Comprendido la investigación detallada del estado del arte sobre los materiales presentes en la investigación como es el bambú y el acero corrugado.
2. Definición del modelo estructural: Consistió en diseño de la edificación de vivienda rural, elaboración de planos del prototipo a escala real, diseño de la estación meteorológica local y sistema de transmisión de datos. Además, en esta etapa se desarrolló la construcción del prototipo, el montaje del setup de medición, colocación de los sensores de medición y las pruebas de transmisión de datos a la nube.
3. Procedimiento de ensayo: Se desarrollo la evaluación de las deformación axiales de las columnas en el prototipo, debido a falta de una norma específica el procedimiento se ha adoptado realizar en dos etapas de carga: la primera de una precarga constante con el fin de estabilizar el prototipo para eliminar errores de construcción y desplazamientos locales en las conexiones; la segunda etapa se realiza la aplicación de una carga constante a fin de investigar las capacidades de deformación axial. Durante las dos etapas se ha realizado un monitoreo constante de la temperatura y humedad mediante sensores colocados en la zona de estudio.

La medición de la temperatura y humedad se ha realizado cada hora salvo en que las condiciones ambientales dificultaron la conexión con la estación meteorológica, para la medición del desplazamiento se ha utilizado un sistema de vigilancia inalámbrico el cual ha permitido tomar lecturas de la columna central, para los 5 comparadores restantes se ha tomado lecturas al inicial y final del ensayo.

Figura 2. Ubicación geográfica del caso de Estudio: a) A escala regional y b) A escala local, el proyecto se encuentra en la parte sur de la ciudad de Bagua,

Amazonas. (tomado de SIGRID).



Propiedades de los materiales

De acuerdo al diseño del prototipo a escala real figura 3 y a los objetivos de la investigación son dos los tipos de materiales que intervienen en el proceso de la investigación, los cuales se detallan.

Bambú

Del género *Guadua Angustifolia* (Ministerio de vivienda, 2012) comercializada ampliamente en la región de Amazonas y de uso frecuente en viviendas de esta tipología. Las propiedades mecánicas es resultado de la investigado la información disponible en la literatura vigente y se muestra en la Tabla 1.

Acero Corrugado

Este material se ha considerado como un material de soporte para la medición de los comparadores, por lo que las deformaciones axiales de las varillas de acero de 5/8" influirán sobre las mediciones de los comparadores. Las propiedades del Acero para construcción están ampliamente investigadas y son los que se resume en la siguiente Tabla 2.

Definición del modelo estructural

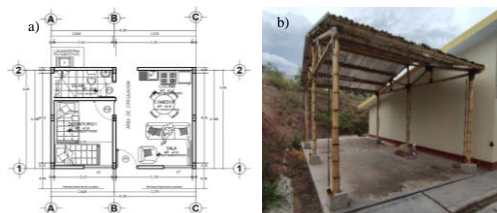
Para la definición del prototipo se ha considerado como referencia viviendas dimensionadas y distribución de ambientes desarrollado por el programa de Mi vivienda y "Techo Propio" para la región selva y que se vienen ejecutando en la región Bagua.

Tabla 1. Propiedades mecánicas de bambú del género Guadua Angustifolia comunes utilizadas para la construcción de Bagua.

Autor	Densidad (kg/m ³)	Resistencia tracción paralela a las fibras (MPa)	Módulo de elasticidad a la tracción (GPa)	Resistencia compresión paralela a las fibras (MPa)	Módulo de elasticidad (compresión) (GPa)	Resistencia a la flexión (MPa)	Módulo de Flexión de Elasticidad (GPa)
Zhihua Chen	748	/	/	41*	17.2*	92.7	17.1
Lopez	715*	132	17.47*	48	19.14	74	9.52
Moreno Montoya	/	578	25.67	/	/	/	/
Takeuchi	/	/	/	56	17.86	/	/
Luna	/	40.7	6.54	20.3	9.08	37.4*	13.9*
Sapuyes Eduard	/	/	/	/	/	13.85	15.48
NT E-100	/	16	/	13	9.5 (Prom)	/	5
NSR 10	/	18*	/	14	9.5 (Prom)	15	9.5

Tabla 2. Propiedades mecánicas y térmicas del Acero Corrugado de construcción. fuente: Aceros Arequipa.

