

Parte II: Manual de Usuarios

BAMBÚ

EQUIPO PORTÁTIL PARA ENSAYOS DE

Kent A. Harries & Rebecca Glucksman

Traducciones por: Janine Vieira, Tianqiao Liu & Richard Moran



INBAR TÉCNICAS INFORME No.36

Informes técnicos de INBAR

Los informes Técnicos de INBAR proporcionan análisis detallado sobre los aspectos específicos de la Ratán y Bambú, los cuales se basan en los resultados investigados y/o lecciones aprendidas de acuerdo con iniciativas propuestas por INBAR o sus socios reconocidos.

Agradecimientos

Este proyecto fue financiado por el Laboratorio de Ingeniería Structural Watkins Haggart (WHSEL) de la Universidad de Pittsburgh. Los estudiantes que trabajaron en el proyecto fueron financiados por el Centro Mascaró de Innovación Sostenible (MCSI) de la Universidad de Pittsburgh que a su vez forma parte del programa Experiencia Internacional en Investigación para Estudiantes (IRES) financiado por la Fundación Nacional de Ciencias (NSF) (subsidio de investigación IIA-1031392). El proyecto que se llevó a cabo durante el verano del 2013, tuvo participación de los estudiantes subgraduados Rebecca Glucksman, Eric Belski, Andrew Beck y Steve Marusic. Los autores dan sus agradecimientos por el apoyo al proyecto al Profesor Khosrow Ghavami de la Pontificia Universidad Católica de Río de Janeiro (PUC-Rio) y a Charles Hager y Jennifer Gottron del WHSEL.

Palabras Claves

Caña completa de bambú, ensayos del material, compresión, al corte, flexión

Derechos de Autor y Uso Justo

Esta publicación está disponible para su uso bajo la licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 3.0 Unported (CC BY-NC-SA 3.0). Para ver esta licencia, visite http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/deed.es_ES

Usted es libre de:

Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

Adaptar — remezclar, transformar y crear a partir del material

El licenciador no puede revocar estas libertades mientras cumpla con los términos de la licencia.

Bajo las condiciones siguientes:

Reconocimiento: Debe reconocer adecuadamente la autoría, proporcionar un enlace a la licencia e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo de cualquier manera razonable, pero no de una manera que sugiera que tiene el apoyo del licenciador o lo recibe por el uso que hace.

NoComercial: No puede utilizar el material para una finalidad comercial.

CompartirIgual: Si remezcla, transforma o crea a partir del material, deberá difundir sus contribuciones bajo la misma licencia a que el original.

No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales o medidas tecnológicas que legalmente restrinjan realizar aquello que la licencia permite.

Red Internacional del Bambú y Ratán (INBAR)

PO Box 100102-86, Beijing, 100102, P. R. China

Tel: +86-10-6470 6161; Fax: +86-10-6470 2166; E-mail: info@inbar.int

ISBN: 978-92-95098-83-1 (Online)

©2016 INBAR – Red Internacional del Bambú y Ratán

Contenidos

Unidad Portátil para Ensayos de Bambú	2-4
Ensamble	3
Indicador de Presión y Conversión de Fuerza del Equipo	3
Métodos de prueba	5-11
Geometría del Espécimen de Bambú	5
Ensayo de Compresión	6
Ensayo de Corte Longitudinal ('Con placas tipo corbatín')	7
Ensayo de Compresión Diametral	8
Ensayo de Flexión	9
Referencias	10

Unidad Portátil para Ensayos de Bambú



La unidad (Figura 1) es destinada para una rápida estimación en campo de las propiedades mecánicas y materiales del bambú, fue diseñada para ser económica, robusta y portable y que pueda ser transportada, ensamblada y mantenida por un técnico. Las pruebas disponibles por esta unidad son:

1. Compresión axial de fragmentos de culmos (ISO 22157-1);
2. Corte longitudinal (ensayo de corbatín; ISO 22157-1);
3. Compresión diametral (Sharma et al. 2012);
4. Flexión del culmo (modificada de ISO 22157-1 por Richard 2013).

Este manual documenta la construcción de la unidad con una capacidad de 72 kN. En las figuras 2 y 3 se proveen los dibujos que documentan la construcción del prototipo de unidad.

