



**UNIVERSIDAD CATÓLICA**  
de Colombia

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**

**EVALUACIÓN DE LAS CONEXIONES PARA ESTRUCTURAS EN GUADUA:  
UNA MIRADA DESDE LA BIBLIOGRAFÍA CIENTÍFICA**

---

**MODALIDAD: TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (Monografía)**

**PRESENTADO POR:**

**NOMBRE: JUAN CAMILO GUZMAN YARA CÓDIGO: 502515**

**NOMBRE: YULIAN FELIPE HERNANDEZ CÓDIGO: 506643**

**DIRECTOR**

**JUAN CARLOS RUGE**

**INGENIERO CIVIL, PhD EN GEOTECNIA**

**CODIRECTOR**

**NOMBRE: MSC. CARLOS PASTRÁN BELTRÁN**

**BOGOTÁ, D. C., JUNIO 04 DE 2021**

**PERIODO 2021-1**



## Atribución-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0)

This is a human-readable summary of (and not a substitute for) the [license](#). [Advertencia](#).

### Usted es libre de:

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

**Adaptar** — remezclar, transformar y construir a partir del material

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

---

### Bajo los siguientes términos:



**Atribución** — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.



**NoComercial** — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).

**No hay restricciones adicionales** — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia](#).

## CONTENIDO

TABLAS .....	6
FIGURAS .....	7
GRAFICAS .....	8
GLOSARIO.....	9
RESUMEN .....	10
ABSTRACT.....	10
INTRODUCCIÓN.....	11
1. EVALUACIÓN DE TRABAJOS DE GRADO RELACIONADOS CON CONEXIONES DE GUADUA	12
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	15
3. OBJETIVOS.....	16
3.1 Objetivo General .....	16
3.2 Objetivos Específicos.....	16
4. JUSTIFICACIÓN .....	17
5. MARCO DE REFERENCIA.....	18
5.1 MARCO TEORICO.....	18
5.1.1 Guadua o bambú.....	18
5.1.2 Condiciones de siembra .....	19
5.1.3 Ensayo de compresión paralela a la fibra. ....	20
5.1.4 Módulo de elasticidad o módulo de Young .....	21
5.1.5 Ensayo de compresión perpendicular a la fibra.....	21
5.2 MARCO CONCEPTUAL.....	22
5.2.1 Bambú de chapa laminada (LVB) .....	22
5.2.2 Bambú compuesto .....	23
5.2.3 Malla de bambú .....	23
5.3 MARCO NORMATIVO .....	23
5.4 FUENTES DE INFORMACIÓN .....	25
5.4.1 Fuente de información primaria .....	25
5.4.2 Fuentes de información secundaria.....	26
6. METODOLOGÍA .....	27
7. RESULTADOS DE LA REVISIÓN DE ARTICULOS CIENTÍFICOS .....	29
7.1 Análisis años de publicación .....	29
7.2 publicaciones por países .....	30

7.3	Categorías .....	30
7.4	Tipos de guadua .....	31
8.	SECCIÓN 1 ESTUDIO TEÓRICO.....	33
	Experimental Study of Variation of Models and Layers in Bamboo's Perpendicular Connection to Fiber with Fiber-Reinforced Polymer (FRP).....	33
	Flexural behavior of bamboo–concrete composite beams with perforated steel plate connections.....	34
	Review on Connections for Original Bamboo Structures .....	35
	Analysis of the Bolted Connection of a Bamboo Composite I-Shaped Beam Subjected to Bending .....	36
	Diseño De Conexiones En Elementos Estructurales De Bambú- Guadua Laminada Pegada Prensada, Para Un Proyecto De Vivienda .....	37
	Building With Bamboo: A Review Of Culm Connection Technology. ....	38
	Experimental Study On Mechanical Properties Of Laminated Bamboo Beam-To Column Connections .....	38
	Monotonic Loading Testing And Characterization Of New Multi-Full-Culm Bamboo To Steel Connections .....	40
	Empirically Derived Connection Design Properties For Guadua Bamboo .....	40
	Characterizing The Performance Of Transversely Confined Multi-Culm Bamboo To Steel Connections .....	41
	A New Joint To Assemble Light Structures Of Bamboo Slats.....	42
	Sistema Modular En Bambú Guadua Con Conexiones Metálicas De Fácil Armado Para Vivienda Rural .....	43
	Connections Between A Column And Its Foundation For Guadua Angustifolia Structures Under Lateral Loads .....	44
	Experiments on laminated bamboo lumber nailed connections.....	45
	Cyclic Loading Behavior Of An Innovative Semi-Rigid Connection For Engineered Bamboo-Steel Hybrid Frames.....	45
	A New Method For Joining Bamboo Culms .....	46
	Computational Modeling Of Laminated Veneer Bamboo Dowel Connections.....	47
	Pilot Study on Capacity-Based Design Of Multiculm Bamboo Axial Members With Dowel-Type Connections.....	48
	Experimental Study On Double-Headed Screw Joints And Their Application In Bamboo Shear Walls.....	48
	Experimental Investigation On The Load-Carrying Capacity Of Steel-To-Laminated Bamboo Dowel Connection I: Single Fastener With Slotted-In Steel Plate Under Tension .....	50
9.	SECCIÓN 2 DESCRIPCIÓN DE CONEXIONES .....	51
9.1	Definición de Conexión .....	51

9.2	Tipos y Diseños De Conexiones.....	51
9.2.1	Conexión Perforadas Con Pernos y/o clavos .....	51
	Conexión de culmo completo con arriostramiento .....	66
9.2.2	Conexiones Perforadas Con Metal.....	70
	Conexión FRP .....	71
	conexiones de placas de acero perforadas.....	74
	Conexión atornillada para viga de bambu en forma de I sometida a flexión.....	79
	Conexiones para elementos estructurales de bambú-guadua para un proyecto de vivienda	83
	Conexión para ensamblar estructuras ligeras de lamas de bambú .....	90
	Sistema modular en guadua con conexiones metálicas de fácil armado para vivienda rural	97
	Conexión entre una columna y su fundación para guadua .....	104
	Conexión semirrígida para marcos híbridos de bambú y acero .....	109
	Sujetador simple con placa de acero ranurada .....	114
10.	RESPUESTA A LA PREGUNTA REALIZADA EN PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	118
10.1	Propuesta # 1 (Guadua natural).....	118
10.2	Propuesta # 2 (Guadua laminada LVB) .....	120
11.	SECCION 3: PROPUESTA TEORICA.....	123
12.	CONCLUSIONES .....	125
13.	ANEXOS .....	126
14.	REFERENCIAS.....	127

## TABLAS

Tabla 1. Propiedades mecánicas de materiales .....	20
Tabla 2. Propiedades mecánicas de las laminas.....	58
Tabla 3. Resultados pruebas de conexión.....	59
Tabla 4. Resumen de resultados.....	63
Tabla 5. Tabla rigidez media en la superficie de contacto y debajo de la superficie de contacto .....	65
Tabla 6. Calibración FEM en carga compresiva paralela a la fibra.....	65
Tabla 7. Resultados FEM paralela y perpendicular a la fibra .....	66
Tabla 8. Numero de probetas del experimento.....	69
Tabla 9. Resultados por diseño.....	69
Tabla 10 . Resultados de prueba por especímenes.....	72
Tabla 11. Resistencia lateral de conexión perpendicular a fibra con FRP en forma de análisis .....	73
Tabla 12. Resultados del análisis numérico de las vigas mixtas.....	77
Tabla 13. Propiedades mecánicas de la guadua .....	80
Tabla 14. Resumen de resultados .....	83
Tabla 15. Propiedades de los materiales.....	85
Tabla 16. Especímenes de prueba.....	85
Tabla 17. Resultados de especímenes sujetos a cargas cíclicas inversas .....	88
Tabla 18. Incrementos de carga II prototipo .....	96
Tabla 19. Dimensiones de las probetas .....	99
Tabla 20. Descripción de materiales.....	102
Tabla 21. Aplicación de carga y resultados .....	103
Tabla 22. Combinaciones de componentes en cada configuración.....	106
Tabla 23. Intervalos de comportamiento rígido como porcentaje de la fuerza máxima .....	108
Tabla 24. Densidad de energía elástica.....	108
Tabla 25. Resultados de la rigidez inicial para las siete configuraciones. ....	109
Tabla 26. Dimensiones de las conexiones de prueba.....	111
Tabla 27. Resultados de la prueba de las conexiones en diferentes grupos .....	116
Tabla 28. Resultado experimental .....	120
Tabla 29. Resultados de prueba conexión tipo T .....	122

## FIGURAS

Figura 1. Plantación de guadua.....	19
Figura 2. Ficha técnica condiciones de siembra.....	19
Figura 3. Proceso de bambú crudo a bambú laminado .....	22
Figura 4. Detalle de conexión propuesta.....	52
Figura 5. Pruebas tipo de conexión.....	53
Figura 6. Probeta tipo A .....	54
Figura 7. Probeta tipo B .....	55
Figura 8. Probeta Tipo C.....	56
Figura 9. Resultados conexión tipo B .....	57
Figura 10. Diseño de conexión con lamina mecánica.....	58
Figura 11. Configuración de la conexión .....	60
Figura 12. Diseño de las probetas.....	60
Figura 13. Resultado experimental.....	61
Figura 14. Resultado prueba a compresión.....	62
Figura 15. Resultado pruebas a tensión.....	63
Figura 16. Configuración de la conexión .....	64
Figura 17. Imagen aparato de carga y configuración de la prueba.....	64
Figura 18. Bloque conexión de madera.....	67
Figura 19 .Conexión culmos/bloque.....	67
Figura 20. Diseños de conexión .....	68
Figura 21. Polímero reforzado con fibra (FRP) Tyfo SEH; resina .....	71
Figura 22. Método de capa de FRP perpendicular a la fibra.....	72
Figura 23. Esquema de conexión perpendicular a la prueba de fibra .....	72
Figura 24. Conectores de corte.....	75
Figura 25. Placa de acero perforada.....	76
Figura 26. Placa de acero perforada. ....	76
Figura 27. Diagrama esquemático .....	77
Figura 28. Curvas carga-deslizamiento.....	77
Figura 29. FEM de bambú de guadua encolado laminado.....	80
Figura 30. Deflexión máxima en la viga.....	80
Figura 31. Concentraciones de tensión en la viga.....	81
Figura 32. Fricción ángulo de acero.....	82
Figura 33 .Tipos de conexiones de viga a columna. ....	84
Figura 34. Detalles de la fabricación.....	86
Figura 35. Modos de falla de las conexiones bajo cargas monótonas.....	88
Figura 36. Métodos de falla.....	89
Figura 37. Propuesta de unión de dos lamas orientadas a 90 ° .....	90
Figura 38. Montaje experimental.....	91
Figura 39. Croquis del primer prototipo ensamblado con la junta propuesta. ....	92
Figura 40. Croquis segundo prototipo .....	93
Figura 41. Segundo prototipo sometido a una carga distribuida de 12,017N.....	93
Figura 42. Fallas de corte típicas. ....	94

Figura 43. Modelo teórico vs falla real del prototipo .....	95
Figura 44. Cierre ojo perno .....	98
Figura 45. Amarre propuesto por (Widyowijatnoko, 2012) .....	98
Figura 46. Amarre nudo guadua. ....	99
Figura 47. Probetas ensayo conexión sencilla .....	99
Figura 48. Esquema nudo metálico.....	101
Figura 49. Fotografía nudo metálico .....	101
Figura 50. Detalle de la conexión .....	102
Figura 51. Módulo espacial de dos pisos. ....	103
Figura 52. Guadua a columna con espaciadores .....	105
Figura 53. (a) Zapata de hormigón y pedestal. (b) Zapata de hormigón con vigas de cimentación pedestal.....	105
Figura 54. Esquema de conexión .....	106
Figura 55. Ubicación de los dispositivos LVDT (a) pruebas monótonas y (b) pruebas cíclicas .....	107
Figura 56. Detalles de conexión. (a) Sección transversal al final de la viga; (b) Detalle del muñón de acero. Unidades: mm.....	110
Figura 57. Configuración de prueba; (a) una descripción general; (b) detalles de la conexión.....	111
Figura 58. Modos de falla típicos de las conexiones. (a) Pandeo y falla en medio de EDP; (b) falla de soldadura al final de EDP.....	112
Figura 59. Grafica de bucles de histéresis.....	113
Figura 60. Conexión y método de prueba.....	114
Figura 61. Esquema conexión (Nudo metálico) .....	118
Figura 62. Preparación de los culmos .....	119
Figura 63. Módulo de vivienda.....	119
Figura 64. Tres tipos de conexiones atornilladas de viga a columna .....	121
Figura 65. Configuración de la conexión.....	121

## GRAFICAS

Grafica 1. Investigaciones realizadas sobre conexiones de guadua por año .....	29
Grafica 2. Investigaciones realizadas sobre conexiones de guadua por país. ....	30
Grafica 3. Investigaciones de guadua agrupadas por categorías .....	31
Grafica 4. Tipos de guadua.....	31
Grafica 5. Carga Vs deflexión .....	82
Grafica 6. Curvas de fuerza-deflexión experimentales y teóricas para el primer prototipo .....	95
Grafica 7. Curvas fuerza-deflexión Prototipo II .....	96
Grafica 8. Carga vs Desplazamiento .....	100
Grafica 9. Carga Vs desplazamiento .....	104



## GLOSARIO

**Base de datos:** Conjunto de informaciones agrupados bajo la misma temática que se almacenan de forma sistemática.

**Construcción ecológica:** Concepto de desarrollo sostenible que pretende implementar estructuras innovadoras y eficientes en función del consumo energético.

**Cuartiles de publicación:** El cuartil es un indicador que sirve para evaluar la importancia relativa de una revista dentro del total de revistas de su área. ... Si dividimos en 4 partes iguales un listado de revistas ordenadas de mayor a menor índice de impacto, cada una de estas partes será un cuartil.

**Factor de Impacto SJR:** Este es un peso numérico, que Scopus otorga basado en el área científica y la relevancia de las revistas citantes.

**Gestores bibliográficos:** Los gestores bibliográficos son programas que permiten crear una base de datos de referencias bibliográficas para utilización personal.

**Índice h:** Es un indicador bibliométrico para medir el impacto de las revistas, fue propuesto por Jorge Hirsch en 2005 para medir el rendimiento de un investigador, pero inmediatamente fue aplicado a las revistas (Braun et al., 2006). Una revista tiene un índice igual a h cuando h de sus artículos han recibido al menos h citas cada uno; es decir, una revista con índice h de 22 es aquella que ha conseguido publicar 22 artículos con al menos 22 citas cada uno de ellos. El índice h ha recibido una gran atención, dando lugar a numerosos estudios y propuestas de nuevos indicadores (Alonso et al., 2009; Egghe, 2010).

**(LVB):** Bambú de chapa laminada, es un producto de construcción relativamente nuevo hecho de capas de bambú encolado y utilizado en aplicaciones similares a la madera. El bambú laminado consiste en pegar tiras de bambú en las direcciones longitudinal y transversal para formar secciones rectangulares que son más adecuadas para su uso en aplicaciones estructurales tradicionales.

**Medidas altimétricas:** Son instrumentos utilizados para elegir y evaluar artículos científicos con el fin de determinar cuáles artículos de investigación deben ser elegibles para una revisión sistemática.

**Minería de datos:** La minería de datos es un campo de la estadística que intenta descubrir patrones en grandes volúmenes de conjuntos de datos

**(PBSP):** Paneles de hilos de bambú paralelos son una mezcla de hilos de bambú tratados térmicamente con adhesivos termo endurecibles como el fenol-formaldehído.

**Proceso cuasi estático:** En termodinámica, Es un proceso que tiene bien definidas sus variables macroscópicas y en el que el sistema se encuentra en cada instante de tiempo en un estado infinitesimalmente cercano al estado de equilibrio.