Límite de Fluencia (fy) (MPa)	Resistencia a la Tracción (MPa)	Alargamiento (%)	coeficiente de dilatación lineal α (10 ⁻⁶ °C ⁻¹)
420	620	14	11.5

**Figura 3.** Modelo a Escala Real de una vivienda de Bambú: a) Plano en planta de vivienda típica rural de la región amazónica y b) Prototipo finalizado con estructura de bambú y cobertura de calamina**Figura 4.** Fases de construcción del prototipo de Bambú a escala real y la colocación de los sistemas de medición. a) montaje de celosía de bambú, b) Conexiones en la celosía de bambú, c) izado de las columnas de bambú, d) y e) colocación de celosías del techo del prototipo de vivienda, f) colocación de las correas de bambú y cobertura de calamina, g) Verificación de niveles de la cobertura, h) Colocación de sistemas de medición con varillas de acero corrugado y i) colocación de los sistemas de medición.

Procedimiento de ensayo

Las cargas verticales estáticas se han aplicado en dos fases la primera a) Precarga, tiene como fin estabilizar todo el prototipo, permitir reajustes, reacomodos entre los componentes, estabilizar las conexiones y eliminar errores por acortamientos de elementos a compresión. Para el cual se ha empleado una carga distribuida de 0.2 kN/m en la parte superior de la cobertura, para ello se ha utilizado sacos de arena uniformemente distribuidos figura 5. La segunda fase b) Ensayo, para ello se ha colocado los comparadores en 0 como parte inicial y se ha añadido una carga hasta contar con una permanente máxima de 0.4 kN/m en el ábside del marco de Bambu que corresponde a una presión uniforme de aproximadamente 0.10 kN/m².

Las mediciones mediante comparadores se han realizado en las 6 columnas de Bambu mediante comparadores realizándose además una monitorización constante y a tiempo real una de las columnas centrales mediante un cámara que capturo videos e imágenes a diferentes intervalos.

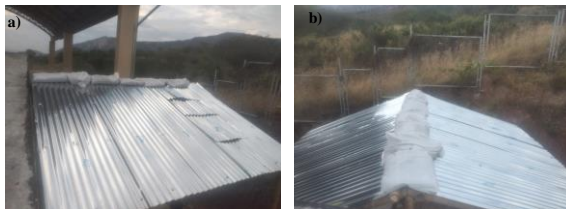


Figura 5 Proceso de precarga en el modelo estructural a escala real: a) vista lateral de la cobertura y b) vista frontal de la cobertura.

Para el monitoreo de la temperatura y humedad de ha desarrollado una estación meteorológica in situ ubicado en el interior del prototipo de vivienda a escala real con componentes a bajo coste (bajo el sistema de ESP8266) que es un chip con conexión a Wifi, al cual se ha añadido un sensor de humedad y temperatura DHT 11, finalmente para la transmisión de los datos se ha generado una zona de conexión wifi con un celular que cuenta con la opción de hotspot Wifi (Figura 6). Para el almacenamiento de datos se ha utilizado la plataforma de thingspeak el cual cuenta

con canales abiertos que mediante un algoritmo y es posible grabar datos en la nube.

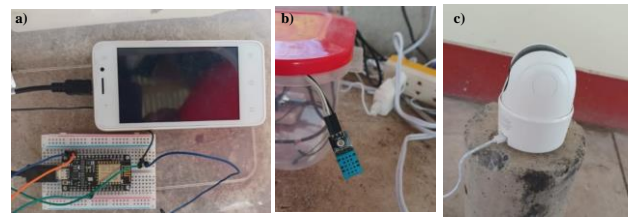


Figura 6. Estación Meteorológica de bajo coste: a) Sistema de transición de datos, b) Sensor de temperatura y humedad c) Cámara de video vigilancia.

La medición de las deformaciones verticales se ha realizado mediante el monitoreo constante del comparador central mediante el sistema de adquisición de datos de la figura 6-c, en el caso de los otros 5 comparadores restantes se ha tomado desplazamiento inicial (antes de colocar la carga), medición luego de colocar la carga y un desplazamiento final al cierre de la presente investigación. Además, con el fin de evitar errores por dilatación de la varilla corrugada de referencia, se han considerado los máximos y mínimos de la serie (Picos) los cuales sirvieron para calcular la deformación de la varilla de acero que se restara a la deformación final del Bambu para obtener las deformaciones netas de las columnas de bambú.

