Universidad Iberoamericana Puebla

Repositorio Institucional **http://repositorio.iberopuebla.mx**

ExpoIbero Primavera 2022

Análisis de conexiones de bambú para aplicaciones estructurales

Maqueda Salamanca, Aracely Itzel

2022

https://hdl.handle.net/20.500.11777/5510

http://repositorio.iberopuebla.mx/licencia.pdf

Análisis de conexiones de bambú para aplicaciones estructurales

Maqueda Salamanca Arely Itzel (octavo semestre en Ingeniería Civil)[1], Olivares García Paulina (octavo semestre en Ingeniería Civil)[1,*], Kuri Luna Anhuar (octavo semestre en Ingeniería Civil)[1], Jurado Cedillo Raúl (octavo semestre en Ingeniería Civil)[1], Colin Ortega Juan Carlos (profesor responsable)[1].
[1]*Universidad Iberoamericana Puebla, San Andrés Cholula, Puebla, México.*

Resumen

El bambú es una planta utilizada mundialmente para un sinfín de actividades, puede llegar a ser el origen de muchas herramientas que son de uso cotidiano para los humanos; dentro de sus beneficios, centrándonos en la construcción, es uno de los materiales que mayor futuro tiene en este ámbito, es considerado el acero vegetal, el cual a pesar de poder llegar a ser muy innovador, tiene desventajas, debido a la falta de conocimiento que se tiene al momento de emplearse como material para la construcción. En la actualidad, no existe ninguna normativa en la cual podamos encontrar información e instrucciones precisas de cómo es que se debe utilizar este material; es muy utilizado a escala global, pero todo es de manera empírica. Uno de los parámetros más importantes a considerarse en la elaboración de una estructura es el comportamiento de las conexiones, las cuales son el elemento esencial para la distribución de cargas. A partir de un reporte técnico elaborado por exalumnos de la Universidad Iberoamericana Puebla en el año 2021, se tomó la decisión de que el bambú plumoso tratado es el que presenta mejores características físicas y mecánicas para la elaboración de conexiones estructurales. Para este trabajo se tomó la decisión de desarrollar tres propuestas de conexiones, siendo así la primera una conexión encajada en forma de T, la segunda conexión es atornillada igualmente en forma de T y, finalmente, se optó por realizar una conexión de esquina. Después de llevar a cabo el análisis estructural de las conexiones, se obtuvo que la conexión de mejor comportamiento fue la conexión encajada en forma de T debido al corte de la sección y al empleo de la resina.

Palabras clave: Bambú, conexiones estructurales, análisis estructural.
[*]**Autor Corresponsal:** 188562@iberopuebla.mx

Introducción

El bambú es conocido como la planta de los mil usos debido a la cantidad de alimentos, vestimenta, medicinas y materiales de construcción que, con su uso, se han podido crear, en especial, en la actualidad se están buscando alternativas constructivas sustentables debido a los efectos del cambio climático, ya que el bambú es un recurso natural renovable y de grandes beneficios ambientales, se ha comprobado su alta resistencia, propiedades físicas y mecánicas para para su empleo en la construcción [1].

Históricamente se puede asociar su origen con la cultura oriental, pero existen registros e investigaciones que muestran que el bambú se ha utilizado un largo tiempo en Argentina, Ecuador y Colombia. Esto comenzó en la época del Plioceno y se ha utilizado en el desarrollo humano desde entonces [2].

Esta planta cuenta con más de 1200 especies en todo el mundo y en promedio ésta planta llega a tener una altura entre los 18 y 30 metros, dependiendo de la especie y edad. Su diámetro inferior tiene un rango desde los 8 hasta los 20 cm, mientras que su diámetro superior es en promedio de 3 cm. Algunas especies como la Guadua angustifolia en menos de cinco meses tienen un crecimiento total de 20 metros. El bambú tiene una forma peculiar en su estructuración, el tallo del bambú (también llamado culmo) es un cilindro con tabiques verticales que coinciden con los nudos a intervalos regulares.

Dependiendo de la composición de sus fibras, presenta mayor resistencia en sentido longitudinal y menor resistencia en sentido transversal. Su estructura consiste en largas fibras de celulosa dispuestas e inmersas en una matriz de lignina, las cuales cuentan con la característica de que entre más concentradas se vuelven más cerradas, lo que proporciona una mayor resistencia al culmo, que se mantiene constante durante todo su ciclo de vida [2].

En México se encuentran 45 especies de bambú y es más aprovechado en las zonas rurales, dónde se dispone de este recurso y, aunque no existen especies endémicas de bambú, se cuentan con especies nativas de tipo leñosas y herbáceas; a pesar de que su uso es continuo en estas zonas del país, en la mayoría del territorio nacional este material es desperdiciado y su uso no es optimizado [2].

Una de las especies con rápido crecimiento y de mayor uso es el Phyllostachys Aurea, mejor conocido como bambú plumoso, es más utilizado de forma ornamental, se encuentra en climas templados dónde alcanza una altura de cinco metros [3]. De forma particular en Tosepan, la comunidad de dónde se obtuvo el bambú para este proyecto, es común aplicar un tratamiento utilizando una solución de ácido bórico al cinco por ciento para preservar el material, considerando que puede llegar a requerir ciertos cuidados especiales, ya que, al ser un material natural, requiere cierto tipo de preservadores, esto para protegerlo del posible ataque de insectos y hongos [4].