## RESUMEN

La presente monografía pretende presentar y describir las conexiones utilizadas en estructuras de bambú (Guadua), basados en bibliografía reciente publicada en bases de datos científicas. Para la selección de información se utilizaron criterios de búsqueda que permitieron determinar los artículos e investigaciones más acordes y pertinentes con el trabajo de investigación. Se realizó el análisis de 20 tipos de conexiones los cuales se agruparon en dos grandes categorías; conexiones perforadas con metal y conexiones perforadas con pernos. En el primer capítulo se encuentran los objetivos, la metodología y las conclusiones de cada una de las investigaciones y en el segundo capítulo se encuentra la descripción detallada de cada una de las conexiones. Finalmente, en el tercer capítulo se plantea la conexión que se evidencio presenta un buen comportamiento mecánico, resistencia y puede ser implementado en estructuras con facilidad, confiabilidad, durabilidad y que represente una buena alternativa en cuanto a lo económico.

*Palabras claves:* Bambú, guadua, Bambú laminado, Bambú natural, Conexión, Base de datos.

## ABSTRACT

This monograph aims to present and describe the connections used in bamboo (Guadua) structures, based on recent bibliography published in scientific databases. For the selection of information, search criteria were used that made it possible to determine the articles and research that were most consistent and relevant to the research work. The analysis of 20 types of connections was carried out, which are grouped into two large categories; metal drilled connections and bolt drilled connections. In the first chapter are the objectives, methodology and conclusions of each of the investigations and in the second chapter is the detailed description of each of the connections. Finally, in the third chapter, the connection that was evidenced presents good mechanical behavior, resistance and can be implemented in structures with ease, reliability, durability and that represents a good alternative in terms of economics.

*Keywords:* Bambú, guadua, Bambú laminado, Bambú natural, Conexión, Base de datos.

## INTRODUCCIÓN

La guadua es un derivado del bambú que nace principalmente en la región andina y es usada desde tiempos remotos por los indígenas para la construcción. En un mundo donde se debe buscar el uso de materiales renovables y amigables con el medio ambiente, la guadua se ha convertido en una de las opciones fuertes en este campo, en la actualidad es usada ampliamente por campesinos, arquitectos e ingenieros en construcciones como casas, quioscos, puentes, salas múltiples. Etc.

Debido a su alta resistencia se le conoce en el mundo de la construcción como “acero vegetal”, gracias a su rápido crecimiento y a su fácil ubicación en la región es utilizada ampliamente en estructuras livianas; haciéndola un material ideal para trabajar a tensión y compresión. Sin embargo, las fibras longitudinales que la componen dificultan la instalación de conexiones perforadas o hincadas, este tipo de conexiones generan fisuras que a su vez provocan pérdida de las propiedades mecánicas de este material.

Estas razones han llevado a que investigadores e ingenieros realicen diferentes tipos de estudios a este material (guadua) como a diferentes tipos de conexiones que permitan optimizar y aprovechar las propiedades de esta, transfiriendo correctamente las cargas de las estructuras.

En esta monografía de investigación evaluaremos algunos de los diferentes tipos de conexiones que se utilizan en la actualidad y otros que han sido diseñadas e implementados en diferentes proyectos de países como China, Colombia, Perú. los cuales son algunos de los más utilizan este material por la abundancia que representa en sus territorios, además se identificará los tipos de conexiones más eficientes dependiendo el tipo de estructura en la cual se implementará.

## 1. EVALUACIÓN DE TRABAJOS DE GRADO RELACIONADOS CON CONEXIONES DE GUADUA

A continuación, se describen cinco trabajos de grado sobre guadua y conexiones de guadua que son tomados como referencias iniciales en la investigación.

El primer estudio se titula “Resistencia a la compresión paralela a la fibra y determinación del módulo de elasticidad de la guadua angustifolia del municipio de Pitalito-huila”, tuvo como objetivos: 1. Determinar la resistencia a compresión paralela y modulo elástico, 2. Determinar el contenido de humedad y la densidad básica del material y 3. comparar los resultados.

Para tal fin se planteó una investigación experimental en donde se seleccionaron varias muestras de diferentes lotes de guadua, extraída de diferentes lugares, con el fin de crear probetas y realizarles pruebas de compresión, contenido de humedad y modulo elástico.

Al finalizar el estudio se pudo concluir: 1. El diámetro de la sección transversal disminuye, a medida que la altura de la guadua aumenta, 2. El espesor de la pared de la guadua disminuye a medida que la altura aumenta y 3. La resistencia a la compresión paralela de la guadua varia de forma inversa con la humedad.

El segundo estudio se titula “Unión metálica para estructuras en guadua” este tuvo como objetivos 1. Analizar la información de evidencias de cizalladura en guadua producto de las uniones y perforaciones, 2. Indagar sobre las soluciones ya propuestas para esta patología y 3. Evaluar y comparar las uniones ya propuestas para confirmar su eficiencia. Para tal fin se diseña una conexión, enfocada en mejorar la resistencia de las estructuras de guadua, evitando la perforación y la aparición de fisuras utilizando una conexión de tipo abrazadera de metal.

Al concluir la etapa experimental se logró: 1. diseñar una unión que evito que la guadua falle por corte paralelo a la fibra soportando una carga de 2 toneladas, 2. Se superó la resistencia alcanzada por las uniones de Simón Vélez, Sandra Clavijo; sin embargo, no alcanzo la resistencia propuesta por la unión tipo Simón Vélez 3000 kg, 3. El diseño permitió el montaje y desmontaje simple de la guadua, esto con el fin de permitir un fácil reemplazo de elementos estructurales en caso de ser necesario.

El tercer estudio se titula “Análisis de las propiedades mecánicas de la guadua expuesta

y no expuesta a rayos UV mediante técnicas estadísticas” Esta tesis tuvo como objetivos:1. Caracterizar muestras de guadua seleccionadas, con sus respectivas dimensiones, 2. Evaluar la resistencia a la compresión en sentido paralelo y perpendicular a la fibra de la guadua en muestras expuestas a rayos uv y compararla con muestras no expuestas a los mismos y 3. Estudiar el esfuerzo ultimo (compresión y tracción) y módulo de elasticidad a muestras expuesta y no expuesta a rayos UV. Para esto realizan pruebas de compresión, tracción y se determina el módulo de elasticidad a unas muestras de guadua, expuestas y no expuestas a rayos UV, esto con el fin de determinar la influencia

de estos en el comportamiento mecánico de la guadua. Debido a la alta dispersión y variabilidad de los datos de las muestras no se logró identificar patrones de comportamiento causados por la exposición a rayos UV y se determinó que la guadua con altos contenidos de humedad pierde resistencia y rigidez. Por otro lado, se observa una mayor resistencia a la compresión paralela a la fibra y a la compresión perpendicular a la fibra en las muestras de guadua que fueron expuestas a los rayos ultravioleta.

El cuarto estudio se titula “Uniones a tensión en guadua con mortero y varilla. comportamiento de uniones con uso expansivo en el mortero”. Este estudio tiene como objetivos: 1. Observar el comportamiento de una unión con el uso de porcentajes diferentes de aditivo expansor. (Sika andina), 2. Hallar una mezcla optima con aditivo y mortero que cumpla con necesidades de diseño y constructivas y 3. Comparar algunas uniones a tensión previamente diseñadas. Para esto se plantearon 23 mezclas donde se varia la relación agua/cemento, el porcentaje de expansor y, en las últimas se incluye ceniza, variando su porcentaje de reemplazo en peso de cemento.

Al concluir la etapa experimental se llega a las siguientes conclusiones: El uso de aditivo expansor logra un aumento de volumen en hasta un 9% y a su vez aumenta el esfuerzo de resistencia en un 30%, pero para efectos de esta investigación no surtió efecto debido que la adherencia entre el mortero y la guadua no llega a ser suficiente como se esperaba.

- . El costo de la ceniza puede hacer de esta una buena opción sacrificando un poco de la resistencia.
- . Para las uniones a tracción no es necesario dejar fraguar hasta los 28 días, ya que no hay mucha diferencia entre la resistencia obtenida a los 21 días e incluso a los 14 días.
- . El valor de diseño de la unión diseñada con aditivo expansor (3%), teniendo en cuenta un factor de seguridad del 3% es de 590 kg. Por último, se determina que existen uniones mucho más eficientes que la descrita en este estudio.

El último estudio considerado como antecedente se titula “Estudio de uniones en guadua con ángulo de inclinación entre elementos”. Este tuvo como objetivos: 1. Determinar el tipo de unión optima de acuerdo con su comportamiento estructural, 2. Optimizar el proceso constructivo, garantizando la adecuada transmisión de esfuerzos. Se realizan ensayos a 4 tipos de uniones ya definidas (Simón Vélez modificada, Sandra Clavijo, Diego Jaramillo y Gisella Sanclemente) y se obtienen las siguientes conclusiones sobre el comportamiento de cada una de ellas. 1. Debido al comportamiento de las uniones SVM y DG a 45° y 60°, se determinó que su comportamiento se asemeja al de las estructuras metálicas, se pueden diseñar de la misma forma. 2. Un total de 10 probetas por cada modelo no es suficiente para determinar una muestra representativa para establecer parámetros de diseño. 3. Rellenar o no los canutos juega un papel importante en la resistencia del elemento.

Las anteriores tesis fueron tomadas de repositorios de universidades latinoamericanas y evidencian interés en la caracterización de la guadua y sus

conexiones. Para establecer modelos de conexiones, se hace importante caracterizar el tipo de material que se desea unir, cuáles son las propiedades físicas y mecánicas de la guadua, para así, poder determinar cuál es el tipo de conexión más adecuada. El estudio de conexiones ya definidas es importante, en el sentido de evaluarlas y poder proponer mejoras, también identificar cuáles son sus falencias ya que esto puede servir de antecedente para realizar futuras investigaciones y estudios.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La guadua es usada desde tiempos remotos por los indígenas para la construcción en Asia y América del Sur, debido a sus cualidades regenerativas y a su resistencia [1] El bambú se caracteriza por su: 1. naturaleza sostenible, 2. condición renovable, 3. corta maduración y 4. amplia tolerancia a muchas condiciones ambientales, lo que lo hace ideal para utilizar en el campo de la construcción con fines estructurales.

Por lo anterior, es importante mencionar que en el campo de la ingeniería civil se busca implementar el uso de materiales renovables y amigables con el medio ambiente, por lo que la guadua se ha convertido en una de las mejores alternativas debido a su resistencia es utilizada ampliamente en estructuras livianas; haciéndola un material ideal para trabajar eficientemente sometida a esfuerzos de tensión y compresión.

Sin embargo, las fibras longitudinales que componen la guadua dificultan la instalación de conexiones perforadas o hincadas, este tipo de uniones generan fisuras que a su vez provocan pérdida de las propiedades mecánicas de este material y provocan fallas en las estructuras.

La literatura especializada permite determinar que hay varios tipos de conexiones para guadua como: pernos, clavijas de bambú, fibra de palma, fuelle con mortero y masilla para madera. No obstante, esos tipos de conexión tienen debilidades que varían en función de la naturaleza del material.

Por otra parte, los diseños de conexión para guadua son otra variable de análisis considerada en este ámbito de investigación, que ha permitido implementar mejoras en las conexiones diseñadas a partir de estructuras compuestas [2]

Teniendo en cuenta los argumentos expuestos anteriormente esta monografía de investigación propone realizar un estudio teórico sobre los tipos y diseños de conexiones para guadua. Por lo que se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuáles son los tipos y diseños de conexiones para guadua más eficientes reportados en la literatura especializada durante los últimos 5 años?

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo General**

Realizar un estudio teórico, analítico y comparativo respecto a la metodología, resultados y conclusiones de la literatura especializada sobre los tipos y diseños de conexiones para guadua que se han implementado en los últimos cinco años

#### **3.2 Objetivos Específicos**

- Recopilar información a partir de la base de datos Scopus y en los repositorios de las universidades de Colombia y Latinoamérica sobre tipos y diseños de conexiones para guadua.
  - Identificar y describir los tipos y diseños de conexiones para guadua más eficientes descritos en el ámbito de la ingeniería civil.
  - Establecer una propuesta teórica que permita determinar las características que debe tener una conexión dependiendo el tipo de estructura en el que se va a implementar.



## 4. JUSTIFICACIÓN

Es una preocupación a nivel mundial realizar construcciones desde la ingeniería civil con materiales que generen un mínimo de contaminación y que sean suficientemente resistentes a diferentes condiciones ambientales. En este sentido, la guadua es caracterizada en diferentes estudios como uno de los materiales más usados en la construcción debido a su sostenibilidad ambiental y alta resistencia.

De acuerdo con el Ministerio de Agricultura de Colombia (2019) la guadua es uno de los productos que más se mueve en el país y se utiliza principalmente en la artesanías, pulpa, papel, paneles, tableros, chapas, pisos, techos, telas, petróleo, gas y carbón vegetal (como combustible y como un excelente absorbente natural), también es un vegetal saludable (el brote de bambú). Según las cifras del Ministerio cerca del 90% de la producción de guadua en el país se utiliza en la construcción, lo que evidencia el gran impacto de este material en la economía del país.

Partiendo de las características anteriormente mencionadas, sus usos y conociendo que Colombia es productor de guadua en varias zonas del país, principalmente en Antioquia, el Eje Cafetero, Putumayo y Caquetá el sector de la construcción en los últimos años popularizó y desarrolló una técnica constructiva conocida como “Bahareque Encementado” en la cual se combinan columnas y vigas de guadua con conexiones de madera que constituyen un sistema estructural, de rápido montaje, buen comportamiento y costos reducidos (Olarte, 2012, Ministerio de Agricultura, 2019). Razones por las cuales se ha despertado el interés de diferentes organizaciones por implementar estructuras elaboradas en este material.

Con el fin de evaluar las conexiones utilizadas en las construcciones, la literatura especializada ha presentado avances en los estudios realizados a diferentes materiales y diseños que permiten mejorar la resistencia de las estructuras. Por lo anterior y con el objetivo de identificar las conexiones más utilizadas en estructuras de guadua, esta monografía de investigación plantea realizar un estudio teórico sobre los tipos y diseños de conexiones para guadua identificando las que presentan mejor comportamiento y las que se han propuesto en los últimos cinco y se han reportado en las bases de datos científicas.

## 5. MARCO DE REFERENCIA

### 5.1 MARCO TEORICO

El marco teórico presenta dos ejes temáticos, el primero relacionado con el tema de estudio y el segundo explora los elementos relacionados con el estudio bibliométrico.

#### 5.1.1 Guadua o bambú

La guadua se conoce como el oro verde del siglo XXI y se ha convertido en una alternativa para mitigar los efectos causados por el cambio climático y como una solución energética para el gran déficit mundial actual.

La guadua es una planta auto sostenible de rápido crecimiento, que se presenta como una alternativa ambiental en la lucha del cambio climático; es una de las plantas de más rápido crecimiento llegando a crecer de 10 a 30mts en 60 días. [3]

Por otra parte [4] menciona que la guadua posee fibras longitudinales con alta resistencia a la tensión, donde en promedio se obtuvo un valor de 2.561 kg/cm<sup>2</sup>. Que resulta ser bastante alta si se tiene en cuenta que el acero A36 tiene una fluencia de 2.530 kg/cm<sup>2</sup>, siendo esta la razón por la que la guadua se conoce como el acero vegetal.

La guadua es una planta leñosa que pertenece a la familia del bambú familiar de la caña de azúcar, el trigo y el arroz.

Existen más de 1300 especies de bambú en el mundo, pero particularmente en Colombia se encuentran 5 especies gigantes, todas denominadas guadua:

- Guadua Macana
- Guadua Cebolla
- Guadua Castilla
- Guadua Cotuda
- Guadua Amarilla

El nombre científico que reciben todas las especies de guaduas en Colombia es “*guadua angustifolia kunth*” [5].

Figura 1. Plantación de guadua



Fuente. [5].

Particularmente Colombia es uno de los países latinoamericanos donde más se cultiva la Guadua y adicionalmente se usa con fines constructivos como casas en bareque o estructuras simples. La guadua debe tener unas condiciones de siembra ideales para su cultivo y producción.

### 5.1.2 Condiciones de siembra

Figura 2. Ficha técnica condiciones de siembra

CONDICIONES DE SIEMBRA	
Donde Sembrar	
Altitud	400 a 2.000 m.s.n.m
Temperatura	18°C a 22°C
Precipitación	Superior a 1.300 milímetros por año
Humedad Relativa	80%
Suelos	Areno/-limosos, arcillosos, sueltos Profundos, bien drenados y fértiles.
Como sembrar	
Distancia de Siembra	5 x 5 metros
Ploteo	1.5 metros
Hoyo	40 x 40 centímetros

Nota. Tomado de *Corporación autónoma regional*

A continuación, se presentan las propiedades mecánicas de materiales utilizados en ingeniería con el fin mostrar las buenas propiedades de la guadua, comparándolo con valores de referencia en materiales como acero y hormigón.