Figura 1: Prototipo de la unidad de prueba con sus accesorios.

- a) Unidad de prueba (la manija blanca del gato es de 600 mm (24 in.) de larga)
- b) Configuración para prueba de cortante longitudinal
- c) Configuración para ensayo de flexión de culmos cortos

Las placas de reacción (parte #1 en Fig. 2) se mantienen fijas sobre las barras roscadas (parte #3) usando tuercas y arandelas (parte #4). La placa de carga (parte #2) se mueve libremente guiada por las barras. La base roscada del cilindro hidráulico (parte #5) es atornillada a la placa de reacción inferior. Las placas de carga tipo "corbatín" (parte #7), los soportes de flexión (parte #8) o cualquier otro accesorio requerido deben proveer agujeros roscados y luego ser atornillados a la placa de carga y a la placa de reacción superior. Círculos concéntricos son trazados en las placas de carga y reacción para ayudar a centrar los especímenes sobre el cilindro hidráulico.

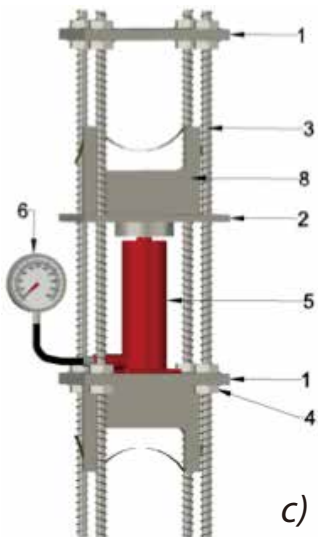
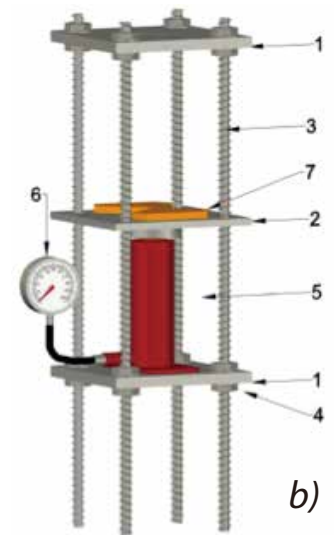
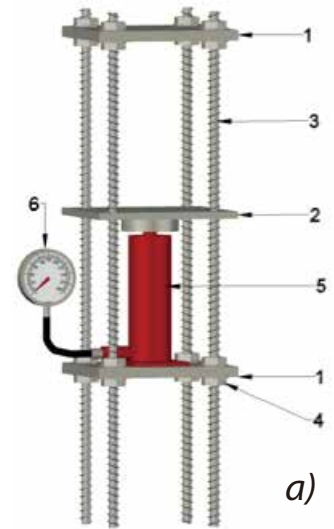
Las extensiones de las barras roscadas por debajo de la placa de reacción inferior pueden ser usadas como patas para elevar la unidad por encima del suelo. Para proteger las roscas, pedazos de tubo, ligeramente más largos que las patas son insertados sobre ellas (los que se muestran en la Fig. 1).

Ensamble

Figura 2: Ensamblajes de la unidad prototipo.

- a) Ensamble para pruebas de compresión
- b) Ensamble para ensayos de corte
- c) Ensamble para ensayos de flexión

1. Placas de reacción fijas de 254 x 254 x 19 mm (2 requeridas; mire Fig 3a)
2. Placa móvil de carga de 254 x 254 x 12.7 mm (mire Fig 3b)
3. Barras roscadas de 16 mm x 1000 mm (4 requeridas)
4. Ensamblajes de tuercas y arandelas para barras (16 requeridas)
5. Cilindro hidráulico de 72 kN (gato tipo botella)
6. Indicador de alta presión
7. Placas corbatín (dos juegos; mire Fig 3c)
8. Soportes para prueba de flexión (2 requeridos; mire Fig. 3d)



