



Uso del bambú como material ecológico en espalderas

Uso do bambu como um material ecológico para treliças

Fabio Junkes Corrêa

UTFPR-PB
fabiocorrea@utfpr.edu.br

Felipe Frizon

UTFPR-PB
frizon@alunos.utfpr.edu.br

Gabriel Felipe Richtic

UTFPR-PB
richtic@alunos.utfpr.edu.br

Fabiano Ostapiv

UTFPR-PB
fabianoostapiv@utfpr.edu.br

Joamilton Stahlschmidt

UTFPR-PB
joamiltons@utfpr.edu.br

Fabio Rodrigo Mandello Rodrigues

UTFPR-PB
fabiorodr@utfpr.edu.br

Wagner Silveira

UTFPR-FB
wagnersilveira@utfpr.edu.br

RESUMEN

Con el desarrollo económico y la producción en el sector metalmecánico en aumento, las reservas de materiales ferrosos en el escenario mundial han ido disminuyendo cada vez más. Apuntando a este aspecto, en busca de nuevas alternativas, bambu puede reemplazar materiales convencionales, como materiales ferrosos, agregando varias ventajas como bajo costo, amplia disponibilidad encontrada en Brasil, alta resistencia a la tracción, buena resistencia a la compresión, ligereza, además de ser un material ecológico. Para introducir el bambú en proyectos estructurales, es necesario conocer sus propiedades mecánicas, lo que permite dimensionarlas. Este trabajo tiene como propósito el modelado de cerchas que componen los soportes de los techos para la circulación de personas en la UTFPR de Pato Branco y el análisis del comportamiento mecánico de los elementos constituidos por bambúes que componen la estructura. Conociendo la resistencia mecánica de los bambúes, con el desarrollo de un modelo aplicando el método del nudo, se adoptarán criterios de resistencia para estipular las tensiones permisibles de cada elemento que consiste en bambú y realizar el diseño de esta estructura.

Palabras clave: Propiedades mecánicas, Resistencia mecánica, Modelado, Viscoso.

1 INTRODUCCIÓN

En el área de mecánica de sólidos, se desarrollan proyectos estructurales para que los elementos que componen una estructura tengan suficiente resistencia mecánica para soportar las cargas de actuación, considerando los criterios de resistencia adoptados (BEER, 2011; HIBBELER, 2011a).

Hay varios ejemplos de estructuras como cerchas, pórticos, vigas, pilares, arcos, cables etc. Este trabajo se centra en cerchas porque son el tipo de estructura que conforman los soportes de los techos de los pisos para la circulación de personas na UTFPR. Sabiendo que hay varias opciones de estructuras, la elección de la armadura se justifica por su rigidez, practicidad y versatilidad.

La celosía es una estructura formada por componentes, cuyos extremos están conectados por juntas. En relación con los tipos de tensiones, los componentes que componen una estructura reticular están sujetos a tensiones normales a su sección, es decir, pueden estar sujetos a tensiones de tracción o compresión. El comportamiento de una armadura puede ser similar al de una viga, ya que el alma sólida puede ser reemplazada por una serie de barras horizontales, verticales y diagonales. Al eliminar el alma sólida, es posible reducir significativamente el peso. Por lo tanto, una de las principales ventajas de las armaduras en relación con las vigas es tener una resistencia mecánica considerable, utilizando un menor volumen de material (HIBBELER, 2011b; BHAVIKATTI, 2010; STANFORD, 2018).

Los materiales metálicos convencionales que componen las cerchas pueden ser sustituidos por materiales ecológicos, buscando conseguir una mejor configuración, reduciendo el peso y coste de la estructura con una rigidez compatible. Sabiendo que una estructura de celosía puede soportar cargas axiales, tanto de tracción como de compresión, este trabajo propone reemplazar una estructura metálica con una estructura que consiste en bambúes, manteniendo una resistencia mecánica permisible.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

La estructura para analizar soporta los techos de los pisos para la circulación de personas en la UTFPR-PB (Figura 1). Para soportar el techo, se disponen *cerchas triangulares* (BHAVIKATTI, 2010). De acuerdo con el objetivo del estudio, estas cerchas presentes en la UTFPR-PB fueron adoptadas (Figura 2). Tienen 5 metros de largo, forma triangular (Figura 3) y están fabricados en tubos huecos de acero ASTM A36 de 1" y 2".

Como propuesta de esta obra, se pretende dimensionar una estructura similar consistente en bambú.