Tabla 1. Propiedades mecánicas de materiales

Material	Específico Gravedad	Módulo de Elasticidad (GPa)	Tensión (paralela-a grano) (MPa)	Compresión (paralela-a grano) (MPa)	Doblado (MPa)	Cortar (MPa)
Hormigón <sup>1</sup>	2.4	21	0,7	9.3	-	0,7
Viguetas Hem-Fir <sup>1</sup>	0,5	10	5.5	7.2	7,9	0,5
Acero A-36 <sup>1</sup>	7.8	200	151,7	151,7	151,7	100,0
Hebra paralela Tablas de madera <sup>1</sup>	0,7	14	13,8	20,0	20,0	2.0
Bambusa Stenostachya <sup>2</sup>	0,7	12	7,6	4.1	10,3	1.3
Guadua angustifolia <sup>3</sup>	0,6	12	35 *	28 -38	46	2.3

Fuente. [6]

### 5.1.3 Ensayo de compresión paralela a la fibra.

La compresión es el esfuerzo al que está sometido un cuerpo por la aplicación de fuerzas que actúan en el mismo sentido, y tienden a acortarlo. Es lo contrario a la tracción y hace que se aproximen las diferentes partículas de un material, tendiendo a producir acortamiento o aplastamiento. Con esto se puede decir, que la compresión es la resultante de las tensiones o presiones que existe dentro de un sólido deformable o medio continuo, caracterizada porque tiende a una reducción de volumen o un acortamiento en determinada dirección.

El ensayo de compresión paralela a la fibra determina la resistencia a la compresión de las muestras de guadua, asimismo, los resultados se utilizan para hallar su módulo de elasticidad. Este consiste en aplicarle una carga de compresión de forma axial a la muestra de guadua, se realiza a una velocidad recomendada para una obtención más acertada de datos, esto se lleva a cabo hasta que se produzca la falla. Los ensayos de compresión paralela a la fibra se realizaron siguiendo los lineamientos de la NTC5525 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas, 2007).

• **Resistencia a la compresión.** Para determinar la resistencia a la compresión, se divide la carga máxima presentada durante el ensayo por el área de la sección transversal de la muestra de guadua.

$$\sigma_{ult} = F_{ult}/A$$

Donde:

*$\sigma_{ult}$* : Es el esfuerzo de compresión paralela a la fibra.

*$F_{ult}$* : Es la carga de falla.

*A*: Es el área de la sección transversal de la muestra de guadua.

#### **5.1.4 Módulo de elasticidad o módulo de Young.**

El módulo de elasticidad se halla mediante la determinación de la pendiente de la curva esfuerzo – deformación. Adicionalmente, también se halla mediante la aplicación de la ecuación:

$$E = \sigma/\varepsilon$$

Donde:

**E**: Módulo de elasticidad o módulo de Young.

$\sigma$ : Esfuerzo.

$\varepsilon$ : Deformación unitaria.

#### **5.1.5 Ensayo de compresión perpendicular a la fibra.**

El ensayo de compresión perpendicular a la fibra determina la resistencia a la compresión perpendicular de las muestras de guadua, asimismo, los resultados se utilizan para hallar su módulo de elasticidad. Este consiste en aplicarle una carga de compresión de forma perpendicular a la muestra de guadua, se realiza a una velocidad recomendada para una obtención más acertada de datos, esto se lleva a cabo hasta que se produzca la falla.

**5.1.6 Base de datos:** Conjunto de informaciones agrupados bajo la misma temática que se almacenan de forma sistemática.

**Cuartiles de publicación:** El cuartil es un indicador que sirve para evaluar la importancia relativa de una revista dentro del total de revistas de su área. ... Si dividimos en 4 partes iguales un listado de revistas ordenadas de mayor a menor índice de impacto, cada una de estas partes será un cuartil.

**Factor de Impacto SJR:** Este es un peso numérico, que Scopus otorga basado en el área científica y la relevancia de las revistas citantes.

**Gestores bibliográficos:** Los gestores bibliográficos son programas que permiten crear una base de datos de referencias bibliográficas para utilización personal.

**Índice h:** Es un indicador bibliométrico para medir el impacto de las revistas, fue propuesto por Jorge Hirsch en 2005 para medir el rendimiento de un investigador, pero inmediatamente fue aplicado a las revistas (Braun et al., 2006). Una revista tiene un índice igual a h cuando h de sus artículos han recibido al menos h citas cada uno; es decir, una revista con índice h de 22 es aquella que ha conseguido publicar 22 artículos con al menos 22 citas cada uno de ellos. El índice h ha

recibido una gran atención, dando lugar a numerosos estudios y propuestas de nuevos indicadores (Alonso et al., 2009; Egghe, 2010).

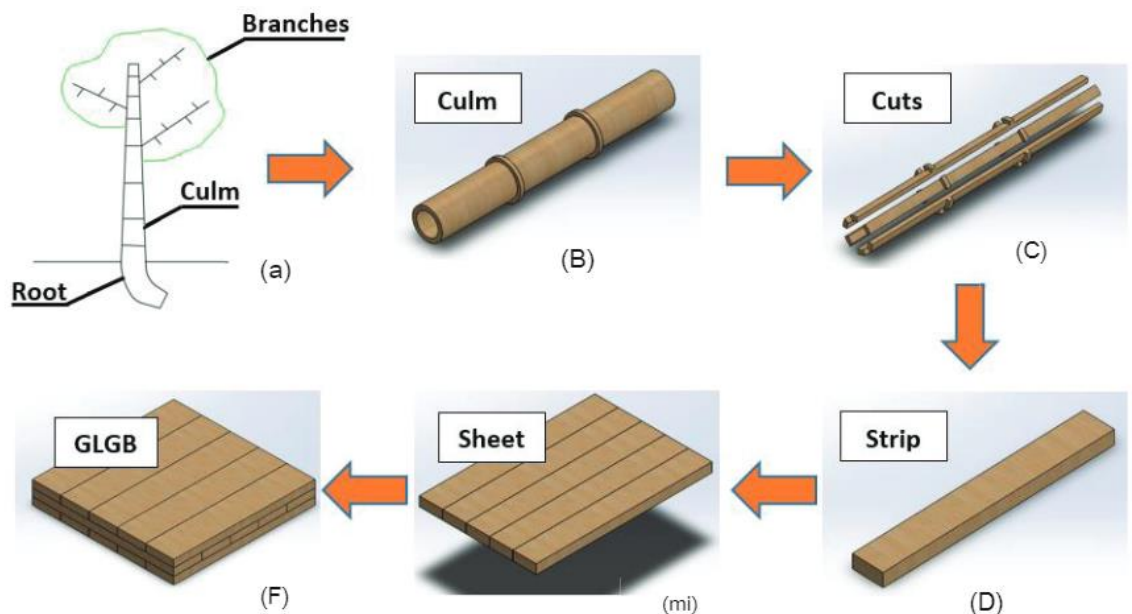
## 5.2 MARCO CONCEPTUAL

La aplicación del bambú crudo en la ingeniería civil incluye torres de bambú, edificios de bambú, hormigón reforzado con bambú, etc. Sin embargo, la forma del bambú es la de un tubo cónico elíptico irregular de paredes delgadas, que tiene una baja capacidad de carga y una gran discreción de propiedades mecánicas, lo que dificulta el cumplimiento de los requisitos estructurales de muchas estructuras de ingeniería (Wang, 2020). Para hacer un uso más eficaz del bambú, se han desarrollado estudios a elementos compuestos de bambú tratados artificialmente, como la malla de bambú, el bambú y la madera laminados de bambú.

### 5.2.1 Bambú de chapa laminada (LVB)

Es un producto de construcción relativamente nuevo hecho de capas de bambú encolado y utilizado en aplicaciones similares a la madera. El bambú laminado consiste en pegar tiras de bambú en las direcciones longitudinal y transversal para formar secciones rectangulares que son más adecuadas para su uso en aplicaciones estructurales tradicionales.

Figura 3. Proceso de bambú crudo a bambú laminado



*Nota. Tomado de Analysis of the Bolted Connection of a Bamboo Composite I-Shaped Beam Subjected to Bending (2016)*

### 5.2.2 Bambú compuesto

El bambú tiene el potencial de ser un material de construcción primario, dada una investigación y validación exhaustivas. El campo de investigación se ha desarrollado en miembros compuestos de bambú y acero. El bambú-acero compuesto es un sistema estructural que combina paredes delgadas de acero con bambú manufacturado a través de conexiones atornilladas, clavos, adhesivos o una combinación de los tres. Para utilizar las propiedades mecánicas del acero y mejorar las propiedades mecánicas del bambú, el acero se aplica dentro del procedimiento de carga; por lo tanto, ambos materiales pueden trabajar juntos. Este nuevo sistema estructural crea diferentes secciones transversales y optimiza la cantidad de material utilizado. Un ejemplo común de bambú compuesto es la viga en forma de I; sin embargo, también se pueden obtener secciones como perfiles huecos y canales utilizando acero de bambú. El acero de bambú compuesto puede formar pisos, paredes, vigas y columnas.

### 5.2.3 Malla de bambú

Es un nuevo material formado al reorganizar y fortalecer el bambú. En detalle, el bambú se procesa en tiras de bambú, es decir, fibra de bambú; impregnado después del secado; secado al contenido de humedad requerido; colocado y prensado en un molde; y finalmente curado por calor a alta temperatura y presión.

## 5.3 MARCO NORMATIVO

Normas técnicas colombianas para la guadua. Con el acompañamiento del ICONTEC, del Comité Colombiano para la Normalización del Bambú-Guadua, de la Sociedad Colombiana del Bambú y de diferentes instituciones del sector gubernamental, del sector privado y del sector académico, se han elaborado y aprobado hasta el momento nueve (9) Normas Técnicas Colombianas:

- **NTC 5300.** Cosecha y postcosecha de los culmos de guadua angustifolia Kunth.
- **NTC 5301.** Secado e inmunizado de los culmos de guadua angustifolia Kunth.
- **NTC 5405.** Propagación vegetativa de guadua angustifolia Kunth.
- **NTC 5407.** Uniones para estructuras construidas en guadua angustifolia Kunth.
- **NTC 5458.** Artesanías y muebles con culmos maduros de guadua angustifolia Kunth.

- **NTC 5525.** Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la guadua angustifolia Kunth.
- **NTC 5726.** Mensura e inventario de rodales de guadua angustifolia Kunth para aprovechamientos con fines comerciales.
- **NTC 5727.** Terminología aplicada a la guadua y sus procesos.
- **NTC 5829.** Obtención de latas y tablillas de guadua angustifolia Kunth. En 1998 el título E de la Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-98 fue revisado y actualizado por la AIS para incorporar los requisitos mínimos para el diseño y construcción de casas de uno y dos pisos de bahareque encementado de madera y guadua. Posteriormente, el 19 de marzo de 2010 se sanciona la norma NSR-10. Esta norma empieza a regir a partir de diciembre de 2010, e impulsa la normatividad en el uso de materiales amigables con el medio ambiente, y amplía el uso de guaduas en construcciones de uno y dos pisos, lo cual se define en título G 'Estructuras de Madera y Estructuras de Guadua, capítulo G12 'Estructuras de guadua.

Para el presente estudio la norma que se ajusta es la NTC-5407 por lo que a continuación se describe dicha norma.

[7]:

Esta norma establece los requisitos mínimos a seguir para la elaboración de uniones en la construcción de sistemas estructurales utilizando Guadua angustifolia Kunth. Los requisitos establecidos en esta norma se aplican específicamente para construcciones cuyo elemento estructural primario es la Guadua angustifolia Kunth.

1. Los elementos de guadua que se van a conectar deben tener un estado de maduración mínimo de cuatro años y no deben presentar defectos tales como rajaduras perforaciones u otros daños.

2. Se debe tener en cuenta que la unión que se va a utilizar debe ser capaz de resistir las cargas externas a la que va a estar sometida.

3. Se debe tener en cuenta al momento de hacer la unión, la dirección de las fibras y evitar su exposición a la humedad, el sol y otros agentes externos.

4. Se debe tener en cuenta el tipo de esfuerzo aplicado: tracción, compresión, cortante o flexión.

5. Se debe comprobar que la falla que se produzca sea dúctil y controlada.

6. Las uniones para cargas de servicio o normales, no deben tener ningún tipo de falla y deben brindar las condiciones de rigidez, estabilidad o resistencia mecánica requeridas.

7. Las uniones en condiciones de carga última deben ceder, pero no deben fallar súbitamente. Se debe utilizar pernos de varilla roscada, varilla lisa roscada en el extremo, tornillo, zuncho o pletina.

8. Para el relleno de los entrenudos se debe usar mortero u otro material alternativo, que cumpla con la resistencia especificada de diseño y que no sea nocivo para la salud humana y el medio ambiente.



9. Las uniones a compresión deben tener como mínimo un elemento conector que garantice la estabilidad del sistema.

10. El valor de resistencia considerado en el diseño debe ser validado por ensayos realizados a una muestra representativa del lote de guadua que se va a utilizar en la estructura. [8]

En Colombia la [9] se han especificado valores máximos para las resistencias de las conexiones.

Específicamente en el título G de la norma [9] encontramos el reglamento que establece los requisitos necesarios para estructuras en madera y guadua.

## 5.4 FUENTES DE INFORMACIÓN

### 5.4.1 Fuente de información primaria

**SCOPUS** fue la fuente de información más importante para la elaboración de este trabajo, El criterio de elección fue la calidad de las publicaciones que allí se encuentran, a continuación, se define y describe esta fuente de información.

Es la mayor base de datos de citas y resúmenes de bibliografía revisada por pares: revistas científicas, libros y actas de conferencias. Ofreciendo un exhaustivo resumen de los resultados de la investigación mundial en los campos de la ciencia, la tecnología, la medicina, las ciencias sociales y las artes y humanidades, Scopus incluye herramientas inteligentes para hacer un seguimiento, analizar y visualizar la investigación.

A medida que la investigación se vuelve cada vez más global, interdisciplinaria y colaborativa, puede asegurarse de que estará al corriente de la investigación crucial de todo el mundo si elige Scopus. Creada por expertos independientes en la materia. Coloca un descubrimiento poderoso, herramientas de análisis en manos de investigadores, bibliotecarios, directores de investigación institucional y financiadores. Scopus genera automáticamente resultados de búsqueda de citas precisos y perfiles de investigadores actualizados, creando conexiones más ricas entre personas, ideas publicadas e instituciones. Además de proteger la integridad del registro académico, Scopus ayuda a reforzar desempeño, rango y reputación de la investigación institucional. Las bases de datos bibliográficas son la principal fuente de información utilizada en los estudios bibliométricos (Granda-Orive et al., 2013).

La validez de un trabajo dependerá de la adecuada selección de la base, pues debe cubrir adecuadamente el área objeto del estudio (Granda-Orive et al.). Durante más de 40 años las bases de datos del Institute for Scientific Information (ISI) fueron las únicas que permitían el trabajo bibliométrico. Hasta no hace mucho, Web of Science [(WoS) ISI, Thomson Reuters] era la única herramienta internacional y multidisciplinaria disponible para el acceso a la literatura de ciencia, tecnología, biomedicina y otras disciplinas. A partir de esta base de datos se confecciona el Journal Citation Report (JCR) que incluye las revistas de WoS como citantes y es donde se publica el famoso “factor de impacto” de las revistas.

La WoS es una herramienta útil para la búsqueda y la alerta bibliográfica con gran número de ventajas, aunque por todos son conocidas las limitaciones que presenta, así como sus inconvenientes (GrandaOrive et al.). Para paliar estas limitaciones, a partir de 2004, Elsevier puso en marcha Scopus, una base de datos que hoy indexa 22,878 revistas peer-reviewed (SC Imago Journal Rank, 2015), frente a las 13,813 de WoS (Thomson Reuters, 2015). Scopus es actualmente, por tanto, la mayor base de datos multidisciplinar existente, y ha terminado con la supremacía de WoS.