El bambú dentro del ámbito de la construcción es conocido como el acero vegetal o el acero del futuro debido a los beneficios que su implementación conlleva, es un material de bajo impacto y amigable con el medio ambiente, cuenta con propiedades físicas y mecánicas que permiten la edificación de hasta 2 niveles y su uso y mano de obra suelen ser más económicos en comparación con otros materiales constructivos [5] [6] [7].

Aunque el bambú es una planta que es empleada para la construcción de viviendas, en la actualidad no existe ninguna normativa mexicana sobre la construcción y diseño de obras

a partir del uso del bambú, lo cual provoca que su implementación como material constructivo se delimite a puro conocimiento empírico, lo que ocasiona que el uso del bambú no sea optimizado y que, bajo cargas accidentales, las conexiones no sean eficientes y la estructura termine fallando y colapsando. En el ámbito estructural las conexiones son parte fundamental de toda construcción, ya que la forma en la que se encuentren conectados los componentes principales de una estructura influye en el comportamiento que vaya a presentar la misma. En el caso del bambú, se usan métodos de conexiones rudimentarios, se usa un tipo de soga como conexión y en condiciones como viento y sismo, no llegan a ser eficientes y esto puede llegar a ocasionar un colapso de las estructuras [1].

Una conexión estructural es aquella en la que uno, dos o más elementos resistentes se unen con el objetivo de proporcionar continuidad entre estos elementos, para que los esfuerzos puedan transmitirse de una manera segura y eficiente, y que las deformaciones se disminuyan hasta el mínimo. El comportamiento de conexiones se clasifica en 3: flexibles, rígidas y semirrígidas. Siendo una conexión flexible aquella que permitirá rotación entre el nodo y el apoyo fijo y el apoyo móvil es articulado sin restricciones; una conexión totalmente restringida se da por el empotramiento, al no permitir una rotación en el nodo; y por último se considera como conexión semirrígida a aquella en la que no existe una continuidad entre los elementos conectados [8].

La SEMARNAT en el 2006 publicó un manual para la construcción sustentable con bambú, en el que se detallan todos los usos del bambú, sin embargo, en el apartado de "Uniones para la construcción" se menciona que hace falta información técnica y la normativa adecuada para el cálculo de esfuerzos para un diseño adecuado, debido a que la mayoría de las conexiones detalladas en el manual son amarres o traslapes gracias a que son fáciles de realizar [1].

Poco más de una década después, en 2018, la arquitecta mexicana Lucila Aguilar realizó un manual para la construcción de bambú en los que comparte su experiencia trabajando en obras con bambú, consta de 4 capítulos sobre las ventajas, partes y usos del bambú, así como la preparación del material, el equipo, herramientas, criterios y detalles generales acerca de las características de acuerdo con cada especie de bambú [9].

En 2021, alumnos de noveno semestre de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Iberoamericana Puebla, realizaron un reporte técnico acerca de las características físicas y mecánicas del bambú, en el que analizaron tres especies de bambú con y sin tratamiento para obtener más información sobre su comportamiento a compresión, tensión y flexión [10].

Este trabajo consiste en el análisis del comportamiento estructural del diseño de las conexiones propuestas a partir del uso de bambú, se presentará la investigación y los resultados de las pruebas realizadas de las conexiones propuestas que ayuden a elegir la mejor opción de conexión para estructuras hechas con bambú, y que de esta forma pueda comenzar a existir un mayor control en el diseño y proceso constructivo de estructuras hechas a partir de este material. De tal manera que cada vez que se diseñe una construcción de este tipo sea a partir de fundamentos ingenieriles y no a través del conocimiento empírico que se tenga del tema.

Metodología

Investigación y diseño de conexiones

Primero se realizó una investigación acerca del uso del bambú en la construcción y de las diferentes conexiones utilizadas, al mismo tiempo, se investigó lo que es una conexión estructural, los distintos tipos de estas y normativa sobre el diseño y construcción de estos elementos. Teniendo una idea de la función y los diferentes modelos de conexiones, se realizó un diseño preliminar para hacer tres propuestas de uniones con bambú. Se decidió realizar 3 propuestas de conexiones: una conexión encajada en forma de T, una conexión atornillada en forma de T y una conexión en esquina.

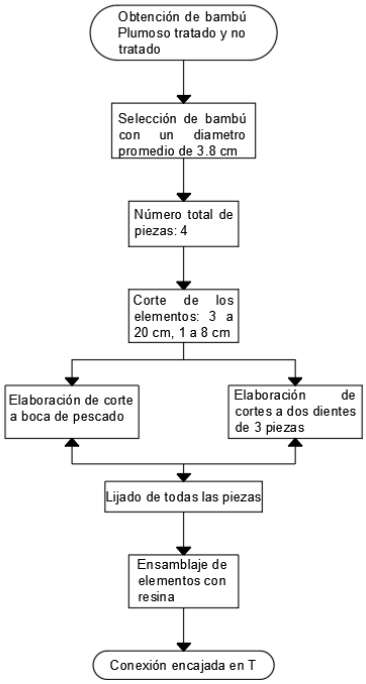

Fig. 1. Diagrama de flujo del proceso de construcción de la conexión encajada en T. Elaboración propia.