Indicador de presión y conversión de fuerza del equipo

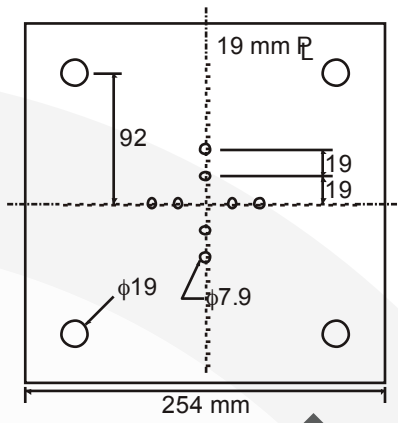
El cilindro hidráulico debe ser equipado con un transductor de presión. En el prototipo, un indicador de presión tipo reloj y aguja es usado (parte #6). La fuerza aplicada por el cilindro es igual al producto de la presión indicada y el área transversal del cilindro usado. Puede haber algún grado de pérdidas por fricción dentro del cilindro asociadas con la fricción en el sello o la unión del cilindro; éstas deben ser pequeñas, pero se pueden considerar si un medio alternativo de calibración está disponible.

Para el prototipo, el cilindro tiene un diámetro reportado por el fabricante de $d_j = 38.1$ mm (1.5 in.) dando un área de $A_j = \pi d_j^2 / 4 = 1140$ mm² (1.77 in²). En la calibración usando una celda externa se obtuvo un factor de calibración de 1090 mm² (1.69 in²), indicando pérdidas de fricción del orden de 4.5% (un valor razonable para el gato tipo botella usado). La carga aplicada (P) para cualquier prueba es por lo tanto:

$$P(N) = 1090 \times (\text{presión manométrica en MPa})$$

$$P(lbf) = 1.69 \times (\text{presión manométrica en psi})$$

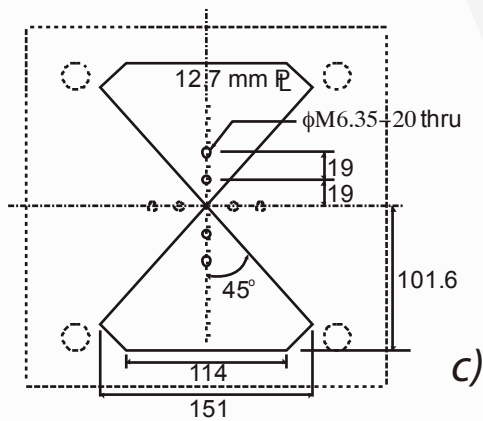
Ejemplo



a)

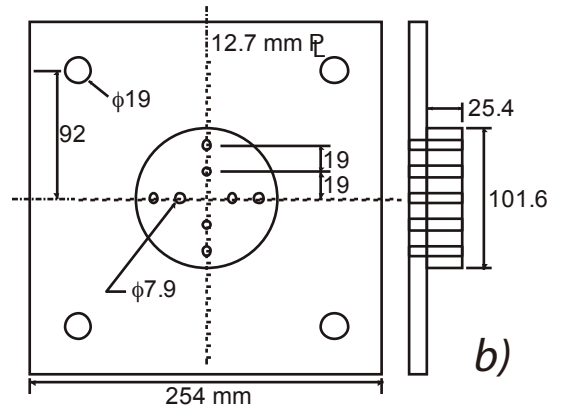
Patrón de agujeros centrales para que coincida con la placa base del cilindro hidráulico

a) Placas de reacción fijas (2 ensambles; parte #1)



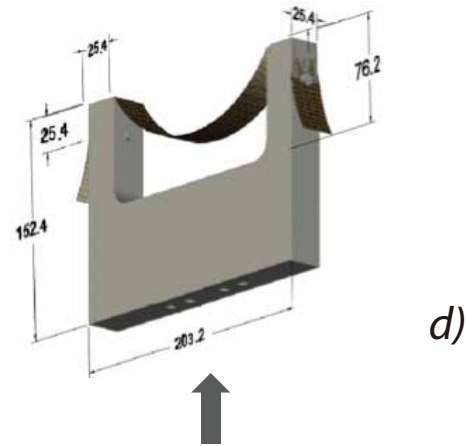
c)

c) Placas corbatín (2 ensambles; parte #7)



b)

b) Placa de carga móvil (parte #2)



d)

Patrón de agujeros para que coincida con el patrón de agujeros central en la Fig. 3a