Es la mayor base de datos de citas y resúmenes de literatura arbitrada y de fuentes de alta calidad en el Web. Cubre cerca de 18 000 publicaciones seriadas de más de 5 000 casas editoras; 16 500 son revistas arbitradas. Contiene más de 40 millones de registros procedentes de publicaciones seriadas (revistas y series monográficas) y comerciales. Presenta, además, una extensa cobertura de materiales de conferencias (más de 3,6 millones), páginas Web en Internet (unos 318 millones) y patentes (23 millones). A pesar del carácter multidisciplinario de su colección, sus fondos comprenden más de 4 300 en ciencias de la vida.

Scopus trabaja con una figura de open acces, esta brinda acceso a publicaciones científicas de alta calidad.

#### **5.4.2 Fuentes de información secundaria**

Se emplearon manuales, guías trabajos de grado, artículos y páginas web relacionadas con el tema.

## 6. METODOLOGÍA

Esta investigación se desarrolló por medio de un estudio cualitativo que tuvo como objetivo realizar una revisión bibliográfica con alto nivel de profundidad relacionada con la literatura especializada sobre los tipos y diseños de conexiones para guadua que se han implementado en los últimos años. Por lo anterior, se plantearon las siguientes fases en el estudio:

### **Fase 1.** Búsqueda y recopilación de información.

En primer lugar se realizó la búsqueda de artículos relacionados con conexiones para guadua en la base de datos Scopus; la indagación se realizó siguiendo los siguientes criterios: **1.** Búsqueda avanzada con el fin de obtener los estudios relacionados con el tema, **2.** Se digitaron las siguientes palabras para realizar la búsqueda: En el primer campo de búsqueda la palabra “joins” seguido de la expresión booleana “AND” y en el segundo campo, la palabra “bamboo”, es importante mencionar que se descartaron los operadores booleanos “OR” y “NOT” ya que no ofrecían la efectividad esperada en la búsqueda, **3.** Se realizó un filtro de los estudios publicados en los últimos 5 años, **4.** Se descargó un total de 32 artículos que cumplían con los siguientes criterios de búsqueda: año, relación con conexiones para guadua y aplicación de dichas conexiones en el ámbito de la ingeniería civil. Por otro lado, se realizó la búsqueda en repositorios de universidades latinoamericanas y se seleccionaron un total de 5 trabajos de grado las cuales se consideran como referentes en esta investigación.

**Fase 2.** Se realizó un análisis general y matricial de los artículos con el fin de corroborar que cumplieran con el objeto de estudio propuesto y tuvieran información de valor para la investigación. De igual manera, se revisaron los abstract y las palabras claves de cada uno de los artículos, lo cual permitió conocer el contenido de las publicaciones de manera general como un primer filtro de análisis. Posteriormente, se revisó el índice H y el factor de impacto SJR lo que permitió seleccionar los artículos de más valor, otro aspecto que se tuvo en cuenta fue el cuartil de publicación; esto permitió identificar los artículos de las revistas clasificadas en Q1 Q2 y Q3. Después de realizar los análisis mencionados se descartaron documentos que no tenían relación con la aplicación de la guadua en el campo de la ingeniería civil, lo cual redujo el número de artículos de 32 a 20.

**Fase 3.** Se realizó el análisis de información elaborando una matriz en un archivo Excel (\*.XLS) que contiene los siguientes criterios de análisis **1.** País donde se desarrolló el estudio, **2.** Tipo de conexión, **3.** Uso de la conexión, **4.** Tipo de guadua, y **5.** Categoría, **6.** Cuartil de publicación, **7.** ISSN, **8.** SJR y **9.** índice H.

Posteriormente se realizó un resumen, se identificaron los objetivos, la metodología utilizada y por ultimo las conclusiones de cada uno de los 20 artículos seleccionados. Esta fase da cumplimiento a lo planteado en el objetivo número 1.

**Fase 4.** Esta fase corresponde al desarrollo del objetivo número 2 y se enfoca en la descripción detallada de las conexiones. Al realizar el análisis matricial se determinó que existen dos grandes categorías que se nombraron como “conexiones perforadas con metal” y “conexiones perforadas con pernos”. En esta fase se describen las propiedades físicas y mecánicas de la conexión, los materiales utilizados para su elaboración, el tipo de guadua, los ensayos a los cuales fue sometida, el tipo de estructura en el cual se emplea y por último algunas observaciones, recomendaciones y aportes de los autores de este trabajo de grado.

**Fase 5.** En esta fase se desarrolla el objetivo número 3 donde se realiza una propuesta teórica que determina las características que debe tener una conexión dependiendo el tipo de estructura en el que se va a implementar, recopilando los conceptos técnicos obtenidos en esta revisión bibliográfica describiéndola en 4 fases (arquitectura, criterios técnicos, evaluación técnica y de cargas, propiedades de los materiales).

## 7. RESULTADOS DE LA REVISIÓN DE ARTICULOS CIENTÍFICOS

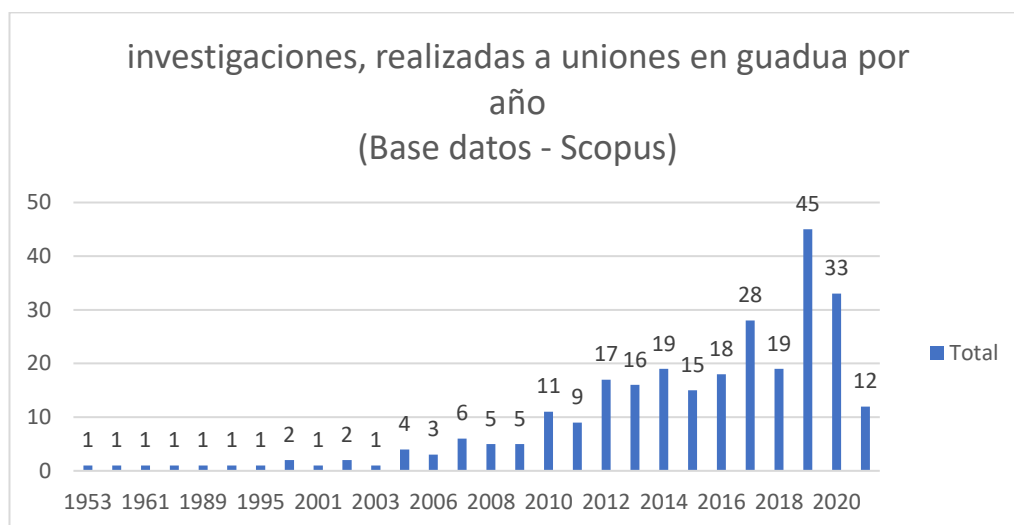
A continuación, los resultados se presentarán en tres secciones. La primera sección contiene un análisis general y particular de los artículos considerados objeto de estudio. Se identificaron objetivos, metodología y conclusiones. La segunda sección hace una descripción de cada una de las conexiones encontradas en la revisión teórica, esta agrupa las conexiones en dos categorías identificadas en el análisis de información. En la tercera sección se realiza una propuesta teórica de una conexión para estructuras de guadua, esta integra algunos de los elementos encontrados en la revisión de la literatura y los aportes de los autores de este trabajo de grado. Por último; después de hacer un análisis de cada una de las conexiones propuestas por los autores de los artículos se establecen dos de ellas, las cuales posiblemente sean las mejores.

Inicialmente se hace un análisis de algunas generalidades tales como años en los que se han realizado el mayor volumen de publicaciones con el fin de determinar si fue apropiado establecer el criterio de búsqueda como artículos publicados en los últimos 5 años. Se realiza un análisis de publicaciones por país con el fin de determinar cuáles son los países que realizan investigación de conexiones para guadua. Para concluir estas generalidades se describen dos variables que se identificaron en el proceso de revisión bibliográfica; categoría de conexión y tipo de guadua.

Al aplicar los criterios de búsqueda y las palabras clave se obtuvieron un total de 278 resultados, en la siguiente grafica se realiza un bosquejo de número y año de publicación con el fin de determinar los años en que hubo más volumen de publicaciones.

### 7.1 Análisis años de publicación

Grafica 1. Investigaciones realizadas sobre conexiones de guadua por año



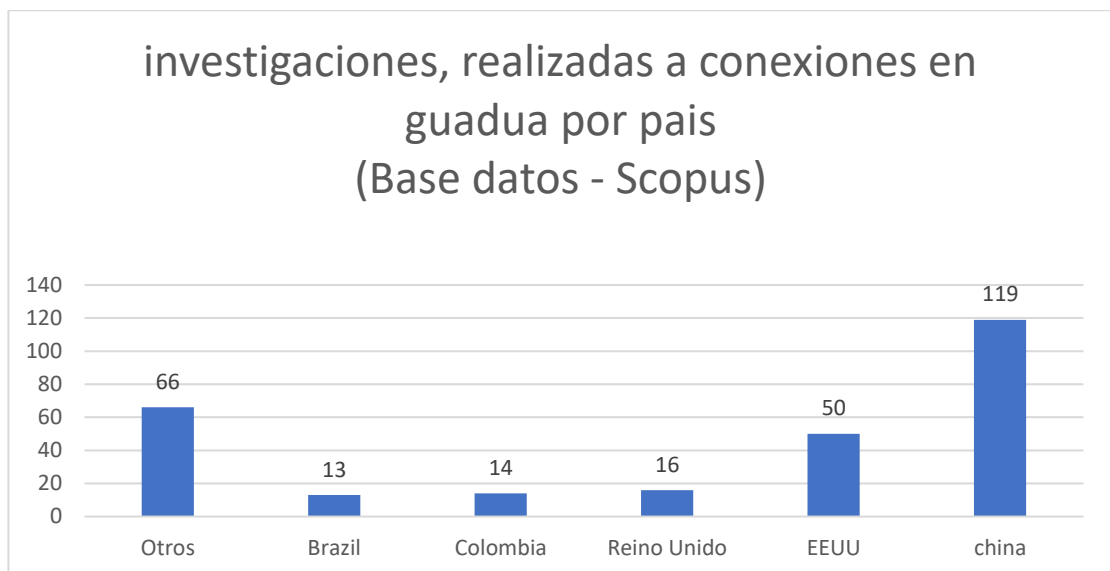
Fuente. Propia a partir de Base de datos Scopus

Como se puede observar en la gráfica, en los últimos 10 años se han realizado el 80% de las investigaciones en esta materia, teniendo un pico máximo en el año 2019, donde se realizaron el 16% (45) de las investigaciones. Este análisis nos permite concluir que fue pertinente el criterio de búsqueda “artículos publicados en los últimos 5 años” ya que como se puede apreciar en la gráfica 1 el mayor volumen de publicaciones está en este rango de tiempo.

## 7.2 publicaciones por países

Al realizar la clasificación por países que generan este tipo de investigaciones, se encontró lo siguiente:

Grafica 2. Investigaciones realizadas sobre conexiones de guadua por país.



Fuente. Propia basa a partir de Base de datos- Scopus

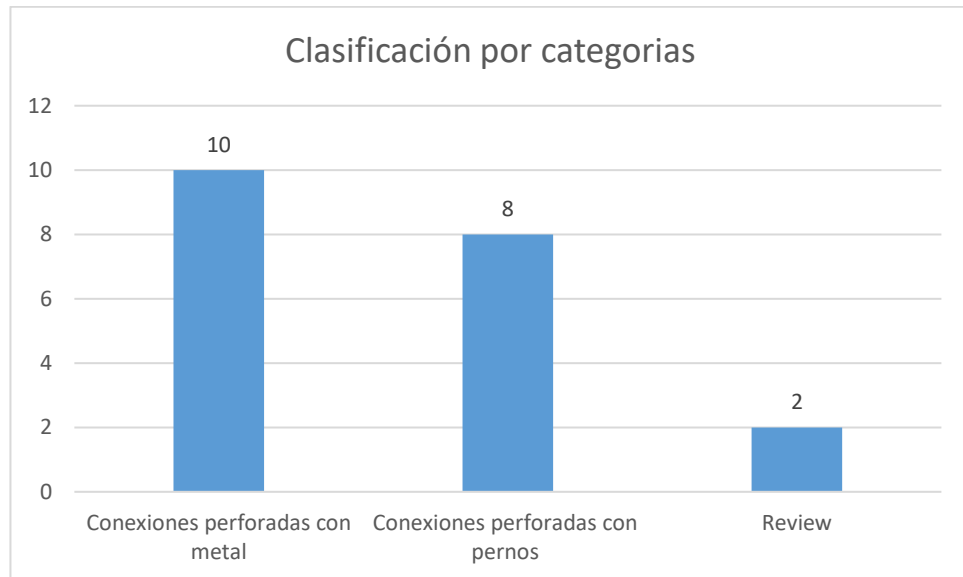
El grafico es concluyente al evidenciar la fuerte influencia de china en esta materia, se encontró que este país ha generado el 43% (119) del total de las investigaciones, en segundo lugar, a EE. UU. con un 18% (50), en un tercer lugar el Reino Unido con 6% (16), en el cuarto lugar se encuentra Colombia y Brasil con el 1% (14,13) respectivamente. El restante 24% de las investigaciones se puede encontrar en países diversos de todo el mundo.

## 7.3 Categorías

Una vez recopilada la información se procedió a escoger los artículos que serán objeto de este estudio teniendo en cuenta factores como el aporte a la

investigación, pertinencia, índice H, impacto SJR, el cuartil de la revista y principalmente los más recientes. Luego de esto los artículos fueron agrupados en categorías de acuerdo con el tipo de conexión y de investigación obteniendo los siguientes resultados.

Grafica 3. Investigaciones de guadua agrupadas por categorías



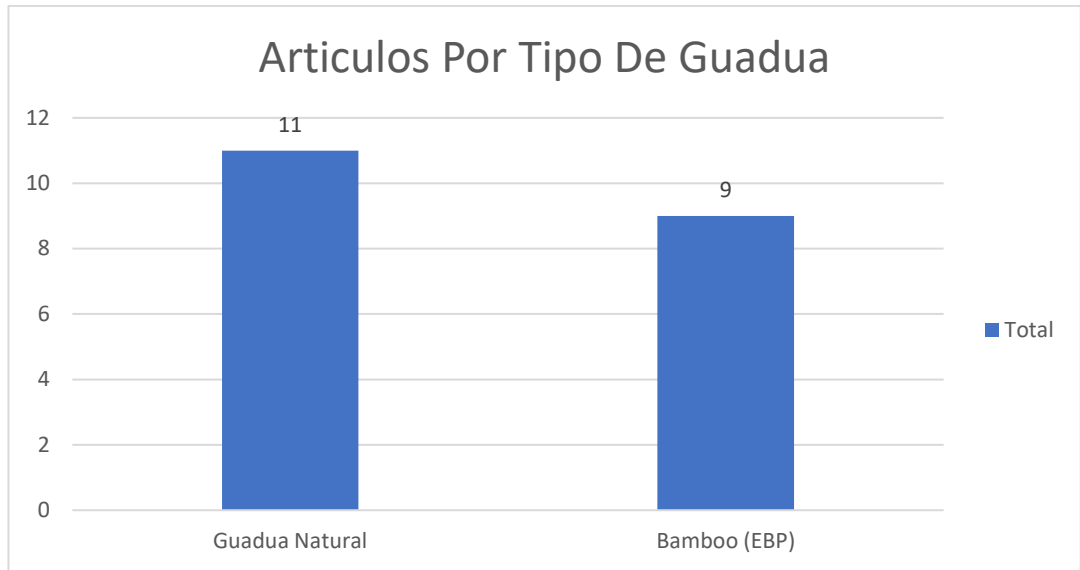
Fuente. Propia basada en análisis matricial

#### 7.4 Tipos de guadua

Realizando un análisis de los artículos se logró establecer que en la actualidad se trabaja con guadua natural o cruda y con guadua artificial, este consiste en pegar tiras de bambú en las direcciones longitudinal y transversal para formar secciones rectangulares que son más adecuadas para su uso en aplicaciones estructurales tradicionales. Las conexiones para guadua natural deben tener en cuenta el diámetro del culmo debido a que su sección es circular, por otro lado, se determina el espesor de sus paredes ya que esta variable influye en la resistencia y en el modo de falla que presenta la guadua y su conexión.

Se realizó el análisis de 20 artículos de los cuales 11 proponen conexiones para guadua natural y 9 para guadua artificial como se puede observar en la siguiente gráfica.