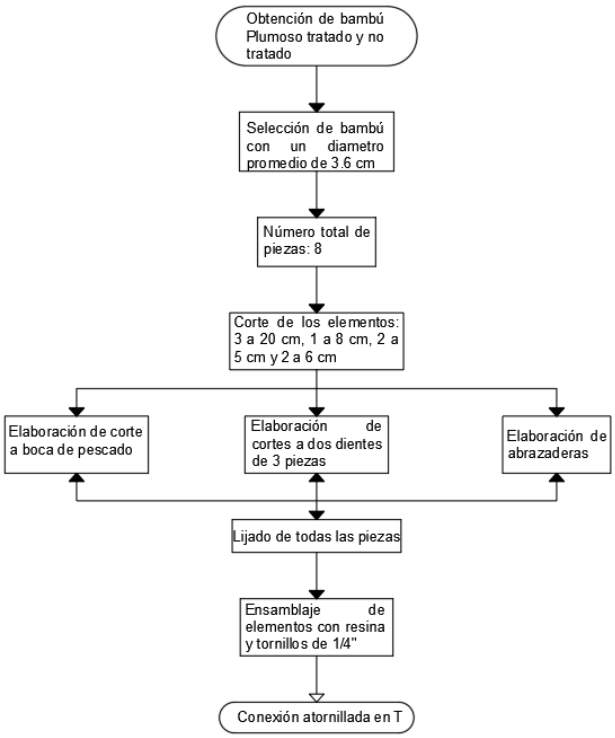

Fig. 2. Diagrama de flujo del proceso de construcción de la conexión atornillada en T. Elaboración propia.

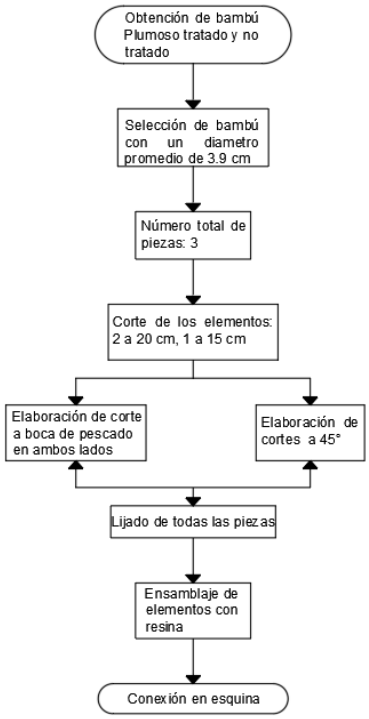

Fig. 3. Diagrama de flujo del proceso de construcción de la conexión en esquina. Elaboración propia.

Selección y corte del bambú

Con base al reporte técnico realizado por los exalumnos de Ingeniería Civil en el año 2021 y, debido a las características que presentaba en relación con su resistencia a la compresión, tensión y flexión, se decidió utilizar la especie Phyllostachys Aurea, bambú plumoso, el cual tuvo el mejor desempeño de las especies de bambú ensayadas en el estudio anterior. Se contacto a la misma cooperativa para poder utilizar el bambú que contara con el mismo tratamiento y características que la investigación llevada a cabo por los exalumnos. En un inicio se compraron en total diez metros de bambú, cinco metros del Plumoso no tratado, y los restantes del bambú tratado. Para la conexión encajada en T, se decidió cortar cuatro piezas, la pieza central tendría una longitud de 8 cm y sería de bambú no tratado, ya que este tuvo el mejor comportamiento a flexión, mientras que el resto de las piezas serían de 20 cm de largo y de bambú tratado.

Fig. 4. Elección de las piezas de la conexión encajada en T. Elaboración Propia.

Los cortes para el encaje de las piezas se decidieron hacer de dos dientes para los elementos laterales y el central, mientras que para el único elemento vertical se realizó un corte en boca de pescado para evitar el mayor número de perforaciones en las piezas.

Fig. 5. Corte a dos dientes y en boca de pescado de las piezas de la conexión encajada en T. Elaboración Propia.

Para la conexión atornillada en T, al ser el bambú un material natural y por lo tanto irregular, se decidió medir los diámetros de las partes más gruesas para encontrar 3 piezas que tuvieran el mismo diámetro, y utilizando un corte en boca de pescado para el elemento vertical. Para la parte de la conexión que estaría atornillada se cortaron secciones transversales del bambú para que éstas encajaran con los diámetros de las piezas anteriormente seleccionadas.

Para la conexión en esquina se realizaron dos cortes a 45 grados para el elemento horizontal y vertical, mientras que, para el apoyo, se decidió realizar un tipo de ménsula con cortes de boca de pescado en ambos extremos.