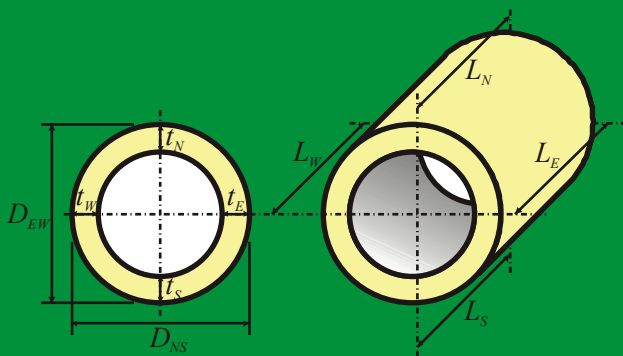
d) Soportes de flexión (2 ensambles; parte #8)

Figura 3: Detalle de las placas del prototipo

Métodos de Prueba



Geometría del Espécimen de Bambú



$$D = (D_{NS} + D_{EW})/2$$

$$t = (t_N + t_S + t_E + t_W)/4$$

$$L = (L_N + L_S + L_E + L_W)/4$$

$$A_{culm} = (\pi/4) (D^2 - (D - 2t)^2)$$

$$I_{culm} = (\pi/64) (D^4 - (D - 2t)^4)$$

$$R = 0.5 (D - t)$$

Las siguientes dimensiones son obtenidas de las mediciones de los especímenes de ensayo:

- D = diámetro exterior del culmo tomado como promedio de dos mediciones ortogonales en cualquier sección
- t = espesor de pared del culmo tomado como promedio de las mediciones en los cuatro cuadrantes de cualquier sección
- L = longitud del espécimen del culmo tomado como promedio de las mediciones en los 4 cuadrantes

Las siguientes propiedades geométricas son calculadas:

- A_{culm} = área transversal neta del culmo
- I_{culm} = momento de inercia de la sección del culmo
- R = radio del culmo medido en la línea central de la pared

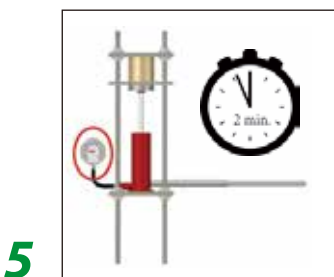
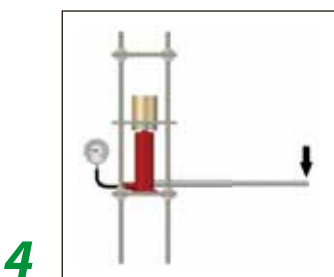
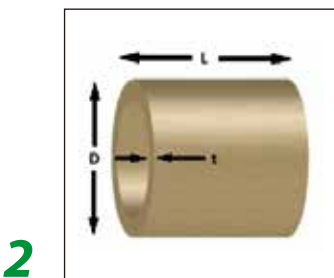
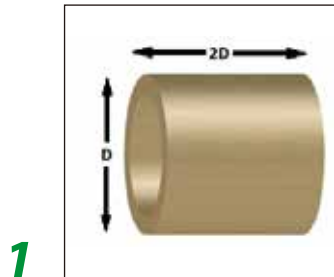
Adicionalmente,

- P = carga aplicada por la unidad de prueba correspondiente a la falla del espécimen

Ensayo de Compresión



Ensamble la unidad como se muestra.



1. Corte la longitud del espécimen tal que $L \leq 2D$. Los bordes del espécimen deberán ser lisos, paralelos y formando ángulos rectos al eje del culmo. Los especímenes no deben incluir nodos. Se espera que los especímenes que contienen nodos exhiban capacidades menores.

2. Obtenga las dimensiones D , t y L del espécimen del culmo. Calcule el área transversal del culmo:

$$A_{culm} = (\pi/4) (D^2 - (D - 2t)^2)$$

3. Centre el espécimen del culmo por encima del cilindro hidráulico sobre la placa de carga.

4. Ponga en contacto el culmo con la placa de reacción superior.

5. Comience el ensayo, utilice una velocidad de carga que produzca la falla en aproximadamente dos minutos (una prueba inicial puede ser requerida para calibrar esta velocidad).