Grafica 4. Tipos de guadua



Fuente. Propia



## 8. SECCIÓN 1 ESTUDIO TEÓRICO

A continuación, se presenta el análisis de 20 investigaciones objeto de estudio; estos estudios dejan ver un panorama general sobre los tipos y diseños de conexiones para guadua utilizados en el campo de la ingeniería. El trabajo de grado pretende realizar una evaluación a nivel de “revisión bibliográfica” de la literatura científica disponible. iniciando con el título original del artículo, seguido de una tabla resumen en la cual se depositan los siguientes datos: Nombre, país de publicación, tipo de publicación, Autores, cuartil de publicación en el cual se encuentra la revista en la cual se publicó el artículo, código ISSN, índice H y por último el tipo de conexión (Esta tabla se puede observar con más claridad y detalle en el anexo “matriz de documentos xlsx”). Posteriormente se describen los objetivos, metodología y conclusiones de cada uno de los estudios.

### Experimental Study of Variation of Models and Layers in Bamboo's Perpendicular Connection to Fiber with Fiber-Reinforced Polymer (FRP)

Nombre	País	Tipo	Autor	Año	Q	ISSN	SJR	H index	tipo de conexión
Experimental study of variation of models and layers in bamboo's perpendicular connection to fiber with fiber-reinforced polymer (FRP)	Indonesia	Artículo	Kuncoro, H.B.B.aEmail Author, Awaludin, A.b, Triwiyono, A.b, Darwis, Z.a	2019	No Q	17578981	0,2	31	FRP (Polimero reforzado con fibra )

Estudio experimental de variación de modelos y capas en la conexión perpendicular del bambú a fibra con polímero reforzado con fibra (FRP)

**Objetivo:** Determinar la resistencia de un dispositivo de conexión para bambú elaborado en polímero reforzado con fibra (FRP) [10] .

**Metodología:** Esta investigación utiliza dos tipos de conexión perpendicular a fibra (TLS) con dos métodos de capas, diferente número de capas y dos tornillos que funcionan como conexión lateral. El método de prueba de conexión utilizado es la carga monótona cuasi estática. El trabajo experimental se desarrolló atendiendo los siguientes pasos:

1. El bambú se corta con un tamaño de 70 cm
2. Recubrir la superficie del bambú con FRP
3. Realizar las conexiones en paralelo a la fibra y perpendicular a la conexión. (En total se analizaron 24 muestras de conexión).
4. La configuración de la prueba se prepara y completa con las herramientas necesarias. Después, se realiza la prueba de corte hasta que la muestra falla.
5. El resultado de la prueba se procesa para obtener valor de carga máxima, ductilidad y resistencia de la conexión. Al observar el método de falla, FRP La fuerza de unión en bambú se calcula en función al área del campo de contacto y la carga que puede soportar por conexión. Después de obtener el valor de la fuerza de unión, la resistencia lateral de la conexión puede ser calculada.

**Conclusiones:** Se determinaron propiedades como ductilidad y rigidez para 4 muestras TLS01-1L, TLS01-2L, TLS02-1L y TLS02-2L. Con base en los resultados y cálculos de la investigación, las conclusiones obtenidas son TLS01.2L ha incrementado la carga máxima en un 80,05% en comparación con TLS01.1L, mientras que en TLS02.2L hay una disminución de 20,65 % en comparación con TLS02.1L.

El valor de ductilidad de la conexión de bambú con FRP es menos de cuatro en varios métodos. Por tanto, se puede decir que la conexión no es dúctil y analizada perpendicularmente a la fibra la conexión no es rígida.

La conexión perpendicular a la fibra TLS02 tiene un valor más alto que TLS01

### Flexural behavior of bamboo–concrete composite beams with perforated steel plate connections

Nombre	País	Tipo	Autor	Año	Q	ISSN	SJR	H index	tipo de conexión
Flexural behavior of bamboo–concrete composite beams with perforated steel plate connections	China	Artículo	Wang, Z.a,b, Wei, YaEmail Author, Li, N.a, Zhao, K.a, Ding, M.a	2020	Q3	14350211	0,49	55	placa de acero perforada

Comportamiento a la flexión de vigas mixtas de bambú y hormigón con conexiones de placas de acero perforadas

**Objetivo:** Estudiar las propiedades de un nuevo tipo de estructura compuesta por bambú y hormigón que utiliza placas de acero perforadas como conectores. Se busca determinar el comportamiento de deslizamiento y cizallamiento entre el bambú y el hormigón. Se estudiarán los conectores mediante pruebas de expulsión y flexión. [11]

**Metodología:** Los conectores de cortante y las vigas compuestas se realizaron con malla de bambú, Creta y placas de acero perforadas. Se determinaron los módulos de elasticidad de los materiales, después de realizar el proceso de secado para llegar al contenido de humedad requerido, se realizaron cubos y cilindros de hormigón para determinar la resistencia a la compresión y se determinó el límite elástico y el módulo elástico de las placas de acero .Se designaron 3 especímenes P1, P2 y P3 los cuales constan de un bloque de bambú (140 x 350 x 70 mm) y dos de hormigón(140 x 350 x 70 mm), las losas de bambú se ubicaron en el medio , las losas de hormigón estaban dispuestas simétricamente a ambos lados de la losa y las dos partes diferentes estaban conectados con la placa de acero perforada.

**Conclusiones:** Este estudio presenta un nuevo tipo de bambú-hormigón viga mixta con conexiones de chapa de acero perforada. Se llevó a cabo un programa experimental para investigar el comportamiento mecánico de las estructuras compuestas.

los modos de falla, la relación carga-desplazamiento, la capacidad de carga, la rigidez de deslizamiento y la tensión.

Se pueden sacar las siguientes conclusiones: Para conectores de corte de

bambú-hormigón con una placa de acero perforada, se produce una falla entre las perforaciones

placa de acero clasificada y hormigón, y no hay obvio daño entre la placa de acero perforada y el bambú. Las muestras pueden soportar una carga elevada y sufre una gran deformación plástica, por lo que el modo de falla es un fallo moderado.

## Review on Connections for Original Bamboo Structures

Nombre	País	Tipo	Autor	Año	Q	ISSN	SJR	H index	tipo de conexión
Review of Connections for Ingenieered Bamboo Structures	CHINA	Artículo	Chaokun Hong <sup>1,2</sup> , Haitao Li <sup>1,2*</sup> , Rodolfo Lorenzo <sup>3</sup> , Gang Wu <sup>1b</sup> , Heana Corbi <sup>4</sup> , Ottavia Corbi <sup>4</sup> , Zhenhua Xiong <sup>5</sup> , Dong Yang <sup>1a,2</sup> and Huizhong Zhang <sup>1a,2</sup>	2020	Q3	21646325	0,3	15	. Madera de guadua laminada. . Junta atornillada. . Juntas de carpintería

Este artículo es de revisión y analiza el progreso en las conexiones empleadas en estructuras de bambú. Realiza un estudio sobre la resistencia y el rendimiento de las uniones atornilladas. También se analizan investigaciones sobre juntas de carpintería, uniones de mortaja de espiga, uniones de clavos y uniones de placa de armadura. Finalmente se habla acerca de dos ejemplos de estructuras realizadas con bambú en dos ciudades de China. Se llega a la conclusión de que se deben formular políticas para estandarizar el uso de productos de bambú estructural.

**Objetivo:** Este artículo se centra en una revisión del progreso en la investigación de conexiones en estructuras de bambú [6].

**Metodología:** En primer lugar, se realiza un estudio sobre la resistencia y el rendimiento de las uniones atornilladas también se analizan y describen las características de los materiales de bambú diseñados.

En segundo lugar, se describen investigaciones sobre juntas de carpintería, uniones de mortaja de espiga, uniones de clavos y uniones de placa de armadura.

Finalmente, algunos ejemplos de aplicaciones en ingeniería son brevemente introducidos.

Este trabajo puede proporcionar una referencia para futuras investigaciones sobre conexiones en bambú diseñado.

**Conclusiones:** Desde principios del siglo XXI, el mundo ha pagado importante atención al desarrollo sostenible de la construcción en industria.

El bambú, como material de construcción ecológico y renovable, proporciona los edificios con las características de ahorro energético y medioambientalmente amigable; Además, la excelencia en el desempeño sísmico.

Con el surgimiento de la estructura de bambú moderna, los estudiosos han llevado a cabo investigación significativa sobre la tecnología de fabricación, propiedades físicas y mecánicas del bambú diseñado, sin embargo, se concluye que los formuladores de políticas deben mejorar su colaboración y comunicación para hacer la estandarización de productos de bambú estructural.

## Analysis of the Bolted Connection of a Bamboo Composite I-Shaped Beam Subjected to Bending

Nombre	País	Tipo	Autor	Año	Q	ISSN	SJR	H index	tipo de conexión
Analysis of the Bolted Connection of a Bamboo Composite I-Shaped Beam Subjected to Bending	EEUU	Artículo	Hernan Castaneda*, Sigridur Bjarnadottir	2016	No Q	18766102	0,55	73	. Conexiones atornilladas

**Objetivos:** Esta investigación tiene como objetivo poner a prueba diferentes configuraciones para el diseño de conexiones atornilladas, esto con el fin de crear una viga compuesta de bambú en forma de I. Se realizará una simulación por computadora cuyo objetivo principal será encontrar la configuración de perno más eficaz para un bambú en forma de I [12].

**Metodología:** Se examinaron tres vigas con configuraciones de pernos diferentes. Se probaron las vigas compuestas en forma de I como vigas simplemente apoyadas. Las vigas tenían 2,44 m de largo, 0,2 m de ancho y 0,3 m de profundidad. Los componentes de la viga en forma de I estaban conectados con ángulos de acero y pernos metálicos; la ubicación de los tornillos varió de la siguiente manera:

1. Viga: Viga atornillada en cada soporte. Ángulo de acero solo en los tornillos.
2. Viga: Viga atornillada en cada soporte y en cuartos a lo largo de todo el tramo de la viga. Ángulo de acero sólo en los tornillos.
3. Viga: Viga atornillada en cada soporte y cada 30,5 cm en todo el tramo de la viga.

Ángulo de acero a lo largo de todo el tramo de la viga. Se utilizó un método de carga concentrada de cuatro puntos para cada haz de prueba. La carga concentrada fue de 30 kN, Se evaluaron las tres configuraciones de pernos, áreas de alta concentración de esfuerzos y se identificaron y compararon las deformaciones totales de la viga.

### Conclusiones:

- Una viga de bambú compuesta en forma de I tiene el potencial de ser un elemento estructural en puentes o edificios.
- La implementación de elementos de bambú optimiza la cantidad de recursos consumidos durante la construcción y proporciona un gran avance en sostenibilidad.
- La conexión de la red (que consta de pernos y ángulos de acero) de la viga de bambú en forma de I juega un papel importante en la carga.

Los modelos computacionales desarrollados aquí mostraron que cambiar la configuración de la conexión atornillada condujo a una viga con mayor rigidez y capacidad.

## Diseño De Conexiones En Elementos Estructurales De Bambú- Guadua Laminada Pegada Prensada, Para Un Proyecto De Vivienda

Nombre	Pais	Tipo	Autor	Año	Q	ISSN	SJR	H index	tipo de conexión
DISEÑO DE CONEXIONES EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE BAMBÚ- GUADUA LAMINADA PEGADA PRENSADA, PARA UN PROYECTO DE VIVIENDA	Colombia	Artículo	Patricia Luna a , Ana Milena Olarte c & Caori Takeuchi d	2013	Q3	0012-7353	0,15	16	angulos y laminas de platinas metalicas perforadas con pernos.

**Objetivos:** Este trabajo de grado tiene como objetivo diseñar diferentes tipos de conexiones, estructuralmente funcionales, para unir elementos de guadua laminada. Se pretende desarrollar y analizar conexiones aptas para unir los elementos estructurales en bambú que componen una vivienda desarrollada en un proyecto del Ministerio de Agricultura. [13]

**Metodología:** El diseño de estas conexiones partió de encontrar las solicitaciones a las que estaría sometida cada unión y determinar así el número, diámetro y localización de los pernos que sujetarían la unión y luego se diseñaron las platinas metálicas que soportarían los pernos usando el método de esfuerzos de trabajo según la NSR-98 (AIS, 1998). Con base en su funcionamiento las conexiones se dividieron en tres grupos; conexiones resistentes a momento (conexión P2-T2)<sup>3</sup>, conexiones no resistentes a momento (C1-T6)<sup>4</sup> y conexiones de empates entre elementos (D1-T1)<sup>5</sup>. Una vez diseñadas las conexiones, se construyó un prototipo de la estructura de la casa, se aplicó una carga equivalente a la carga viva de diseño (180 Kg/m<sup>2</sup>) y se instrumentó el comportamiento de algunas de las conexiones de la estructura ante la aplicación de la carga mediante la medición de desplazamientos.

**Conclusiones:** Se realizó el diseño de todas las conexiones de la vivienda encontrando que estas son funcionales estructuralmente para el Bambú-Guadua laminada pegada y prensada, tal como lo demostró la prueba de carga y las modelaciones numéricas que lo respaldaron.

A primera vista podría decirse que las conexiones instrumentadas y modeladas presentan un comportamiento demasiado eficiente, debido a los resultados obtenidos mediante el análisis de elementos finitos, sin embargo, cabe resaltar que estas no se sometieron a cargas dinámicas como las producidas por un sismo, pero si fueron una consideración del diseño de las conexiones.

Al ejecutar el diseño de las conexiones fue claro que la cantidad de pernos requerida por cada una de ellas era determinado por la guadua laminada, mas no por la resistencia de pernos o de la platina metálica, sin embargo al realizar la modelación en ANSYS® fue claro que en los tres casos la carga de falla fue dada por el límite de fluencia de la platina metálica, esto puede deberse a que la sección de la misma es muy pequeña en comparación con las secciones de bambú guadua laminada que unía, por tanto, se generaron concentraciones de esfuerzos en el ángulo de la platina.

## Building With Bamboo: A Review Of Culm Connection Technology.

Nombre	País	Tipo	Autor	Año	Q	ISSN	SJR	H index	tipo de conexión
BUILDING WITH BAMBOO: A REVIEW OF CULM CONNECTION TECHNOLOGY	EEUU	Artículo	Kira Disén1 and Poggi L. Clouston2 ABSTRACT	2013	Q1	1552 6100	0,27	19	. Amarre a prueba de fricción. . Conexiones perforadas y con muescas. . Conexiones Perforadas con metal. . Conexiones rellenas de hormigón. . Conexiones tapadas.

**Objetivo:** Este artículo presenta una revisión de tecnologías pasadas, actuales y emergentes para unir tallos de guadua huecos en estructuras. La intención del documento es ofrecer una descripción general del estado actual del bambú, tecnologías de conexión y promover el desarrollo en conexiones para guadua. [1]

**Metodología:** El artículo describe las conexiones de bambú tradicionales como lo son las de amarre a prueba de fricción, perforadas y con muescas. Conexiones modernas como lo son las perforadas con metal, las rellenas de hormigón y las conexiones tapadas. Por último, menciona algunas tecnologías emergentes en esa época que se han venido implementando.

### Conclusiones:

- Para seguir formulando conexiones efectivas y eficientes utilizando bambú, se pueden aprender lecciones de construcción tanto de técnicas nuevas como antiguas.
- La estabilidad de la base es requerida y debe estar diseñada para cualquier estructura hecha exclusivamente de cañas de bambú. Los miembros de la base también deben aislarse del suelo húmedo, lo que se puede hacer en una variedad de formas innovadoras y sostenibles. Este documento contiene la descripción de cada una de las conexiones para estructuras en guadua.
- Durante la última década, se han desarrollado diferentes diseños y tipos de conexiones

## Experimental Study On Mechanical Properties Of Laminated Bamboo Beam-To Column Connections

Nombre	País	Tipo	Autor	Año	Q	ISSN	SJR	H index	tipo de conexión
Experimental study on mechanical properties of laminated bamboo beam-to-column connections	CHINA	Artículo	Yubing Leng, Qingfeng Yu., Kent A. Harries, Lingzhu Chen, Kewei Liu, Ji Chen	2020	Q1	0141-0296	1,6	128	. conexiones atornilladas convencionales con placas de acero ranuradas. . Conexiones de placa en forma de T con placas laterales. . conexiones de acero tipo L.