RESULTADOS

Temperatura y humedad

Como resultado de la investigación se obtuvieron series de Temperatura y humedad que se muestra en la Figura 7 y Figura 8. En el periodo de observación del 20 de setiembre al 06 de diciembre del 2022, los máximos de temperatura registrado fueron de 42.7 C° el día 19 de noviembre del 2022 a las 14:28:46 horas, mientras que el mínimo de 21.4 C° se ha registrado el día 25 de setiembre del 2022 a las 11:20:49 horas.

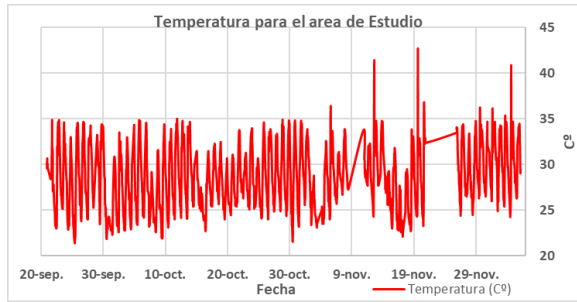


Figura 7. Temperatura para la zona de estudio desde el 20 al 06 de diciembre del 2022.

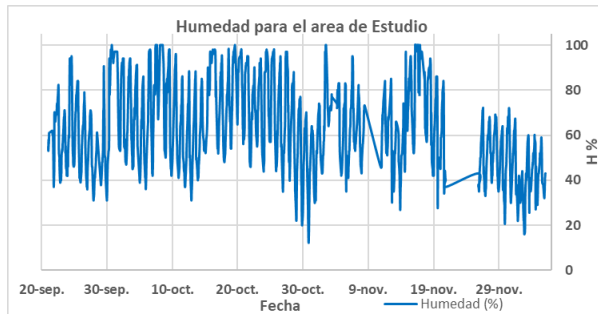


Figura 8. Humedad para la zona de estudio desde el 20 al 06 de diciembre del 2022.

Los resultados de las lecturas de los desplazamientos del comparador para la columna central del prototipo para los máximos de temperatura se muestran en la Tabla 3, la diferencia entre las medidas de desplazamiento se corresponde a la dilatación lineal de la varilla de acero que calculado analíticamente resulta 0.61 mm (ecuación 1) que correlaciona la longitud del material con la variación de temperatura y el coeficiente de dilatación lineal (Tabla 2).

$$\Delta L = L\Delta T\alpha \quad (1)$$

Tabla 3. Lecturas máximas y mínimas de temperatura y desplazamiento con el comparador

Día	Temperatura (°C)	Lectura (mm)
25/09/2022	21.4	0.71
19/11/2022	42.7	1.30
	Diferencia	0.59

Deformaciones verticales

La medición de las deformaciones verticales para los seis comparadores se muestra en la Tabla 4. Donde el promedio de las deformaciones de las columnas centrales es de 0.195 mm mientras que para las columnas frontales es de -0.05 mm y columnas posteriores de 0.10 mm, las mediciones luego de aplicar la carga permanente de la segunda etapa se muestra en la figura 9.

Tabla 4. Medición de campo de deformaciones axiales mediante 06 comparadores.

Comparador	Medición Antes de Carga	Medición luego de aplicar la Carga	Medición final	Diferencia
1	6	5.89	5.82	-0.07
2 (ce)	0.75	0.79	0.99	0.2
3	5.58	5.55	5.59	0.04
4	4.17	4.21	4.18	-0.03
5 (ce)	5	5.03	5.22	0.19
6	1.86	1.8	1.96	0.16



Figura 9. Medición de los 06 comparadores en las columnas de bambú del prototipo de vivienda.

Para la columna central de monitorización constante se ha encontrado una relación entre el desplazamiento axial con una carga uniforme y constante en el periodo de monitorización constante (Columna 02) (figura 10) que alcanza a 0.20 mm, esto representa una deformación $\epsilon = 8 \times 10^{-5}$, que es similar a la columna equivalente 5 (ce) $\epsilon = 7.6 \times 10^{-5}$. Para ello los desplazamientos se han corregidos los efectos de dilatación siguiendo las temperaturas obtenidas mediante el sensor.