Fig. 6. Corte 45 grados de las piezas de la conexión en esquina. Elaboración propia.

Es importante destacar que después de realizar los cortes para la conexión encajada en T, la pieza central, la cuál era el único elemento de bambú plumoso no tratado, falló, ya que con el tiempo presentaba grietas longitudinales las cuales causaban la ruptura de la pieza. Las piezas pasaron de tener un color verde a un color marrón con el tiempo y uso, por lo que posteriormente se tomó la decisión de sólo utilizar el bambú tratado, y debido a esto se tuvieron que comprar 3 metros adicionales.

Fig. 7. A) Ruptura a lo largo del eje longitudinal de la pieza central con corte a dos dientes, B) Cambio de color del material debido a su descomposición por causas naturales. Elaboración Propia.

Lijado y ensamble de las piezas

Posterior al corte de todas las piezas se llevó a cabo el lijado de estas para tener una superficie lo más uniformemente posible y para que tuvieran una mejor adherencia al momento de realizar los ensayes. En los casos de la conexión encajada en T y la conexión en esquina, se hizo uso únicamente de una resina, la cual fue un Pegamento Transparente SC de la distribuidora Poliformas.

Para su preparación se utiliza del 1 al 2% de catalizador del peso total de la resina. Este pegamento fue igualmente utilizado para la conexión atornillada en T, pero como componente secundario, ya que los tornillos serían el medio principal de unión. Para ambos armados, se tomaron medidas de 5 ml de la resina, a la cual se le agregó 0.1 ml de catalizador, en un estado trabajable el material se endureció aproximadamente entre dos y tres minutos. Para la elección de los tornillos de esta segunda conexión se decidió utilizar tornillos de ¼ de pulgada.

Análisis estructural de las conexiones

Para conocer el comportamiento de cada conexión fue necesario realizar un análisis a partir de las características físicas del bambú. Antes de comenzar con el análisis estructural de las conexiones, es necesario obtener el peso de estas en relación con su diseño, en este caso, sería la representación de la carga muerta. Los datos de entrada que se tomaron en cuenta para este estudio fueron los siguientes: el peso volumétrico de 760 kg/m^3, el cual se obtuvo del reporte técnico generado por exalumnos de la Universidad Ibero Americana Puebla en 2021; los diámetros de las piezas, obtenidos directamente de las conexiones; para la conexión encajada en T se tomó un diámetro de 3.8 cm y para la conexión atornillada en T el diámetro fue de 3.55 cm; la última variable fue el peso de los tornillos de 17 gramos, conseguido con la ayuda de una balanza.

En 2020, se publicó un estudio de la Universidad Católica de Colombia sobre conexiones de la especie de bambú

gigante, mejor conocida como bambú guadua, en el que se menciona que los nudos de las estructuras de guadua deben de calcularse como barras articuladas, ya que la estructura no se puede considerar como empotrada [13]. Por lo que, para este trabajo, las conexiones se tomaron igualmente como articuladas.

Para las conexiones en T, se optó por primero realizar un diagrama de cuerpo libre, el cual nos permite tener un modelo idealizado de la estructura para después proceder al cálculo de esta. Posteriormente se llevó a cabo el equilibrio externo utilizando como base los principios de las ecuaciones de equilibrio de estática que se muestran a continuación.

$$\sum Fx = 0 \qquad (1)$$

$$\sum Fy = 0 \qquad (2)$$

$$\sum M = 0 \qquad (3)$$

Después de obtener el equilibrio externo se realizó el cálculo de fuerzas internas de la conexión, asimismo idealizada, para posteriormente obtener las ecuaciones para fuerza axial, cortante y momento, de acuerdo con el número de cortes que se hicieron en relación con la variación de carga a lo largo del elemento. Después se realizaron los diagramas de las mismas fuerzas al ir sustituyendo datos de la longitud del elemento en las ecuaciones previas para obtener los valores de la fuerza axial, cortante y el momento máximo de la conexión.

Para el caso de la conexión en esquina, por su diseño, se decidió realizar su análisis como si fuera una armadura debido a su geometría para conocer los desplazamientos de los elementos que la constituyen. Los datos de entrada que se utilizaron fue el módulo de la elasticidad del bambú y las áreas de cada sección. En este caso el análisis fue nodo por nodo, aplicando el principio del trabajo virtual, el cual se muestra a continuación:

$$\delta W = \delta We + \delta U \qquad (4)$$

La ecuación anterior es una suma entre el trabajo virtual externo, utilizando la fuerza virtual externa (δWe) y la fuerza virtual interna (δU).

Ensayes de conexiones

Para poder ensayar las conexiones realizadas en una maquina universal de esfuerzos fue necesario realizar varios ajustes y buscar información sobre los datos de entrada que se requieren para pruebas a compresión. Debido a la falta de normativa se decidió utilizar la velocidad de aplicación de carga de 2 mm/seg con base a la normativa para especímenes de acero que se especifica en la ASTM [16]. Respecto a las medidas de las piezas, para las conexiones en T, los elementos verticales se cortaron a 15 cm de longitud, mientras que las piezas horizontales unidas tienen una longitud total de 30 cm. Se decidió solo aplicar la prueba de compresión ya que la carga vertical es la que se utilizó para realizar los análisis de cada conexión. A continuación, se muestran las conexiones probadas:

Fig. 8. Prueba a compresión de la conexión encajada en T. Elaboración propia.