**Objetivo:** Realizar un estudio experimental sobre las propiedades mecánicas de vigas de bambú laminadas conectadas a columnas. Determinar el comportamiento del momento de rotación de tres tipos de conexiones de viga a columna.

**Metodología:** Se diseñaron tres tipos de conexiones de viga a columna.  
(a) Conexiones con placas de acero ranuradas  
(b) Conexiones revestidas con placas laterales de acero en forma de T que confinan la viga solamente  
(c) Conexiones revestidas con acero en forma de L con placas laterales que confinan la viga y la columna.

En las conexiones en T y doble L, la cantidad de acero aumenta, pero la rigidez y la resistencia iniciales pueden ser mejoradas, y el ranurado es innecesario. Se realizaron trece muestras, seis conexiones en I, seis conexiones en T y una en doble L. Las muestras etiquetadas con 'M' fueron sometidas a cargas monótonas, y las muestras etiquetadas con 'C' se sometieron a cargas cíclicas inversas.

### Conclusiones:

(1) Basado en los resultados de la prueba monótona, tener láminas contra laminadas en su región de conexión genera una falla la cual se evidencio por la división paralela al grano que se inició en la línea de pernos; este es un modo de falla frágil.

(2) En muestras monotónicas IL4V-M y TL4V-M, que tienen láminas cruzadas no incluidas en la región de conexión, la división se logró mitigar eficazmente y la falla se produjo debido a la delaminación entre las láminas contra laminadas.

(3) En cualquier caso, las conexiones en I mostraron una deformación de deslizamiento inicial.

## Monotonic Loading Testing And Characterization Of New Multi-Full-Culm Bamboo To Steel Connections

Nombre	País	Tipo	Autor	Año	Q	ISSN	SJR	H index	tipo de conexión
Monotonic loading testing and characterization of new multi-full-culm bamboo to steel connections	CHINA	Artículo	Themelina Paraskeva a, Nischal P.N. Pradhan b, Charikleia D. Stoura b, Elias G. Dimitrakopoulos	2019	Q1	0950-0618	1,49	147	Nueva conexión atornillada

**Objetivo:** El objetivo del presente estudio es caracterizar experimentalmente el rendimiento de tres tipos de conexión, sometidas a cargas axiales de tracción y de compresión. El estudio pretende examinar específicamente el efecto de la distancia entre el borde del culmo de bambú y el orificio exterior de la conexión del perno. se analizan y comparan tres tipos de conexiones.

**Metodología:** Se analizan 3 tipos de conexiones. Los especímenes de tipo A constan de dos tallos de bambú sujetos a través de pernos a cada lado y de una placa de acero que genera una doble conexión de corte. Las conexiones de tipo B difieren del tipo A en que se instalan tres abrazaderas de acero inoxidable a ambos lados de los tornillos en cada culmo, las cuales proporcionan confinamiento a las secciones transversales de bambú y reducen la pérdida de capacidad cuando el bambú se divide, evitando o restringiendo la división. Los diafragmas de los nodos permanecen intactos, tanto para los especímenes de tipo A como para los de tipo B. Las conexiones tipo C son similares a las Tipo B, pero se mejoran con relleno de mortero en el bambú, este se agrega alrededor del área de conexión para mejorar su performance y resistencia al aplastamiento transversal.

### Conclusiones:

- Los hallazgos revelan que las abrazaderas de manguera resisten activamente el comportamiento de división quebradiza que se observa en las conexiones atornilladas de bambú a acero.
- Combinadas con longitudes de extremo adecuadas, las conexiones logran ganancias notables en resistencia y ductilidad.
- Los resultados también muestran que el relleno de mortero genera conexiones con mayor resistencia, pero a menudo a costa de reducir la ductilidad, en comparación con las conexiones de sección hueca con abrazaderas.

### Empirically Derived Connection Design Properties For Guadua Bamboo



Nombre	País	Tipo	Autor	Año	Q	ISSN	SJR	H index	tipo de conexión
Empirically derived connection design properties for Guadua bamboo	REINO UNIDO	Artículo	David J.A. Trujillo 1f, Dominika Malkowska	2018	Q1	0950-0618	1,49	147	Clavija

**Objetivos:** Describir y cuantificar la mecánica de las juntas de bambú de una manera estadística. Establecer similitudes con la conexión de madera. Este documento busca abordar la deficiencia al intentar edificar un bambú específico enfocado para el diseño de conexiones utilizando sujetadores metálicos, específicamente, tornillos autorroscantes, tacos y pernos lisos. Los sujetadores de metal han sido seleccionados debido a su ductilidad y potencia.

**Metodología:** Se determinaron tres propiedades de diseño de conexiones (resistencia al empotramiento de la clavija, módulo de deslizamiento y capacidad de retirada del tornillo), para una especie de bambú (*Guadua angustifolia* Kunth) utilizando métodos adoptados de la ingeniería de madera. Se realizaron 151 pruebas de resistencia de empotramiento y módulo de deslizamiento.

Las pruebas se realizaron utilizando culmos lisos con diámetros que van de 3 a 16 mm, también se hicieron 240 pruebas de extracción de tornillos, se llevaron a cabo con tornillos autorroscantes de 3,5 a 5 mm de diámetro. Mediante análisis de regresión, predictivo Se derivaron ecuaciones para las tres propiedades de diseño de conexión, basadas en el diámetro del sujetador, densidad y espesor de la pared de bambú.

**Conclusiones:** Los métodos experimentales desarrollados para la madera fueron adaptados para este fin, con cierto éxito. Sin embargo, los hallazgos aún no se han validado con pruebas de conexión a gran escala, como dos bambúes, juntas de miembros y juntas de acero-bambú. Las ecuaciones de valor característico obtenidas difieren significativamente de los contenidos en el Euro código 5 por el tiempo, lo que sugiere que se requiere más trabajo para derivar ecuaciones de diseño de conexión específicas de bambú.

### Characterizing The Performance Of Transversely Confined Multi-Culm Bamboo To Steel Connections

Nombre	País	Tipo	Autor	Año	Q	ISSN	SJR	H index	tipo de conexión
CHARACTERIZING THE PERFORMANCE OF TRANSVERSELY CONFINED MULTI-CULM BAMBOO TO STEEL CONNECTIONS	AUSTRALIA	Artículo	Nischal P. N. Pradhan <sup>1</sup> , Elias G. Dimitrakopoulos <sup>1</sup> , Themelina S. Paraskeva <sup>2</sup>	2018	No Q		0	6	Conexiones con sujetadores metálicos

**Objetivos:** Examinar experimentalmente el comportamiento axial del

bambú multiculmos confinado con conexiones de acero.

**Metodología:** La metodología consistió en realizar pruebas experimentales al bambú involucrando conexiones de acero, para determinar un desplazamiento después de aplicar cargas axiales monótonas. Las pruebas se realizaron teniendo en cuenta tres variables en el bambú. Los culmos tienen un diámetro externo promedio de 48,01 mm, un grosor de pared medio de 6,67 mm y contenido medio de humedad del 10,05%.

**Conclusiones:** De acuerdo con los resultados experimentales se pudo determinar que la forma de la conexión de acero y su incrustación en el bambú deforman, comprimen y ovalizan transversalmente los extremos del culmo. Las paredes de culmo adyacentes a las placas de acero sufren un mayor daño de empotramiento en comparación con el exterior culmo-paredes y forma cavidades más grandes. También se pudo concluir que la fractura reduce la ductilidad y limita el rendimiento cíclico. Finalmente, el estudio concluye que sería importante innovar en el diseño para mejorar la eficiencia de las conexiones de acero para el bambú.

### A New Joint To Assemble Light Structures Of Bamboo Slats

Nombre	País	Tipo	Autor	Año	Q	ISSN	SJR	H index	tipo de conexión
A new joint to assemble light structures of bamboo slats	COLOMBIA	Artículo	Laura Villegas, Richard Morán, José Jaime García	2015	Q1	0950-0618	1,49	147	placa de acero perforada(nueva)

**Objetivos:** Desarrollar y determinar la resistencia de una conexión elaborada experimentalmente para conectar listones de guadua GA.

**Metodología:**

1. Se dividen los culmos a lo largo de los planos longitudinales para producir listones con anchos estándar.
2. Se determinó el comportamiento mecánico de la junta, probando inicialmente dos conjuntos de cinco muestras cada uno, uno con compresión radial (espesor medio  $t = 11,5$  mm, SD 2,8) y el otro sin compresión radial ( $t = 10,3$  mm, utilizando una máquina de prueba universal ZD).
3. Se ensamblaron los prototipos manualmente. El primer prototipo de 0,93 m de longitud estaba formado por dos cerchas planas paralelas, cada una compuesta por seis listones: dos que forman los cordones superior e inferior, dos diagonales y dos verticales. El segundo prototipo estaba destinado a reproducir configuraciones similares a los necesarios en aplicaciones del mundo real, por ejemplo, para proporcionar soporte para pisos o techos de casas. También estaba compuesto por dos cerchas planas que estaban conectadas transversalmente por elementos de una sola lama y ángulos de acero. La longitud del prototipo era de unos 3 m y el grosor medio de las lamas era de 8,6 mm (SD

1,3 mm). Para evitar fallas de pandeo, se utilizaron tres lamas para el cordón superior y dos lamas para las diagonales a compresión. También se utilizaron elementos de dos lamas para el cordón inferior.

**Conclusiones:** Se desarrolló una junta nueva y sencilla para conectar las lamas GA aplicando una alta tensión de compresión a lo largo del grosor de las lamas o en la dirección radial utilizando un perno, una tuerca y dos pequeñas placas de acero curvadas. Los ensayos mecánicos de la junta propuesta mostraron fallas por cortante en los planos paralelos a las fibras. La fuerza máxima transmitida por la articulación con compresión radial fue aproximadamente dos veces significativamente mayor que la transmitida por la articulación sin compresión radial. Se observó aproximadamente el mismo incremento en la resistencia media al cortante para la junta propuesta con respecto a otra sin compresión radial.

### Sistema Modular En Bambú Guadua Con Conexiones Metálicas De Fácil Armado Para Vivienda Rural

Nombre	Pais	Tipo	Autor	Año	Q	ISSN	SJR	H index	tipo de conexión
Sistema modular en bambú guadua con conexiones metálicas de fácil armado para vivienda rural	Colombia	Artículo	Kevin Andrés Casallas Benitez (1) Juan Camilo Sánchez Gutiérrez (1) Caori Patricia Takeuchi	2020	No Q				Cubo de acero perforado

**Objetivos:** Desarrollar un tipo de conexión fácil de armar y reconfigurable para los módulos de vivienda.

**Metodología:** Se realizan ensayos a una conexión planteada en una tesis doctoral (Widyowijatnoko 2012). con el fin de determinar las mejores formas para realizar amarres y diferentes conexiones.

Tomaron el concepto de juegos armables para niños, donde se conectan elementos (viga, columnas) usando tornillos para los elementos y tuerca para el nudo, también se usan tensores para lograr rigidez en la estructura. Se realiza la construcción del material y se realizan pruebas y análisis de resultados.

**Conclusiones:**

Se logró crear un sistema de construcción rápido y limpio. De acuerdo con la modelación y los cálculos se identifica que los elementos que soportan la carga horizontal son los cables diagonales. Se puede aumentar la capacidad de la estructura si se elimina el gancho del tensor y se reemplaza con un ojo cerrado.

Es necesario eliminar inicialmente los desplazamientos pequeños aplicando carga en los extremos de las columnas se deben utilizar elementos estructurales no muy ligeros.

## Connections Between A Column And Its Foundation For Guadua Angustifolia Structures Under Lateral Loads

Nombre	País	Tipo	Autor	Año	Q	ISSN	SJR	H index	tipo de conexión
Connections between a Column and its Foundation for Guadua angustifolia Structures Under Lateral Loads		Artículo	Sofía Andrade Pardo <sup>1, a *</sup> , Fabián Lamus Báez <sup>2, b</sup> and Nancy Torres Castellanos <sup>3, c</sup>	2016	Q3	1013-9826	0,18	50	.Conexion columna cimentación con Pernos longitudinales, bandas metálicas y hormigon.

**Objetivos:** Evaluar el comportamiento de una conexión entre una columna de Guadua y su cimentación, con el fin de evaluar si se puede utilizar para un sistema estructural basado en pórticos resistentes a momentos, que contribuyan a la rigidez y resistencia frente a fuerzas horizontales. Por otro lado, proporcionar una base para el diseño adecuado de este tipo de conexiones.

**Metodología:** Para definir la configuración de las conexiones probadas, se realizó una revisión de varios tipos de conexiones utilizadas en la práctica, y se encontraron algunos intentos prácticos para realizar una conexión rígida entre la estructura y la cimentación y por lo tanto restringir la rotación. Las columnas están compuestas por cuatro culmos y unidas mediante espaciadores contruidos en Guadua que se conectan mediante pernos transversales de 1/2 pulgada en dos direcciones perpendiculares. Las columnas están compuestas por cuatro culmos y unidas mediante espaciadores contruidos en Guadua que se conectan mediante pernos transversales de 1/2 pulgada en dos direcciones perpendiculares. La unión se realizó mediante cuatro componentes: pernos transversales (T), pernos longitudinales (L), bandas metálicas (Z) y lechada de mortero (M). Se probaron un total de siete configuraciones diferentes variando solo la combinación de los componentes.

### Conclusiones:

Todas las configuraciones para la conexión evaluadas en este estudio pudieron restringir, al menos parcialmente, la rotación en la parte inferior de una columna de Guadua, Porque en el peor de los casos se encontró que la rigidez se degradaba solo después del 80% de la resistencia máxima de la conexión. Sin embargo, el rango de momentos en el que la conexión puede comportarse como rígida, depende de los componentes que la conforman. El uso de bandas metálicas alrededor de cada uno de los culmos en la conexión, brindan un comportamiento dúctil en caso de falla, además de mejorar levemente su resistencia.

- El uso de pernos longitudinales no proporciona resistencia adicional a la conexión con pernos transversales; en cambio, lo disminuye y provoca un comportamiento menos dúctil durante la falla. Esto se debe principalmente a la contracción del mortero que crea una acción de acuñamiento, relacionada con la forma interna del canuto, que provoca una tracción circunferencial que conduce a fallas por cizallamiento en

el elemento.

- El uso de lechada de mortero solo como relleno, sin utilizar tornillos, mejora ligeramente la rigidez inicial de la conexión y su resistencia cuando se utilizan las bandas metálicas. Sin embargo, cuando no hay bandas metálicas presentes para confinar el canuto, la resistencia de la conexión disminuye.
- La configuración TMZ fue la que presentó mayor resistencia, sin embargo, el comportamiento más dúctil se obtuvo para las conexiones TZ ya que el uso de mortero reduce la ductilidad de la conexión.

### Experiments on laminated bamboo lumber nailed connections

Nombre	País	Tipo	Autor	Año	Q	ISSN	SJR	H index	tipo de conexión
Experiments on laminated bamboo lumber nailed connections	CHINA	Artículo	Guo Chena, ff, Wenqi Yang, Tong Zhou, Yunfei Yua, Jing Wua, Hao Jianga, Xiang Lia, Yongxing Zhanga,b	2021	Q1	0018-3768	0,62	54	Conexion de Clavos multiples

**Objetivos:** Investigar la ductilidad decreciente a medida que se aumenta el diámetro y el número de clavos.

Comparar la capacidad del número de clavos efectivos seguidos y las fórmulas analíticas existentes.

**Metodología:** Elección de materiales: se eligen bambú moso de 4 años, recolectados de yiyang, provincia de Hunan China, utilizados para fabricar los especímenes LBL.

Preparación de las muestras: los miembros LBL se acondicionaron en una cámara ambiental a 20 C y 65% de humedad relativa durante 2 semanas.

Prueba a compresión: todas las muestras fueron sometidas a pruebas de compresión, con una máquina de prueba universal, controlada por microcomputadora de 50kn. todas las muestras se llevaron a cabo bajo control de desplazamiento a una tasa constante de 1.5 mm/mln las lecturas se recopilaron mediante el sistema de adquisición de datos DH8320.

**Conclusiones:** La capacidad de carga de las conexiones con clavos de carga lateral se puede aplicar para estimar con precisión, utilizando modelos de rendimientos europeos.