Para el diseño de la estructura, primero se verificaron las fuerzas permanentes y las fuerzas variables que actúan sobre el sistema estructural, es decir, el peso de todos los componentes y el efecto dinámico del viento, respectivamente, además de una sobrecarga obligatoria de 250 N/m^2 , como se especifica en la norma NBR8800/2008 (ABNT, 2008). Para un correcto estudio de los esfuerzos variables, se utilizaron criterios basados en la norma NBR 6123/1988 (ABNT, 1988). Con esto, fue posible determinar los efectos dinámicos del viento, adoptando una velocidad de 45 m/s relativa a la región suroeste de Paraná, un factor topográfico de 1,14 basado en la pendiente del terreno donde se encuentra la estructura, un factor de rugosidad del suelo de 0,74 y un factor estadístico de 1,00. Con estos valores, se obtuvieron la velocidad característica y la presión dinámica del viento según la norma NBR-6123/1988 (ABNT, 1988). Con el valor de la presión dinámica encontrada, adoptando un coeficiente de presión externa (C_{pe}) igual a 2, según la norma NBR-6123/1988 (ABNT, 1988), y asumiendo que el ancho de la estructura es igual a 3, fue posible calcular la carga ejercida sobre la estructura por la acción del viento.

Figura 1- Estructura que soporta los techos.



Sobre la base de la fuerza de arrastre y la fuerza de peso, se encontró la carga que actúa sobre la estructura, considerando constante a lo largo de ella. A partir de la fuerza distribuida, las fuerzas puntuales se asignaron en los nodos de la parte superior de la armadura (F_{node}). Con las fuerzas presentes en los nodos, las fuerzas de reacción (R_F) se encontraron en los soportes de la estructura.

Para realizar el procedimiento matemático, la estructura se seccionó en un lapso de 1 m desde un extremo y se aplicó el método de nudo, con la ayuda del software numérico Matlab R2020, para encontrar las fuerzas presentes en todos los elementos que componen la estructura reticular. Este método consiste en analizar aisladamente todos los nodos presentes en la estructura, aplicando una condición de equilibrio estático, donde la suma de las fuerzas en la dirección x, en la dirección y y en la dirección z es igual a cero, de acuerdo con las ecuaciones de equilibrio estático para un cuerpo en el espacio tridimensional (BEER, 2013; Hibbeler, 2011b). Complementando el modelo desarrollado con la aplicación de las ecuaciones de equilibrio estático, se pueden encontrar las fuerzas de tracción y compresión en todos los elementos que forman la estructura.

Figura 2 - Perspectiva de la estructura reticular.

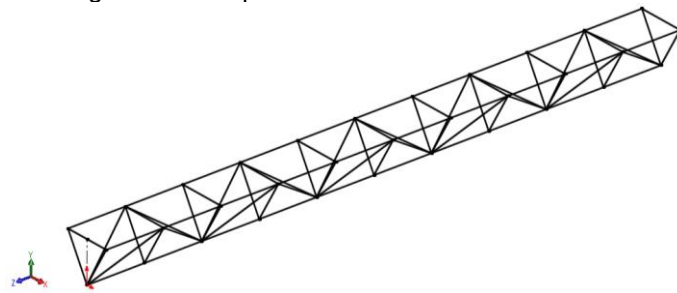
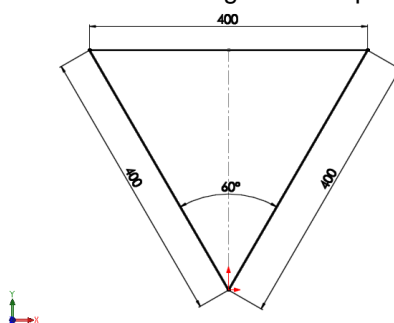


Figura 3 - Sección triangular en el plano xy.



El bambú Mossô (*Phyllostachys pubescens*) fue adoptado como materia prima de este trabajo, porque tiene amplia disponibilidad en el territorio nacional (Brasil), tiene un gran potencial como material fibroso, alta resistencia a la tracción, buena resistencia a la compresión y por ser un material renovable (BERNDSSEN, 2014). Las propiedades mecánicas del bambú Mossô se muestran en la Tabla 1. Con todos estos atributos,

combinados con ligereza y bajo costo en comparación con los materiales ferrosos, el bambú-Mossô fue otorgado como una gran opción para la construcción de una armadura espacial.

Tabla 1 - Propiedades mecánicas del bambú Mossô

Propiedades	Valores
Coefficiente de Poisson	0,25
Masa específica	750 kg/m ³
Módulo de elasticidad	12 GPa
Resistencia a la compresión	167 Mpa
Resistencia a la tracción	154 MPa

Fuente: Berndsen (2014).

Debido a la variabilidad en las propiedades mecánicas del bambú y la aproximación de los cálculos de tensión, se utilizó a una tensión admisible (σ_{adm}) basada en la tensión límite del bambú (σ_{lim}) y el coeficiente de seguridad (CS) igual a 3 (CALLISTER, 2007). Este procedimiento de seguridad se aplica utilizando la ecuación de tensión admisible ($\sigma_{adm} = \sigma_{lim}/CS$). Sobre la base de la tensión permisible y las fuerzas presentes en los elementos más críticos de las cerchas, fue posible calcular, de acuerdo con la ecuación de tensión normal ($\sigma = F / A$), un diámetro aproximado para un elemento que consiste en bambú, donde "A" es el área de la sección transversal del elemento y "F" es la fuerza de tracción o compresión sobre el elemento.