6. Registre la carga última alcanzada P .

7. Calcule el esfuerzo último de compresión:

$$\sigma_c = P/A_{culm}$$

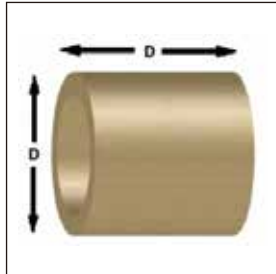
Reporte lo siguiente:

- dimensiones medidas D , t y L
- carga última observada P
- valores calculados A_{culm} y σ_c
- curva de esfuerzo versus deformación y el valor calculado de E_c si fue registrado

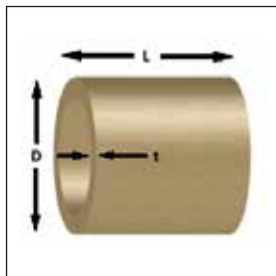
Ensayo de corte longitudinal ('Con placas tipo corbatín')

Ensamble la unidad de ensayo como se muestra, incluyendo las placas corbatín; asegúrese de que las placas corbatín están orientadas en direcciones opuestas en cada placa.

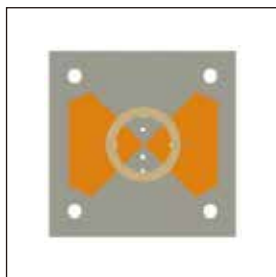
1



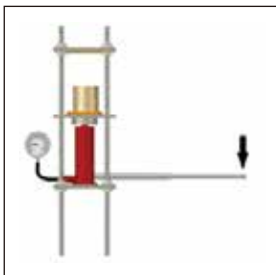
2



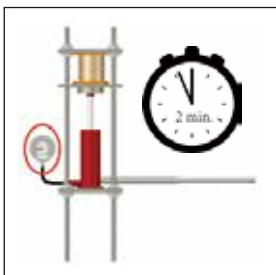
3



4



5



1. Corte la longitud del espécimen tal que $L = D$. Los bordes del espécimen deberán ser lisos, paralelos y formando ángulos rectos al eje del culmo. Los especímenes no deben incluir nodos. Se espera que los especímenes que contienen nodos exhiban capacidades menores.

2. Obtenga las dimensiones D , t y L del espécimen del culmo.

3. Centre el espécimen de culmo por encima del cilindro hidráulico sobre la placa de carga tipo corbatín.

4. Ponga en contacto el culmo con la placa de reacción superior.

5. Comience el ensayo, utilice una velocidad de carga que produzca la falla en aproximadamente dos minutos (una prueba inicial puede ser requerida para calibrar esta velocidad).

6. Registre la carga última alcanzada P . Registre el número de planos de falla observados n .

7. Calcule el esfuerzo cortante

$$\tau_L = P / 4Lt$$

Si $n < 4$, note que esto indica que el esfuerzo cortante calculado en este ensayo es un límite inferior para el espécimen analizado.

Reporte lo siguiente:

- dimensiones medidas D , t y L
- carga última observada P y número de planos de falla observados n
- valor calculado de τ_L



Ensayo de compresión diametral

1. Corte la longitud del espécimen tal que $L \approx D$. Los especímenes no deben incluir nodos.
2. Obtenga las dimensiones D , t y L del espécimen del culmo.
3. Ubique un pequeño y delgado calzo de madera blanda o neopreno sobre la placa de carga centrada sobre el cilindro hidráulico.
4. Centre el espécimen de culmo sobre el cilindro hidráulico de tal forma que el eje longitudinal del culmo esté alineado a lo largo del calzo.
5. Ubique un segundo calzo en la parte superior del espécimen paralelo al calzo de abajo (alineado a lo largo del eje longitudinal del culmo).
6. Ponga en contacto el ensamble culmo-calzo con la placa de reacción superior.
7. Comience el ensayo, utilice una velocidad de carga que produzca la falla en aproximadamente dos minutos (una prueba inicial puede ser requerida para calibrar esta velocidad).
8. Registre la carga última alcanzada P .