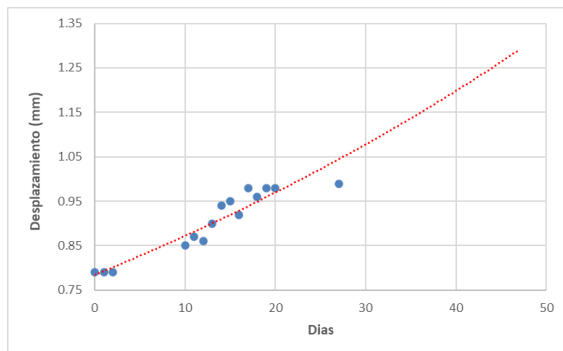


Figura 10. Tendencia de desplazamiento axial de la columna de Bambu 02 (central).

La respuesta de las columnas de Bambu del prototipo a escala real frente a la carga permanente de 0.4 kN/m, pareciera seguir una tendencia en función del tiempo que se observa en la Figura 10, pero que sin embargo se logra estabilizar a los 30 días de aplicado la carga. Además, se ha determinado que la deformación se encuentra en la rama elástica de la curva tensión deformación en compresión, para el bambú ya que al retirar la carga permanente la deformación de $\epsilon = 8 \times 10^{-5}$, ha desaparecido.

DISCUSIÓN

El método propuesto y el prototipo a escala real diseñado de una vivienda típica de la selva peruana ha permitido obtener deformaciones axiales en las columnas de bambú para cargas usuales (Vigas, Celosías, conexiones y cubiertas) y una sobrecarga constante de 0.10 kN/m² que ha alcanzado una deformación máxima de 8×10^{-5} mm/mm, a los 27 días de aplicada la sobrecarga. Este resultado es concordante con Gomes et al. (2022) donde los datos experimentales realizados con ensayos de compresión de prototipos desarrollados para las deformaciones axiales y el desplazamiento máximo de 0.99 mm concuerda con las curvas típicas de esfuerzo-deformación por compresión. Además, los resultados muestran que los desplazamientos máximos

obtenidos aún se encuentran que, en la parte inicial elástica de las curvas tensión y deformación, alrededor del 1.6% de la capacidad elástica máxima, esto es importante debido a que las columnas aún tienen un margen para soportar cargas adicionales y además se puede optimizar su uso para reducir costos con diseños estructurales mejorados (Zhou et al., 2022; Nie et al., 2022; Sassu et al., 2016; Chung & Yu, 2002). Por lo que se puede afirmar que las columnas de Bambu tienen un buen desempeño para la utilización en la construcción de viviendas típicas de las zonas rurales de la región selva de Amazonas y cuentan con un alto factor de seguridad.

Durante el tiempo de investigación las columnas de Bambu no cuentan con alguna patología considerando que se encuentran en las pereros condiciones, al aire libre y que han soportado viento, lluvia, cambios considerables de gradiente térmico que se han detectado en la primera sección del resultado.

Además, esto ha permitido caracterizar el comportamiento axial de columnas de bambú en una vivienda a escala real de la región de Bagua, Amazonas con el uso de un sistema de monitorización a distancia, la campaña experimental se ha realizado en Perú y el monitoreo, análisis y procesamiento de los datos se ha realizado en España a 9600 km de distancia para el cual se ha utilizado componentes electrónicos de bajo costo ha permitido la obtención y almacenamiento de datos en una plataforma segura para su posterior procesamiento.

CONCLUSIONES

El estudio ha generado nuevo conocimiento sobre el comportamiento mecánico de la deformación axial de las columnas de bambu en un prototipo de vivienda rural, bajo carga permanente.

El comportamiento axial de las columnas del prototipo de vivienda familiar considerando cargas verticales típicas ha alcanzado en el periodo de

monitorización una deformación máxima de $\epsilon = 8 \times 10^{-5}$.

Se ha logrado una monitorización del desplazamiento vertical mediante un sistema de transmisión de datos de bajo coste y almacenar los datos en la nube los cuales conforman una base de datos que puedan contribuir en futuras investigaciones.