Fig. 9. Prueba a carga vertical de la conexión atornillada en T. Elaboración propia.

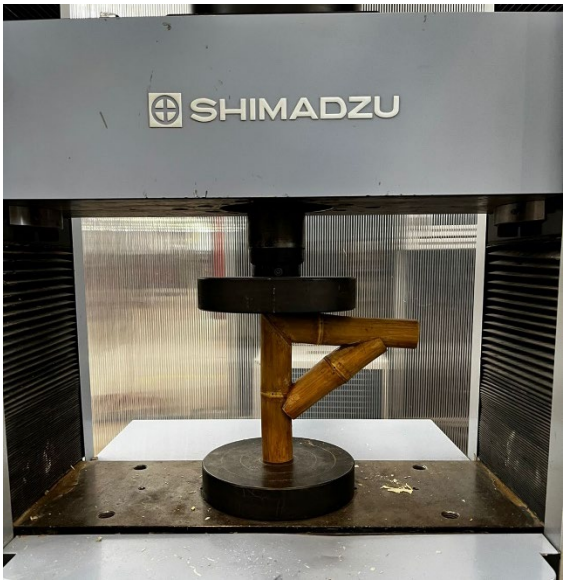

Fig. 10. Prueba a carga vertical de la conexión en esquina. Elaboración propia.

Resultados y Discusión

A continuación, se muestran las propuestas de diseño de las conexiones realizadas.

Fig. 11. Conexión encajada en T. Elaboración Propia.

Fig. 12. Conexión atornillada en T. Elaboración Propia.

Fig. 13. Conexión en esquina. Elaboración Propia.

Para iniciar el análisis estructural se obtuvieron los diagramas de cuerpo de cada conexión.

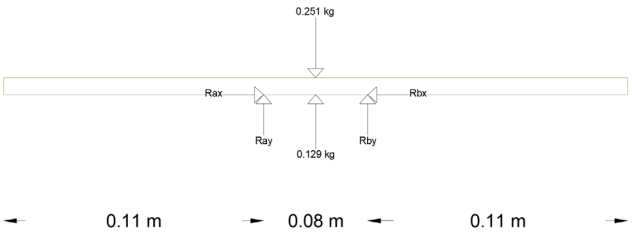

Fig. 14. Diagrama de Cuerpo Libre de la conexión encajada en T. Elaboración Propia.

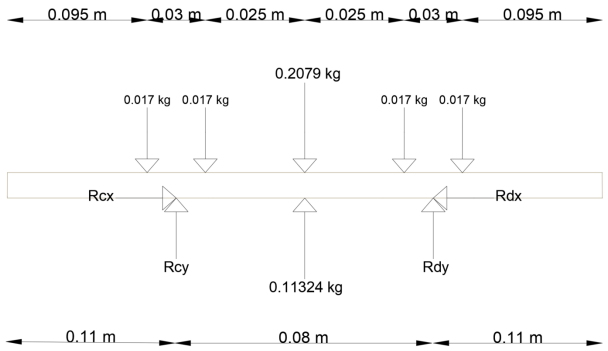

Fig. 15. Diagrama de Cuerpo Libre de la conexión atornillada en T. Elaboración Propia.

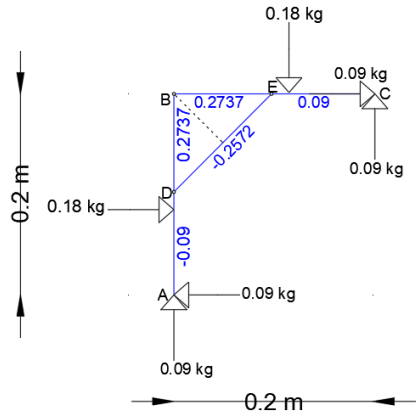

Fig. 16. Diagrama de Equilibrio Externo de la conexión en esquina. Elaboración propia.

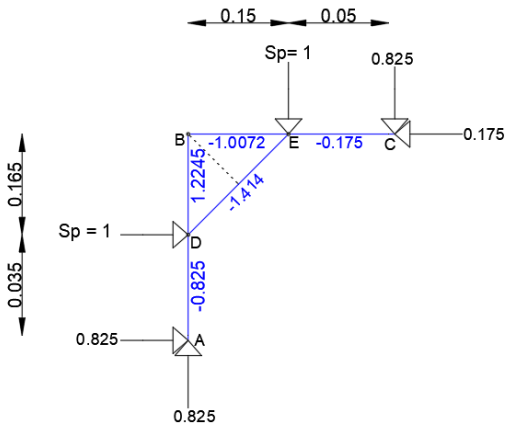

Fig. 17. Diagrama de Equilibrio Interno de la conexión en esquina con cargas virtuales. Elaboración propia.