9. Calcule longitudinales momentos at quadrants:

$$M_{NS} = \left(\frac{PR}{\pi} \right) \left(1 - \frac{t^2}{12R^2} \right) \quad M_{EW} = \left(\frac{PR}{\pi} \right) \left(1 - \frac{t^2}{12R^2} \right) - \frac{PR}{2}$$

10. Calcule el módulo de ruptura a través de la pared:

$$f_{rNS} = M_{NS} \frac{12(t/2 + h)}{Lt^3} \quad f_{rEW} = M_{EW} \frac{12(t/2 + h)}{Lt^3} - \frac{P}{2Lt}$$

en el cual: $h = R - t \ln \left(\frac{2R}{t} + 1 \right) / \left(\frac{2R}{t} - 1 \right)$

11. Si la deflexión vertical (Δ) fue medida, el módulo de elasticidad tangente aparente es calculado como:

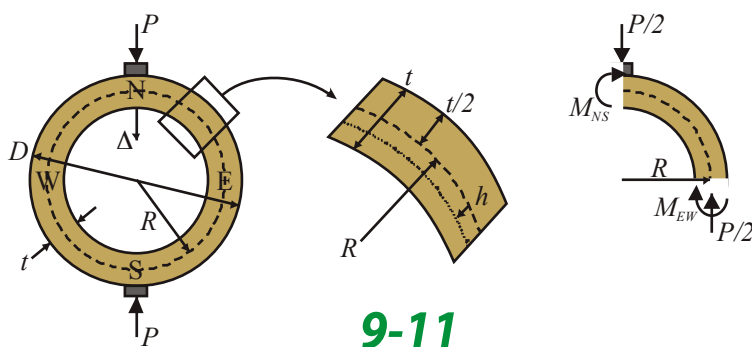
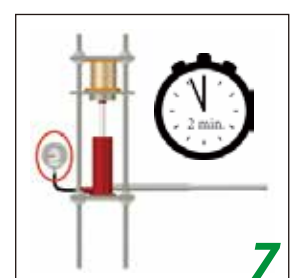
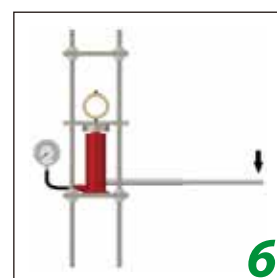
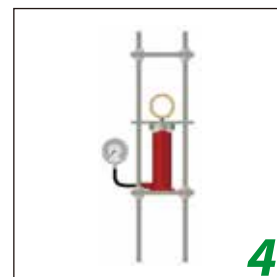
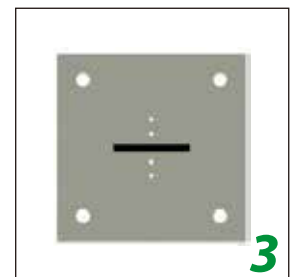
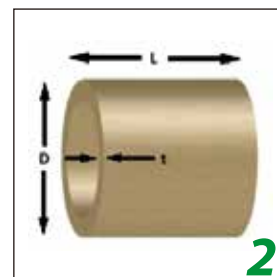
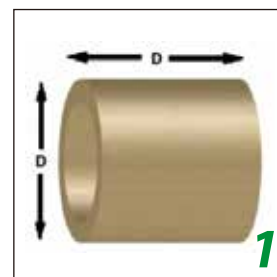
$$E_{\varphi} \approx \frac{3PD^3}{2Lt^3 \Delta} \left(\frac{\pi k_1}{4} - \frac{2k_2}{\pi} \right)$$

en el cual: $k_1 \approx 1 + \frac{7.6t^2}{D^2}$ y $k_2 = 1 - \frac{t^2}{3D^2}$

Ensamble la unidad como se muestra.

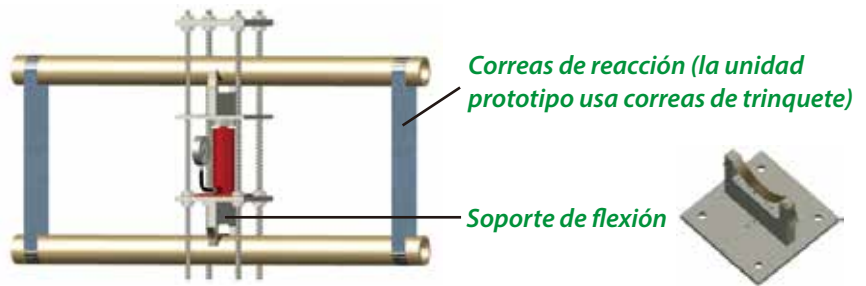
Reporte lo siguiente:

- dimensiones medidas D , t y L
- carga última observada P
- valores calculados M_{NS} , M_{EW} , f_{rNS} , f_{rEW} y E_{φ}

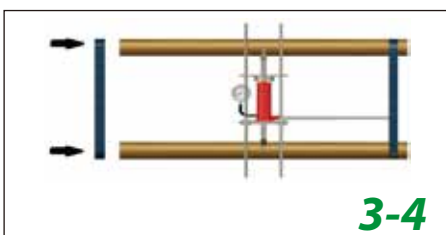


Ensamble la unidad como se muestra, con los soportes de flexión sobre la placa de carga y la placa base de reacción. Dos sistemas de correas de reacción (correas de trinquete trabajan bien) y dos culmos similares son ubicados dentro de la unidad como se muestra. Alternativamente, un culmo puede ser remplazado con un tubo de acero (o similar) para proveer la reacción requerida, minimizar la flexibilidad y proveer los medios de calcular la deflexión del (los) culmo(s) en estudio.

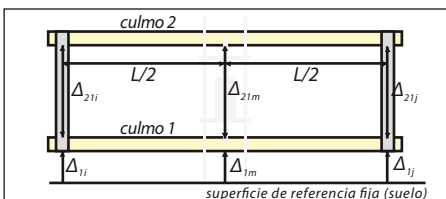
Ensayo de flexión



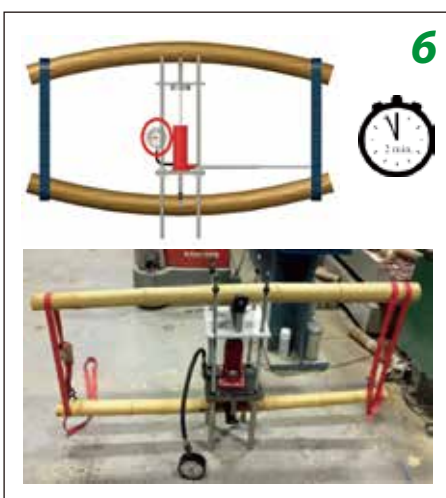
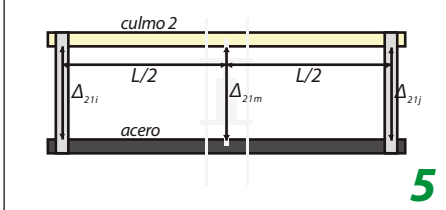
1-2



3-4



5



6

Reporte lo siguiente:

- dimensiones medidas D , t y L
- carga última observada P
- valor calculado de σ_f
- método de determinar Δ si fue medido

1. Corte el espécimen a la longitud deseada L . Para ser consistente con ISO 22157, $L > 20D$ aunque esto no es un requerimiento siempre y cuando los resultados del ensayo sean solo comparados con otros resultados que usen la misma relación L/D .

2. Obtengan las dimensiones D , t y L del espécimen del culmo. Calcule I_{culm} :

$$I_{culm} = (\pi / 64) (D^4 - (D - 2t)^4)$$

3. Centre los culmos entre los soportes de flexión y ubique las correas alrededor de los bordes de los culmos a distancias iguales desde el soporte (es decir: el soporte es localizado en el centro de los culmos).

4. Extienda el pistón hidráulico hasta que los culmos se ajusten contra las correas y estén paralelos; ajuste la longitudes de las correas hasta que los culmos estén paralelos manteniendo las correas equidistantes del soporte de flexión.

5. Mida la longitud de ensayo del culmo, L , como la distancia entre las líneas de centro de cada correa; verifique que el soporte de flexión esté localizado en $L/2$.