El modelo de desarrollo por Foiz es capaz de predecir la relación carga-deslizamiento.

### Cyclic Loading Behavior Of An Innovative Semi-Rigid Connection For Engineered Bamboo-Steel Hybrid Frames

Nombre	Pais	Tipo	Autor	Año	Q	ISSN	SJR	H index	tipo de conexión
Cyclic loading behavior of an innovative semi-rigid connection forengineered bamboo-steel hybrid frames	CHINA	Articulo	Zirui Huang,a,d, Zhongfan Chena,b, Dongsheng Huang,c,*, Ying-Hei Chuid	2019	Q1	23527102	0,9	26	.conexion bisagra en lamina de acero perforada.

**Objetivos:** investigar una conexión semi rígida innovadora para marcos de acero EBP que conecta una viga mixta de bambú a una columna de acero.

**Metodología:** Se llevaron a cabo pruebas de carga cíclica en 9 conexiones con varias relaciones EDP (Panel de disipación de energía) de longitud y espesor para investigar su modo de falla y comportamiento de histéresis. La columna se encuentra anclada al suelo del laboratorio la muestra de prueba se instaló horizontalmente, es decir, se giró 90 ° en comparación con su posición normal de servicio. El miembro de la viga estaba hecho de dos paneles PSB con una sección transversal de 400 mm x 95 mm, un trozo de acero de 12 mm de espesor se interpuso entre los dos paneles de PSB y se conectaron entre sí mediante doce pernos de 20 mm de diámetro las longitudes de la viga y la columna fueron de 2 m y 1.2m respectivamente.

**Conclusiones:** La conexión semirrígida propuesta en este estudio utiliza una bisagra y un par de soportes para soportar la fuerza de corte y el momento, respectivamente. La estructura de la conexión proporciona una forma posible de controlar el mecanismo de daño y el modo de falla de las conexiones, es decir, restringir el daño a los dos EDP controlando su relación longitud-espesor para forzar un modo específico de falla. Con base en los resultados de los experimentos y el análisis numérico, se puede concluir que la relación longitud-espesor adecuada está en el rango de 8 - 16. Esto se debe a que, dentro de este rango, el modo de falla del EDP es dúctil, lo que proporciona no solo una capacidad de carga adecuada, sino también una capacidad de disipación de energía para resistir cargas sísmicas.

## A New Method For Joining Bamboo Culms

Nombre	Pais	Tipo	Autor	Año	Q	ISSN	SJR	H index	tipo de conexión
A new method for joining bamboo culms	EEUU	Articulo	Benoit Lefevrea, Roger Westb, Peter O'Reillya, David Taylora,	2019	Q1	18737323	1,6	128	. Bloque de madera mecanizado a medida (tipo clavija) y abrazadera.

**Objetivos:**

Lograr una conexión económica y ligera, de simple construcción a partir de materiales de fácil acceso.

Construir la conexión con una resistencia a la flexión igual o superior a otras existentes hasta la fecha de la investigación.

Realizar diferentes pruebas a la estructura para determinar las resistencias de la unión.

**Metodología:**

Crear bloques de madera con clavijas cilíndricas que sobresalen, creándolas completamente por separado con el objetivo de que coincidan exactamente con el diámetro interno de las guaduas que se van a unir.

En la parte exterior una vez se insertada la clavija colocar abrazaderas apretadas con tornillos.

Realizar pruebas con cargas controladas con el fin de definir la clavija con el mejor comportamiento estructural.

**Conclusiones:** El objetivo principal se logró, ya que fue posible crear una conexión económica ligera y simple de construir.

La conexión se logró crear con una resistencia superior en varias ocasiones a las encontradas en los artículos de referencia.

La desventaja del diseño creado por los autores es que es necesario crear una por una las clavijas con el fin de crearlas lo más ajustadas posibles a los diámetros de las guaduas donde serían insertadas.

**Computational Modeling Of Laminated Veneer Bamboo Dowel Connections**

Nombre	Pais	Tipo	Autor	Año	Q	ISSN	SJR	H index	tipo de conexión
Computational Modeling of Laminated Veneer Bamboo Dowel Connections		Artículo	Niloufar Khoshbakht1; Peggi L. Clouston, M.ASCE2; Sanjay R. Arwade3; and Alexander C. Schreyer4	2018	Q1	0950-0618	1,49	147	Conexión pernada, reforzada con taco y caja (clavija), para bamboo laminado

**Objetivos:** El propósito de este estudio fue investigar la respuesta de empotramiento de LVB cuando se carga con una clavija de acero en compresión paralela a la fibra.

**Metodología:** Se determinaron experimentalmente Las propiedades del material (LVB): resistencias a cortante, tracción y compresión paralelas y perpendiculares a la fibra, se realizaron pruebas de cizallamiento. Se fabricó un aparato de carga para asegurar que la aplicación de la carga sobre la superficie de contacto con la madera se impartiera directamente a través de la superficie lisa del perno de acero. Se desarrolla un modelo de elemento finito de deformación plana elástica 2D para un perno de 15.9 mm (5/8 pulg.) De diámetro con un tamaño de orificio de perno de 17.5 mm (11/16 pulg.) Siguiendo la norma ASTM asociada para protocolo de muestras de orificios. Se utilizan pruebas experimentales para validar y calibrar el modelo.

**Conclusiones:** Los resultados muestran que la falla predominante ocurre

fuera del centro de la región de contacto del perno donde gobierna la relación esfuerzo cortante-fuerza. La tensión de tracción perpendicular a la fibra, a menudo la causa principal de la falla de la madera es una causa secundaria influyente de la falla. Además, un análisis de contacto por fricción conduce al hallazgo de que el coeficiente de fricción es un factor clave para predecir el esfuerzo cortante

### **Pilot Study on Capacity-Based Design Of Multiculm Bamboo Axial Members With Dowel-Type Connections**

Nombre	Pais	Tipo	Autor	Año	Q	ISSN	SJR	H index	tipo de conexión
Pilot Study on Capacity-Based Design of Multiculm Bamboo Axial Members with Dowel-Type Connections	China	Artículo	Nischal P. N. Pradhan <sup>1</sup> and Elias G. Dimitrakopoulos <sup>2</sup>	2021	Q1	0733-9445	1,64	138	. Multicolumnas con conexión tipo clavija.

#### **Objetivos:**

Diseñar elementos axiales multiculmos de guadua con conexiones tipo clavija. Calibrar los factores de sobre resistencia para lograr un diseño basado en la capacidad. Predecir el rendimiento experimental del percentil 5 de las conexiones de clavija con precisión.

**Metodología:** Seleccionar los tallos de guadua de acuerdo con los criterios de selección de la ISO-19624 para hacer un uso eficiente del material, considerar la variabilidad geométrica podría del material. Mejorar la redundancia y la varianza de las estructuras, probando las resistencias con múltiples tallos de guadua. Diseño propuesto basado en la capacidad, desarrollándolo para estructuras en hormigón.

**Conclusiones:** Se presenta un método para diseñar miembros axiales multiculmos de guadua con conectores finales de acero. Se comprueba el uso de múltiples tallos de guadua para hacer frente a la variabilidad de los tallos.

El estudio realiza 2 pruebas para evaluar la bondad del ajuste para los cuatro tipos de distribuciones paramétricas. (normal, logarítmica normal, logarítmica normal de 3 parámetros y normal truncado).

f

### **Experimental Study On Double-Headed Screw Joints And Their Application In Bamboo Shear Walls**



Nombre	País	Tipo	Autor	Año	Q	ISSN	SJR	H index	tipo de conexión
Experimental study on double-headed screw joints and their application in bamboo shear walls	CHINA	Artículo	Qingfang Lv1, Yi Ding and Ye Liu2	2020	Q1	1369-4332	0,69	37	Conexiones roscadas doble cabeza.

**Resumen:** Se investiga por primera vez el uso de uniones roscadas de doble cabeza como conexiones fiables en estructuras de bambú. En este documento se presenta un programa de prueba de dos pasos. En el primer paso, se lleva a cabo una prueba de doble cizallamiento para investigar las influencias de la distancia final y la dirección de la veta del bambú en el rendimiento de las uniones roscadas de doble cabeza. En el segundo paso de la prueba, las uniones roscadas de doble cabeza propuestas se aplican a tres muros de corte de bambú de un solo tramo de una sola capa, y las pruebas de carga inversa de ciclo bajo se aplican a las paredes con espaciamientos de tornillos de doble cabeza de 50 mm, 100 mm y 150 mm.

**Objetivos:**

investigar la influencia de la dirección de la veta del bambú y la distancia del extremo del tornillo en el rendimiento de las uniones roscadas de dos cabezas

Realizar una prueba de carga inversa de ciclo bajo de las paredes de corte de bambú conectadas por tornillos de doble cabeza y determinar la influencia del espaciado de los tornillos.

**Metodología:**

Las uniones roscadas de doble cabeza se cargaron con una máquina de prueba de fatiga LFV-1000 que tiene un rango de carga de 1000 kN. Las partes superior e inferior de las uniones roscadas se sujetaron con los accesorios de la máquina de prueba de fatiga, y la distancia de sujeción fue de 100 mm. Cuando se cargó, la parte superior se fijó y la parte inferior se movió hacia arriba y hacia abajo. En esta prueba se adoptó el método de carga monótona de control de desplazamiento, la velocidad de carga fue de 3 mm / min. Los valores de carga y desplazamiento fueron recopilados automáticamente por la máquina de prueba de fatiga.

La carga inversa de ciclo bajo se aplicó en tres muros de corte de bambú de un solo tramo de un solo piso utilizando tornillos de doble cabeza. La pared de corte de bambú fue cargada por el servoactuador hidráulico pseudoestático de 100 toneladas a lo largo de la línea central de la viga de distribución de acero en la parte superior de la pared. Un extremo del actuador se conectó a la viga de distribución de acero mediante un dispositivo de transición, mientras que el otro extremo se fijó a la pared de reacción. La viga de acero de la base se aseguró directamente al suelo mediante pernos de anclaje al suelo.

**Conclusiones:** Los modos de falla de las uniones roscadas de doble cabeza son falla por corte del tornillo de doble cabeza, falla del cojinete de la pared del agujero, falla por tensión del panel de cubierta de bambú y falla por corte del panel de cubierta. Los modos de falla de las uniones roscadas están relacionados con la distancia del extremo del tornillo y la dirección de la fibra del panel de cubierta de bambú, pero no con la dirección de la fibra de la quilla de bambú.

Las capacidades de carga y los coeficientes de ductilidad de los grupos con la dirección de la fibra del panel de cubierta de bambú paralelo a la dirección de carga son mayores que los de los grupos con la dirección de la fibra del panel de cubierta de bambú perpendicular a la dirección de carga. Los coeficientes de ductilidad de las uniones roscadas con una distancia final de 20 mm son mayores que los de las uniones roscadas con una distancia final de 50 mm.

Los modos de falla de la pared de corte de bambú son la falla por tracción de la pared y la falla por corte de los tornillos de doble cabeza. La rigidez de B50 es la más grande y la ductilidad y la capacidad de disipación de energía de B100 son las más grandes. La capacidad de carga y la ductilidad del B150 son las peores.

### **Experimental Investigation On The Load-Carrying Capacity Of Steel-To-Laminated Bamboo Dowel Connection I: Single Fastener With Slotted-In Steel Plate Under Tension**

Nombre	País	Tipo	Autor	Año	Q	ISSN	SJR	H index	tipo de conexión
Experimental Investigation on the Load-Carrying Capacity of Steel-to-Laminated Bamboo Dowel Connection I: Single Fastener with Slotted-In Steel Plate under Tension	China	Artículo	Zhaoyan Cui,1Lihui Tu,2Ming Xu,2Zhongfan Chen,2and Qingfeng Xu3	2021	Q3	1687-8086	0,29	21	conexión de acero tipo clavija con una placa de acero ranurada

**Objetivos:** Investigar el rendimiento mecánico bajo tensión, realizando pruebas de conexiones pasador de guadua de acero a laminado con placa de acero ranurada.

Estudiar el efecto del espeso en el diámetro de la clavija y la distancia final sobre la carga de fluencia, de rotura y la ductilidad de las conexiones.

Proponer una ecuación teórica para las conexiones.

**Metodología:** Se realiza el proceso de la fabricación del material de la guadua laminada. Con base en las normas chinas ASTM D143-14 [18] y ASTM D5764-97.

Se selecciona la muestra de ensayo, teniendo en cuenta el diámetro de la clavija, el grosor y la distancia final. (la longitud de la muestra de guadua es de 90cm y el ancho es de 12cm).

Se realizó 3 veces la prueba basada en ASTM-D5652-15 y se ajustó apropiadamente en combinación. Se eligió el valor promedio, de acuerdo a los datos arrojados por los medidores y desplazamiento relativo entre la clavija y la guadua laminada. estos datos de carga se combinan para generar la curva carga-desplazamiento.

**Conclusiones:** Los modos de falla de los largueros son principalmente falla por corte y por división, acompañado a su vez por falla de empotramiento. En cuanto a las clavijas, el modo de rendimiento de una bisagra ha sido el que más se ha visto. El diámetro de las clavijas influye notablemente.

## **9. SECCIÓN 2 DESCRIPCIÓN DE CONEXIONES**

Con el fin de cumplir el segundo objetivo, en esta sección se procede a describir cada una de las conexiones propuestas en las investigaciones científicas seleccionadas.

Para esto, la sección esta dividida en 2 categorías (agrupadas por el tipo de conexión propuesta) que se describen a continuación y se detallan una por una.

### **9.1 Definición de Conexión**

Estas son un componente estructural, cuyo objetivo es proporcionar continuidad entre 2 o varios elementos estructurales de una construcción, permitiendo transferir esfuerzos de un material a otro de forma segura y eficiente con la mínima deformación y deslizamiento posible.

En las regiones donde se trabaja tradicionalmente la guadua actualmente se cuenta con habilidades para el desarrollo de uniones, pero existe poco material para elaborarlas de forma técnica y profesional.:

### **9.2 Tipos y Diseños De Conexiones**

Al realizar el análisis matricial se logró determinar que las conexiones tenían características similares, por lo que se agruparon en dos categorías; conexiones perforadas con pernos y conexiones perforadas con metal. A continuación, se realiza la descripción de cada una de las categorías y de las conexiones que se encuentran en cada una de ellas.

#### **9.2.1 Conexión Perforadas Con Pernos y/o clavos**

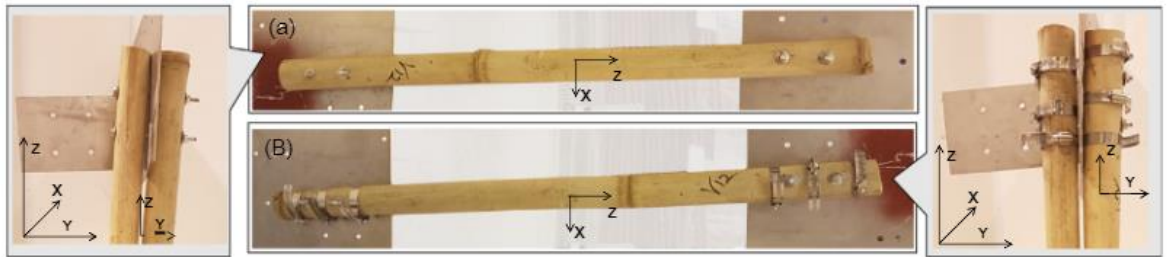
Este tipo de conexiones se caracterizan por perforaciones que se realizan directamente al culmo de la guadua y que buscan mediante pernos o clavos generar una conexión con alta resistencia la flexión y al corte, dentro de esta categoría encontramos en los artículos elegidos 7 de ellos que utilizan diferentes tipos de conexiones y serán descritos a continuación:

El autor [14] en su artículo “Monotonic loading testing and characterization of new multi-full-culm” propone un método de conexión que compuesta por pernos a presión, tuercas y arandelas soportadas a su vez en una placa de refuerzo en acero.

Esta conexión está pensada con el fin de usar material estandarizado (metal de sus componentes) y fácil de configurar a las irregularidades de la guadua.

En la siguiente imagen podremos detallar la conexión propuesta por [14].