Para las conexiones en T, se obtuvieron las ecuaciones de las fuerzas cortantes y de los momentos que se muestran en las siguientes tablas.

Tabla 1: Ecuaciones de Cortante y Momento para los intervalos establecidos en relación con el cambio de carga a lo largo de la conexión.

Cortes (metros)	Fuerza Axial, N	Fuerza Cortante, V (kg/m^2)	Momento, M (kg*m)
$0 \leq x \leq 0.11$	0	$0.836x - 0.0609$	$-0.418x^2 + 0.0609x - 0.006699$
$0.11 \leq x \leq 0.19$	0	$0.836x - 0.1901$	$-0.418x^2 + 0.1901x - 0.026079$
$0.19 \leq x \leq 0.30$	0	$0.836x - 0.251$	$-0.418x^2 + 0.251x - 0.03765$

Tabla 2: Ecuaciones de Cortante y Momento para los intervalos establecidos en relación con el cambio de carga a lo largo de la conexión atornillada en T.

Cortes (metros)	Fuerza Axial, N	Fuerza Cortante, V (kg/m^2)	Momento, M (kg*m)
$0 \leq x \leq 0.095$	0	$0.693158x$	$-0.3464x^2$
$0.095 \leq x \leq 0.11$	0	$0.693x + 0.017$	$-0.3464x^2 - 0.017x - 0.0016$
$0.11 \leq x \leq 0.125$	0	$0.693x - 0.064$	$-0.3464x^2 + 0.0.064x - 0.0073$
$0.125 \leq x \leq 0.15$	0	$0.693x - 0.047$	$-0.3464x^2 + 0.047x - 0.0052$
$0.15 \leq x \leq 0.175$	0	$0.693x - 0.161$	$-0.3464x^2 + 0.161x - 0.0221$
$0.175 \leq x \leq 0.19$	0	$0.693x - 0.143$	$-0.3464x^2 + 0.143x - 0.0192$
$0.19 \leq x \leq 0.205$	0	$0.693x - 0.224$	$-0.3464x^2 + 0.224x - 0.0346$
$0.205 \leq x \leq 0.3$	0	$0.693x - 0.208$	$-0.3464x^2 + 0.208x - 0.0311$

Para la conexión en esquina, se obtuvieron las fuerzas reales y las virtuales empleando el principio de trabajo virtual mencionado anteriormente con lo que se conoce el desplazamiento que la conexión llega a tener.

Tabla 3: Desplazamientos debidos a las Fuerza Real y Virtual de la conexión en esquina

Barra	Longitud cm	Área cm2	Flexibilidad	Fuerza Real kg	Fuerza Virtual	Desplazamientos cm
AB	20	11.946	0.001243	0.1837	0.3995	9.12057E-05
BC	20	11.946	0.001243	0.3637	-1.1822	-0.000534355
DE	15.3	11.946	0.000951	-0.2572	-1.414	0.000345762

Al sumar los desplazamientos de los elementos se obtuvo un desplazamiento de negativo de 0.00009 cm, esto quiere decir que en las esquinas se genera tensión lo que provoca que la conexión falle debido a la ruptura de la unión entre el apoyo y los elementos horizontales y verticales.

A continuación, se presentan los diagramas de fuerzas de las conexiones en T:

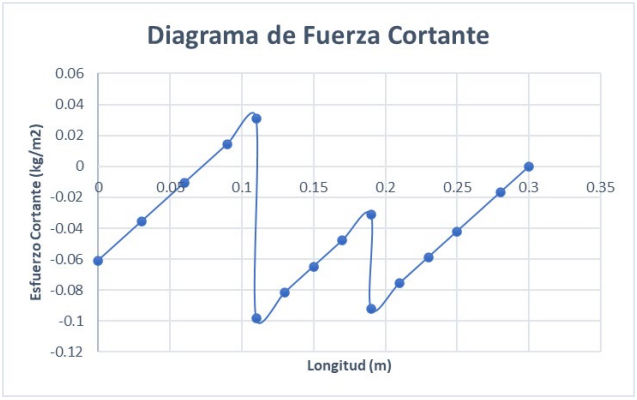

Fig. 18. Diagrama de Cortante de la conexión encajada en T.

Debido a que la carga muerta es constante lo largo del elemento el diagrama de cortante se encuentra sin cambio en la pendiente en cada tramo analizado, debido a la ubicación de los apoyos, en este caso cortes, que fueron diseñados para esta conexión y el tipo de carga con el que se analizó, el esfuerzo aumenta hasta llegar a cero en la totalidad de la longitud de la pieza.

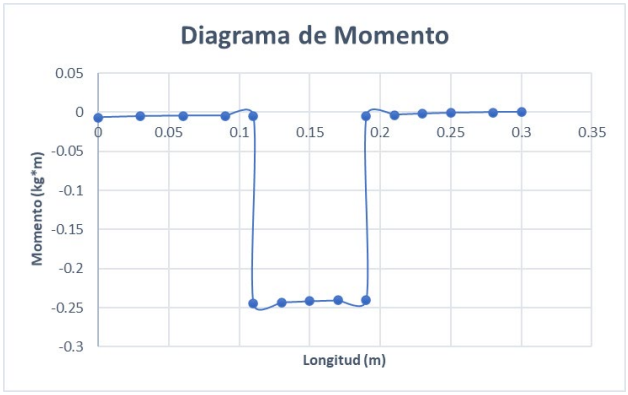

Fig. 19. Diagrama de Momento de la conexión encajada en T.