Métodos para calcular desplazamientos individuales de los culmos.

a) flexión de dos culmos

desplazamiento en la mitad del culmo 1:

$$\Delta_1 = 0.5 (\Delta_{1i} + \Delta_{1j}) - \Delta_{1m}$$

desplazamiento en la mitad del culmo 2:

$$\Delta_2 = \Delta_{21m} - 0.5 (\Delta_{21i} + \Delta_{21j}) - \Delta_1$$

b) uso de un elemento de reacción conocido (acero o tubo)

desplazamiento en la mitad del elemento de acero:

$$\Delta_1 = PL^3 / 48 E_{acero} I_{acero}$$

desplazamiento en la mitad del culmo 2:

$$\Delta_2 = \Delta_{21m} - 0.5 (\Delta_{21i} + \Delta_{21j}) - \Delta_1$$

6. Comience el ensayo, utilice una velocidad de carga que produzca la falla en aproximadamente dos minutos (una prueba inicial puede ser requerida para calibrar esta velocidad).

7. Registre la carga última alcanzada P , correspondiente a la falla del primer culmo que falle.

8. Calcule el esfuerzo de flexión último aparente:

$$\sigma_f = PL / 8 I_{culm}$$

9. Si la deflexión en la mitad de la luz (Δ) fue medida, el módulo de elasticidad a flexión aparente es calculado:

$$E_a = PL^3 / 48 \Delta I_{culm}$$

Referencias

International Organization for Standardization (ISO) (2004b) ISO 22157-1:2004(E), Bamboo – Determination of Physical and Mechanical Properties – Part I: Requirements. Geneva.

International Organization for Standardization (ISO) (2004c) ISO 22157- 2:2004(E), Bamboo – Determination of Physical and Mechanical Properties – Part II: Laboratory Manual. Geneva.

Richard, M. (2013) Assessing the Performance of Bamboo Structural Components Doctoral Dissertation, University of Pittsburgh.

Sharma, B., Harries, K.A. and Ghavami, K. (2012) Methods of Determining Transverse Mechanical Properties of Full-Culm Bamboo, *Journal of Construction and Building Materials*, 38, 627-637.



La Red Internacional del Bambú y Ratán (INBAR) es una organización intergubernamental establecida en 1997 por el Tratado depositado en las Naciones Unidas y la única con sede en Beijing, China. INBAR cuenta actualmente con 41 Estados miembros, integrados principalmente por países del hemisferio Sur que tienen bambú y ratán en sus territorios. Desde su creación, hace dos décadas, INBAR ha ejecutado proyectos y programas en más de 20 países, buscando: el desarrollo de capacidades locales, la sensibilización, promoción del uso eficiente del bambú y ratán en más de 80 países. Hoy en día, el programa global de INBAR se coordina desde su secretaría en Beijing, y se activa a través de las oficinas nacionales y regionales en China, Ecuador, Etiopía, India y Ghana. INBAR cuenta con un equipo internacional y multidisciplinario de profesionales y expertos en bambú y ratán en temas de: silvicultura y gestión de recursos naturales, servicios ecosistémicos, socio-economía, cambio climático, construcción sustentable, códigos y normativas, fortalecimiento de capacidades y el intercambio de conocimientos.



La Universidad de Pittsburgh (Pitt) catalogada como una institución Carnegie Research I está localizada en Western Pennsylvania. Fundada en 1787, en Pitt estudian 35000 estudiantes y es la base de más de 5000 profesores. La Escuela de Ingeniería Swanson de la Universidad de Pittsburgh y la Universidad Sichuan de Chengdu, China forman parte del Instituto Universidad Sichuan-Pittsburgh que es un Instituto fundado para el estudio de métodos innovativos en educación e investigación. El programa de investigación de materiales hechos de bambú se desarrolla en el Laboratorio de Estructuras Watkins Haggart que se fundó en 2005. Este laboratorio es uno de los principales laboratorios en Norte America dedicado al estudio de éste tipo de material. El principal objetivo del laboratorio de investigaciones del bambú en Pitt es establecer la composición y propiedades mecánicas de la caña completa de bambú. El objetivo de esta investigación seminal se dirige hacia el establecimiento de normas estándar para la caña de bambú, y que estas normas sean similares para las que hoy existen para maderas usadas en la construcción convencional. El programa de investigación sobre el bambú también ha entablado colaboraciones con programas similares en el Reino Unido, Brazil, China, Colombia, India e Indonesia.

Productor y Diseñador: Liu Kewei