Las columnas de bambú tienen un rendimiento sobresaliente para su uso en la construcción de viviendas en zonas rurales de la selva de Amazonas. Los desplazamientos máximos alcanzados se encuentran dentro del 1.6% de la capacidad elástica máxima, aún está en la parte inicial elástica de las curvas de tensión y deformación, lo que indica un buen desempeño. Además, esto significa que las columnas tienen un margen adicional para soportar cargas adicionales y pueden ser optimizadas a través de diseños estructurales mejorados para reducir costos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Chen, G., Wu, J., Jiang, H., Zhou, T., Li, X., & Yu, Y. (2020). Evaluation of OSB webbed laminated bamboo lumber box-shaped joists with a circular web hole. *Journal of Building Engineering*, 29(December 2019), 101129. <https://doi.org/10.1016/j.job.2019.101129>
- Chen, Z., Ma, R., Du, Y., & Wang, X. (2022). State-of-the-art review on research and application of original bamboo-based composite components in structural engineering. *Structures*, 35(November 2021), 1010–1029. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.11.059>
- Chung, K. F., & Yu, W. K. (2002). Mechanical properties of structural bamboo for bamboo scaffoldings. *Engineering Structures*, 24(4), 429–442. [https://doi.org/10.1016/S0141-0296\(01\)00110-9](https://doi.org/10.1016/S0141-0296(01)00110-9)
- Estela Urbina, R., Ríos Campos, C., Santamaría, N., Gutiérrez Valverde, K., & Aguirre, I. (2020). Relación entre el comportamiento del viento y la radiación solar en la ciudad de Bagua, Perú (de marzo a octubre, 2019). 23.
- Ghavami, K. (2005). Bamboo as reinforcement in structural concrete elements. *Cement and Concrete Composites*, 27(6), 637–649. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2004.06.002>
- Gomes, B. M. da C., Silva, N. A. da, Bernstad Saraiva, A., Caldas, L. R., & Toledo Filho, R. D. (2022). Environmental and mechanical performance assessment of bamboo culms and strips for structural use: Evaluation of *Phyllostachys pubescens* and *Dendrocalamus giganteus* species. *Construction and Building Materials*, 353(September), 129078. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129078>
- Hidalgo-Lopez, O. (2003). *Bamboo: The gift of the gods*. Bogotá.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2000). *Bambú Caña Guadúa*. INEN, 31.
- Ministerio de vivienda. (2012). *NORMA TECNICA E. 100 BAMBÚ*.
- Nie, Y., Wei, Y., Huang, L., Liu, Y., & Dong, F. (2021). Influence of slenderness ratio and sectional geometry on the axial compression behavior of original bamboo columns. *Journal of Wood Science*, 67(1). <https://doi.org/10.1186/s10086-021-01968-6>
- Nie, Y., Wei, Y., Miao, K., Zhao, K., & Huang, L. (2022). Experimental investigation of full-culm bamboo tubes strengthened by filled concrete and bamboo sheets under axial compression. *Journal of Building Engineering*, 45(September 2021), 103548.

- <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103548>
- Paraskeva, T. S. (2017). Design and experimental verification of easily constructible bamboo footbridges for rural areas. *Engineering Structures*, 143, 540–548. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.04.044>
- Sassu, M., De Falco, A., Giresini, L., & Puppio, M. L. (2016). Structural solutions for low-cost bamboo frames: Experimental tests and constructive assessments. *Materials*, 9(5). <https://doi.org/10.3390/ma9050346>
- Senamhi. (2020). Climas del Perú Mapa de Clasificación Climática Nacional. In Ministerio del Ambiente (Vol. 53, Issue 9).
- Sísmica, A. C. de I. (2012). NSR 10 Estructuras de madera y estructuras de guadua.pdf.
- Tian, L. min, Kou, Y. feng, & Hao, J. ping. (2019). Axial compressive behaviour of sprayed composite mortar–original bamboo composite columns. *Construction and Building Materials*, 215, 726–736. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.04.234>
- van der Lugt, P. (2006). An environmental, economic and practical assessment of bamboo as a building material for supporting structures. *Construction and Building Materials*, 20(9), 648–656. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.02.023>
- Yuan, J, Zhang, X., & Yu, Y. (2019). Effects of vascular bundle distribution and structure on macroscopic compression properties of bamboo. *J Cent S Univ For Technol*, 39(6), 121–127.
- Yuan, Jing, Fang, C., Chen, Q., & Fei, B. (2021). Observing bamboo dimensional change caused by humidity. *Construction and Building Materials*, 309(8), 124988. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124988>
- Zhou, X., Liu, P., Zhou, Q., Xiang, P., Zhang, H., & Tian, J. (2022). Study on the tension and compression stress-strain relationship of *Phyllostachys Edulis* bamboo parallel to the grain. *Industrial Crops and Products*, 177(November 2021), 114548. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.114548>