A partir del diagrama de cortante, se puede obtener la ubicación del momento máximo, de forma visual se pueden

superponer las Figuras 18 y 19, donde los valores más altos coinciden en ambos diagramas.
La parte central de esta pieza es la que experimentara un momento flexionante debido a la aplicación de carga puntual y uniforme, y por el hecho de estar articulada en ambos lados.

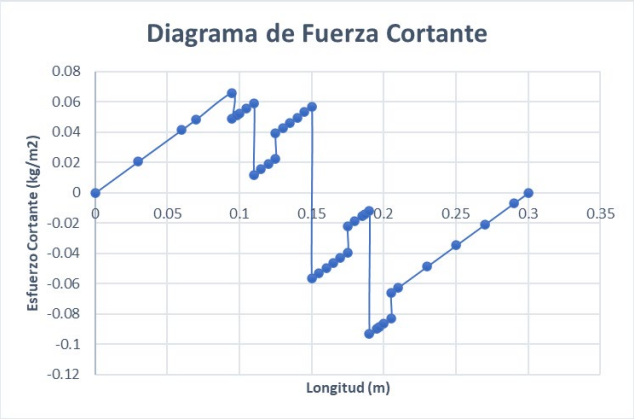

Fig. 20. Diagrama de Cortante de la conexión atornillada en T.

En el diagrama de cortante de la conexión atornillada se ve instantáneamente el efecto que los tornillos tienen sobre la conexión al disminuir e incrementar el esfuerzo sobre la superficie del elemento. el plano de falla se encuentra entre los tornillos más alejados del centro de la conexión, ya que el área de la sección de esta propuesta fue disminuida debido a los agujeros de los tornillos.

Como se muestra en el diagrama de momento de esta conexión, el momento flexionante máximo se presenta en la unión entre la pieza central y el elemento vertical de unión en corte de boca de pescado, la igual que el caso de la conexión encajada en T.

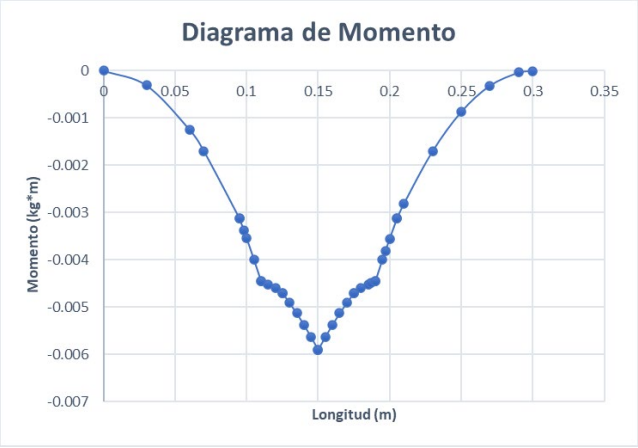

Fig. 21. Diagrama de Momento de la conexión atornillada en T.

Para la conexión en esquina se obtuvieron los desplazamientos de en los puntos D y E, como se muestra en la siguiente figura, ya que son los puntos que sostienen a toda la conexión.

A partir del uso de la máquina universal de esfuerzos se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 4: Resultados de prueba a compresión

Tipo de conexión	Max. Fuerza a Compresión	Resist. a tensión	Desplaz.	Deform.
	N	N/mm^2	mm	%
Conexión encajada en T	9414.83	23.6308	26.999	15.428
Conexión atornillada en T	5650.64	15.4575	2.099	1.116
Conexión en esquina	18412.7	7814.58	82.9174	82.917

Fig. 22. Gráfica de Fuerza vs Desplazamiento de las 3 propuestas de conexiones obtenida de la máquina universal de esfuerzos.

Como se puede observar en la Tabla 3 se obtuvieron las fuerzas máximas en las que se rebasaron los estados límites de falla de las conexiones, la que presentó mayor rango elástico fue la conexión atornillada, la conexión que tuvo mayor capacidad de carga es la de esquina.

Conclusiones, perspectivas y recomendaciones

Se logró conocer el comportamiento estructural del bambú en los modelos de conexiones propuestos.

A partir del análisis de los resultados se observó que la conexión que obtuvo el mejor comportamiento en general fue la de conexión encajada en T, debido a que el diseño de su sección no es reducido en comparación con la conexión atornillada en T. Los puntos de unión, al ser en corte de 2 dientes, permitieron darle una continuidad entre las piezas al elemento, por lo que los esfuerzos se distribuyeron más uniformemente. En pruebas tuvo una fuerza máxima a compresión de 9414.83 N, un desplazamiento de 2.7 cm y una resistencia a la tensión de 23.63 N/mm^2. Estos fueron los valores más altos, debido a que, durante la prueba de la conexión en esquina, la falla de las uniones sucedió muy rápido, por lo que, los datos registrados por el programa fueron sólo del elemento vertical de la conexión.