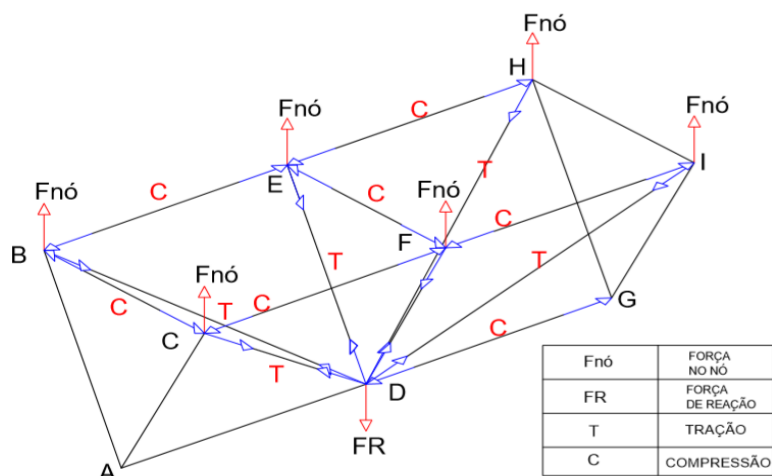
3 RESULTADOS Y DISCUSIONES

La Tabla 2 muestra los resultados numéricos obtenidos aplicando el método de nudo a partir de las fuerzas presentes en los nodos superiores y las fuerzas de reacción. Con base en las fuerzas presentes en los elementos, fue posible clasificarlas en fuerzas de tracción y compresión, como se ilustra en la Figura 4.

Tabla 2 – Resumen de las fuerzas que actúan sobre la estructura.

FUERZA	MÓDULO (N)	FUERZA	MÓDULO (N)
Fnodo	1023,8	CF	1.477,7
FR	11262,0	DE	1.182,2
AB	0	DF	1.182,2
Corriente alterna	0	DG	7.388,4
ANUNCIO	0	DH	6.623,3
A.C	591,08	DI	6.623,3
HISTORIETAS	1.892,4	EH	1.477,2
SER	1.477,7	EF	591,08
CD	1.892,4	FI	1.477,7

Figura 4 - Esquema de las fuerzas axiales presentes en la estructura.



Como se verificó, la fuerza de compresión crítica está presente en el elemento DG y tiene un módulo de 7.388,4 N. La fuerza de tracción crítica se encuentra en los elementos DH y DI con un módulo de 6.623,3 N. Aplicando el coeficiente de seguridad, se encontraron las tensiones admisibles de 55,7 MPa para compresión y 51,33 MPa para tracción. Sobre la base de la ecuación de tensión normal, utilizando la fuerza presente en el elemento DG y la tensión de compresión permisible, se encontró un diámetro de 13,0 mm. Utilizando las fuerzas presentes en los elementos DH y DI y la tensión de tracción permisible, se encontró un diámetro de 12,8 mm. Con los resultados obtenidos, se eligió un diámetro de 15 mm, que es el valor necesario para que la estructura resista las condiciones dadas sin fracturarse debido a la acción de las fuerzas de tracción axial y compresión presentes en los elementos.

4 CONSIDERACIONES FINALES

En este trabajo, desarrollado sobre una estructura de celosía, aplicando el método de nudo a través del software matlab, se encontró cómo el bambú puede incorporarse a las estructuras de celosía como alternativa a los materiales ferrosos estándar, ya que existe una abundancia de este material en el territorio nacional, ser considerablemente más barato y, principalmente, tener un menor gasto energético para procesarlo.



REFERENCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8800/08: Projeto e execução de estruturas de aço de edifícios. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6123/88: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.

BEER, F. P.; JOHNSTON J. R.; DEWOLF, J. T.; MAZUREK, D. F.; Mechanics of Materials. 5th edition. Publisher: McGraw-Hill, 2011.

BEER, F. P.; JOHNSTON J. R.; DEWOLF, J. T.; MAZUREK, D. F.; Statics and Mechanics of Materials. 1th edition. Publisher: McGraw-Hill, 2013.

BERNDSSEN, R. S. et al. MECHANICAL RESISTANCE OF MOSO BAMBOO (*Phyllostachys pubescens*) PART 2: AXIAL TENSILE STRENGTH, HARDNESS AND WEAR RESISTANCE. Floresta, Curitiba, PR, v. 44, n. 3, p. 505 - 514, jul./set. 2014.

BHAVIKATTI, S. S. Structural Analysis. 4th edition. Publisher: Vikas Publishing House, 2010.

CALLISTER, W. D. MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING: An Introduction. 7th edition. New York, NY: John Wiley & Sons, Inc., 2007.

HIBBELER, R. C. Mechanics of Materials. 8th edition. Publisher: Prentice Hall, 2011a.

HIBBELER, R. C. Structural Analysis. 8th edition. Publisher: Prentice Hall, 2011b.

STANFORD, J. Structural Analysis Made Easy. 1st edition. Publisher: Independently published, 2018.