La conexión atornillada en T experimentó una ruptura primero en la pieza central y después en el elemento vertical con corte de boca de pescado, y por último fallaron los puntos de unión. En esta conexión la reducción de su sección, debido a las perforaciones de los tornillos, afectó la capacidad portante del elemento, ya que a comparación de la conexión atornillada tuvo una fuerza a compresión máxima un poco mayor a la capacidad de la conexión encajada.

En el análisis estructural la conexión encajada en T tuvo el momento máximo más grande de 0.2449 kg*m, este al ser

negativo, nos indica la forma cóncava del elemento, la cual muestra que la viga en su parte superior estará a tensión, mientras que su parte inferior estará a compresión. Este momento máximo, al ser calculado con solo el peso propio, dimensiones y uniones, de la conexión propuesta, representa el momento flexionante mínimo que aguantará, al no tener cargas vivas y accidentales.

Un detalle muy importante que se debe recalcar en el diseño de conexiones fue la elección de dejar huecas las piezas de todas las conexiones, esta decisión se tomó ya que solo se buscaba conocer el comportamiento del bambú como conexión, aunque en la construcción lo más común es utilizar en un mismo sistema diferentes materiales, por lo que se puede tener la combinación del bambú con el concreto; ya sea que se utilice como sustituto del acero y se encuentre ahogado en concreto dentro de un elemento estructural, o si se elige como material principal al bambú, puede ser reforzado en su interior con concreto e incluso acero.

En cuanto al proceso de elaboración de las conexiones, la conexión con la que se tuvo más problemas fue con la encajada en T, debido al tipo de corte que se empleó y a la falla de material que se mencionó anteriormente. Algo muy importante de este tipo de conexión fue lograr que las conexiones encajaran lo mejor posible previo a la aplicación de la resina, por lo que se vuelve parte del proceso de calidad cuidar la elaboración de los cortes.

La limitación más importante que se encontró en el desarrollo del proyecto fue la falta de normativa e información al momento de realizar las pruebas, ya que no se pudo utilizar una específica y normada para este tipo de elementos. Debido a que para todo tipo de pruebas y métodos se necesitan variables de entrada, y en específico, para utilizar la máquina de esfuerzos se necesitan ciertos valores para poder realizar la prueba de la forma más precisa, el hecho de tener que utilizar datos derivados de materiales de comportamiento similar, y no la información adecuada para el bambú, fue algo que complicó el proceso, por lo que es un aspecto que merece su propio estudio y enfoque.

Referencias

1. S/A (Redacción). **Bambú, la planta de los mil usos.** *Comisión Nacional Forestal (CONAFOR, México)*. https://www.gob.mx/conafor/articulos/bambu-la-planta-de-los-mil-usos (Activo Abril de 2022).
2. Ordóñez R., Mejía T. y Bárcenas M. **Manual para la construcción sustentable con bambú.** *SEMARNAT, 2006*.
3. Aguilar L. **Cátalogo de bambú en México.** *Selvazama, 2020*.
4. Cobo R., Paz L. y Bartra A. **¡SOMOS TOSEPAN!.** *Circo Maya, 2018.*
5. Yachi K. **La cadena de valor del bambú: Una mirada a la construcción.** *Bambucyt, 2020*.
6. Sánchez J. **El Bambú como Material Ecológico para la Construcción.** *Universidad Nacional Autónoma de México, 2013.*
7. Esparza C. **MANUAL DE CONSTRUCCIÓN CON TIERRA Y BAMBÚ, PROYECTO DE APLICACIÓN: CENTRO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS DE LA CAÑA DE AZUCAR.** *Universidad Nacional Autónoma de México, 2016.*
8. Cházaro C. **Tipos de conexiones para estructuras de acero de Acero.** *Gerdau Corsa, 2021*.
9. Aguilar L. **Manual para la construcción con bambú.** *Directorio Forestal Maderero, 2018*.
10. Hernández C., García R., Pérez J. y Rodríquez N. **Reporte Técnico de las características físicas y mecánicas de diferentes especies del bambú para construcción en Xochitlán.** *Universidad Iberoamericana Puebla, 2021*.
11. S/A. **Manual de Construcción de Estructuras con Bambú**. *SENCICO, 2014*.
12. Barredan L., Espinoza J., Rivas D., Matus F. y Caldera O. **Construcción de Vivienda de Bambú.** *Instituto Nacional Tecnológico Dirección General de Formación Profesional, 2013.*
13. González J. y Samudio Y. **Conexiones en Estructuras de Guadua: Una revisión de literatura.** *Universidad Católica de Colombia, 2020.*
14. S/A. **Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Acero.** *Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, 2017.*
15. Constantini H., Álvarez L. y Gómez M. **Manual de Prácticas Laboratorio de Resistencia de Materiales I.** *Universidad Nacional Autónoma de México, 2016.*
16. S/A. **Norma ASTM E8 /E8M. American Society for Testing and Materials, 2015.**