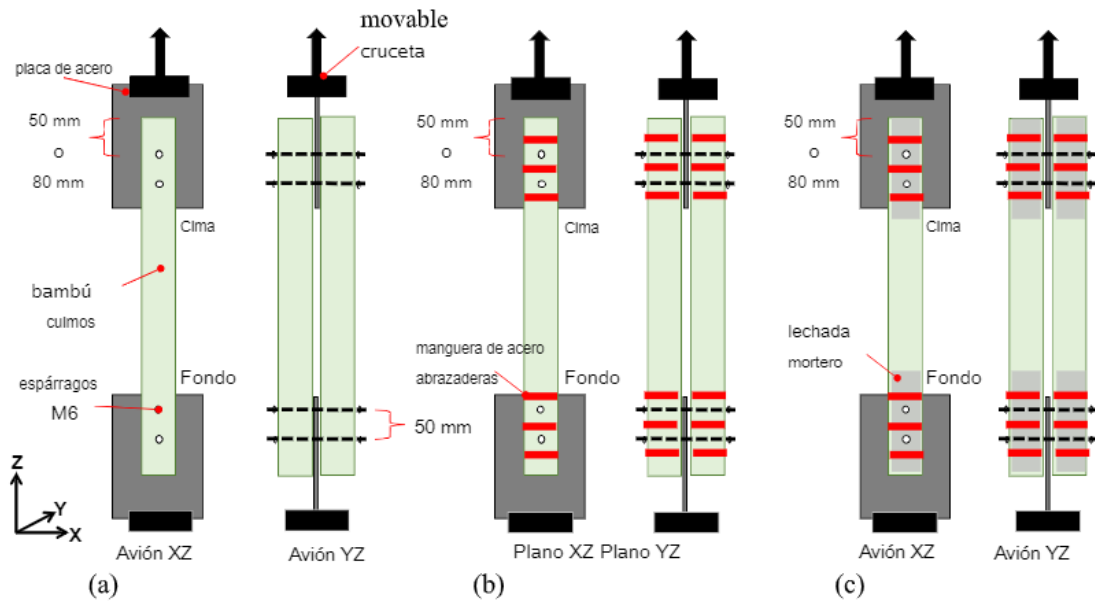
Figura 4. Detalle de conexión propuesta.



Fuente. [14]

El objetivo del autor en este experimento es determinar el comportamiento de este tipo de conexión sometida a carga axial (compresión y tensión) examinando el efecto de la distancia entre el borde la guadua y el orificio exterior de la conexión con el perno, también determinar el efecto de las abrazaderas de acero. Por esta razón decidió realizar pruebas con tres tipos de conexión que se detallan a continuación:

Figura 5. Pruebas tipo de conexión



Fuente. [14]

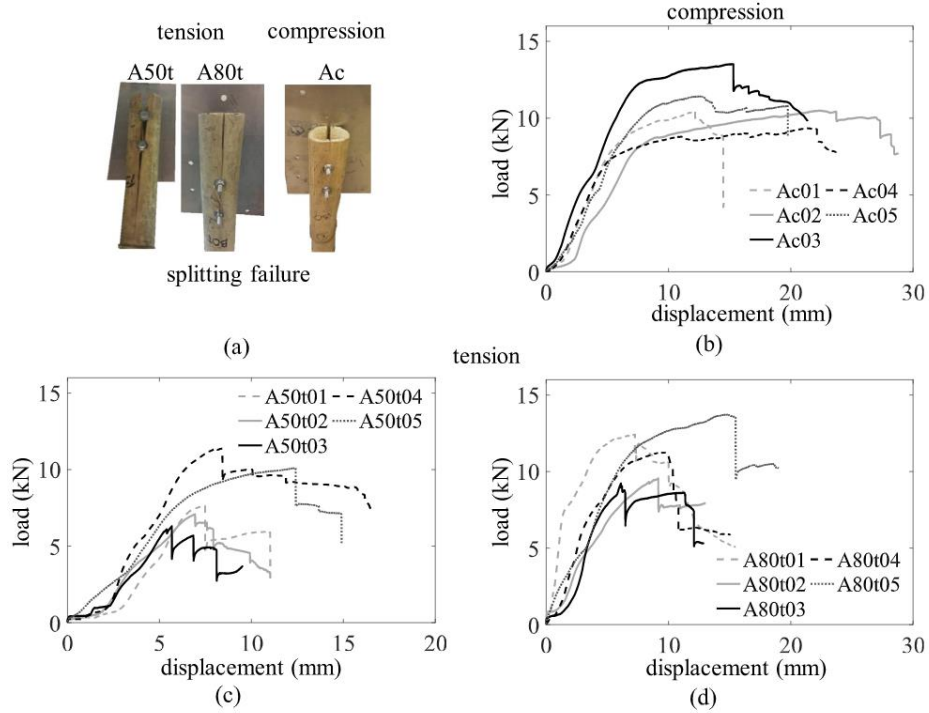
Como se puede ver en la imagen las tres conexiones constan de 2 guaduas conectadas con pernos usando una lámina de acero en el medio y sujetadas con abrazaderas.

En el experimento se realizaron 5 pruebas a compresión y 5 pruebas a tensión por cada uno de los tipos de conexiones propuestas, lo que presentaría un total de 30 probetas desarrolladas. Estas a su vez fueron sometidas a una carga constante con velocidad de 0,01 mm/s con el fin de obtener una curva carga desplazamiento por cada una de las pruebas.

f

Cada uno de los tipos de probetas fueron ensayadas con pernos a 50 y 60 mm de distancia respecto al borde la guadua. Tanto a tensión como compresión y se obtuvieron los siguientes resultados:

Figura 6. Probeta tipo A

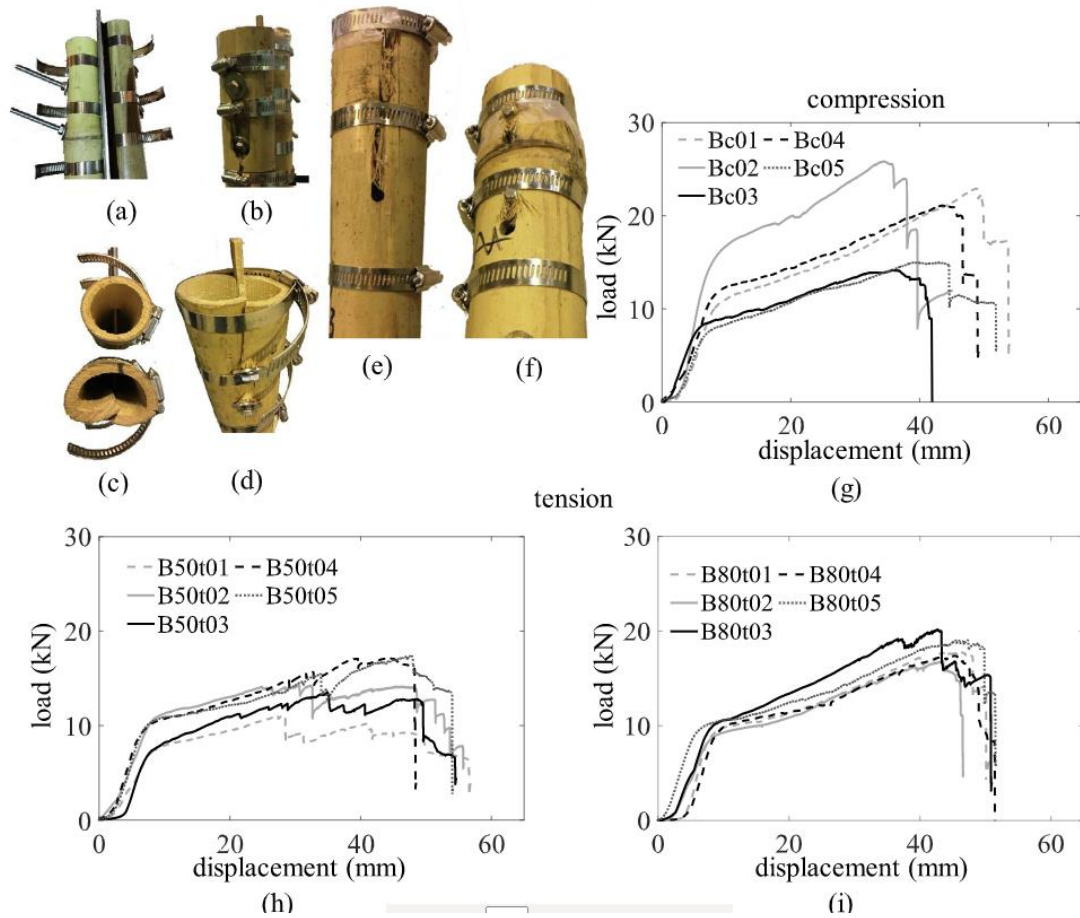


Fuente. [14]

Lo que se puede deducir de estas imágenes es que a mayor distancia del perno respecto al borde la guadua, mayor la resistencia a tensión de esta. También el autor dedujo que el modo de falla a compresión al igual que a tensión es de falla por división.

Respecto a la probeta tipo B, se realizaron los mismos ensayos con una distancia de 50 y 80 mm agregando 3 abrazaderas de metal en los extremos de la guadua, con las 5 probetas y se obtuvieron los siguientes resultados:

Figura 7. Probeta tipo B

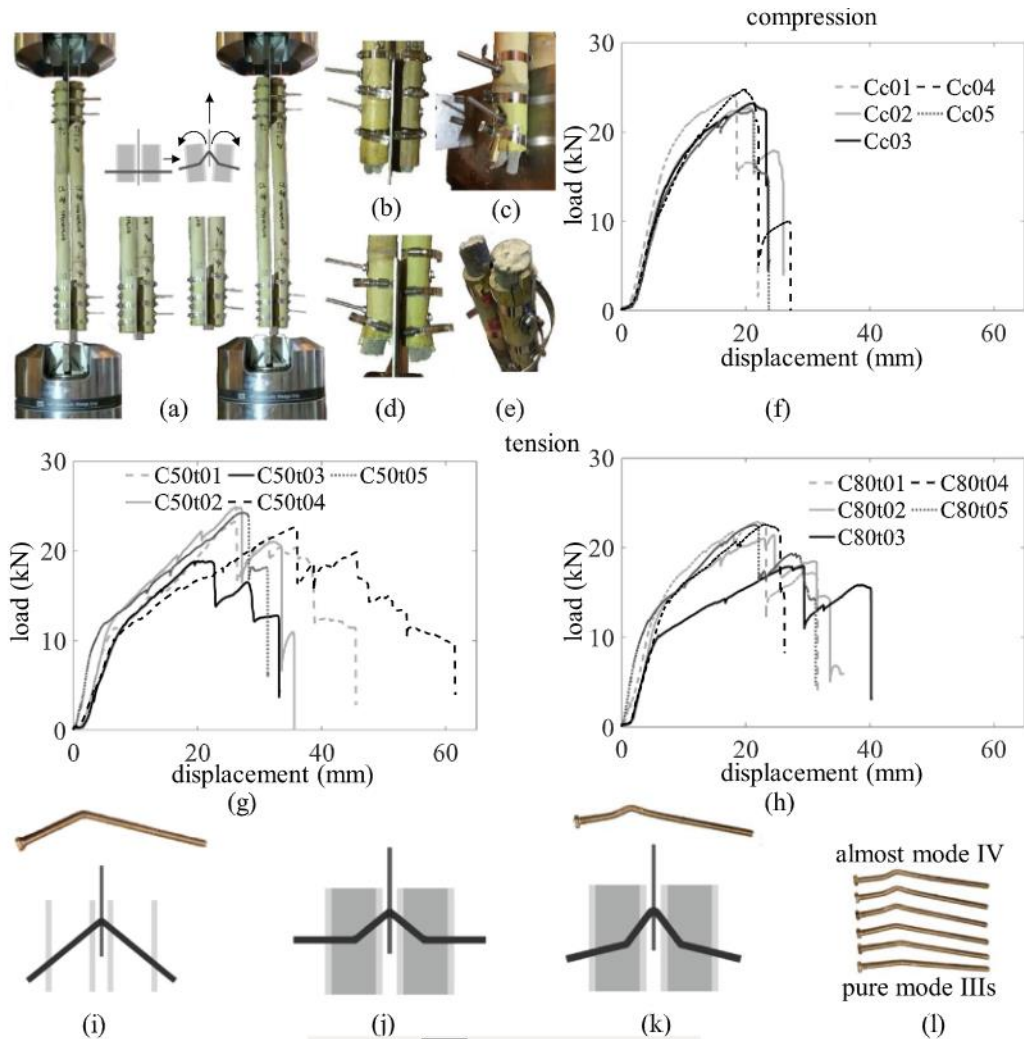


Fuente. [14]

Como se puede observar las cargas de este tipo de conexión fueron superiores a las del tipo anterior, las abrazaderas aportan un alto porcentaje a la resistencia de esta, pero según el autor y la imagen de resultados se evidencio que la guadua continuaba sufriendo falla por división y cuando no fue así los pernos terminaron fallando.

Las probetas tipo C fueron creadas de la misma forma que las tipo B con la diferencia que estas se les agrego mortero enlechado.

Figura 8. Probeta Tipo C



Fuente. [14]

En este tipo de conexiones el autor infiere que predomino la fractura del perno en la falla final de todas las muestras tipo C. se pudo evidenciar además que el concreto contribuye a evitar el aplastamiento de la guadua y la falla por división pero que reduce la ductilidad del perno. De esta forma se logró obtener mejores resultados de fuera ultima.

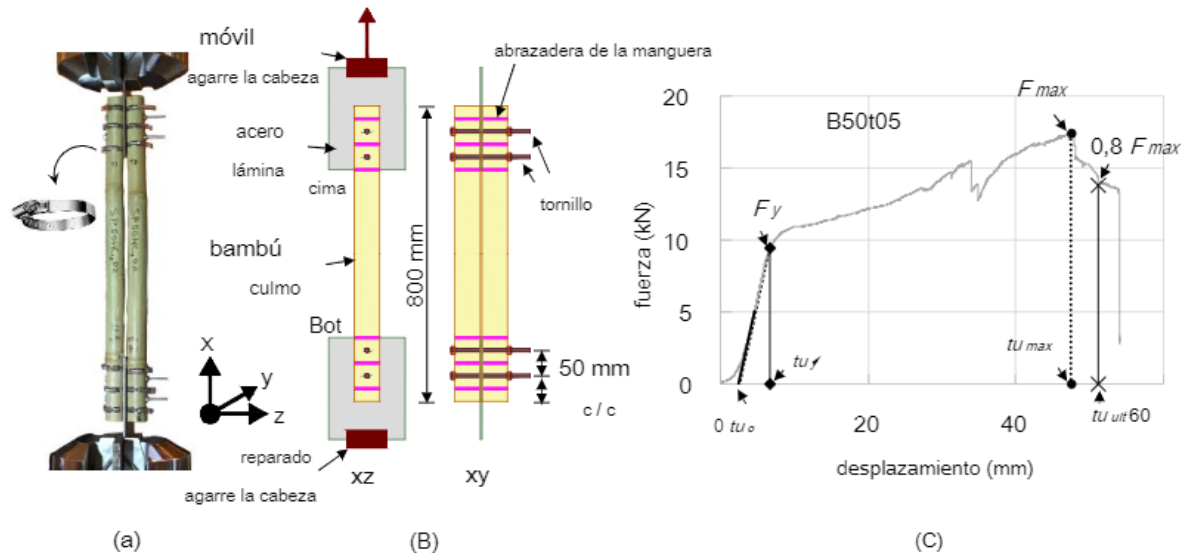
### Comentarios:

Aunque se pudo determinar que el tipo de conexión C es el más resistente a tensión y compresión, este tipo de conexiones podría presentar problemas en la construcción a gran escala debido a la dificultad de la misma y los tiempos de espera necesarios para que el mortero fragüe, adicionalmente no se sabe si este tipo de conexiones finalmente pueden contribuir a las construcciones de estructuras debido a que el experimento carece de otros estudios importantes como por ejemplo el estudio a flexión de estos elementos y tipos de conexión.



Por su parte los autores [14] propusieron una conexión Tipo B como objeto de estudio nuevamente y obtuvieron los siguientes resultados:

Figura 9. Resultados conexión tipo B



Fuente. [14]

En esta ocasión se concluye, que la conexión tipo B con abrazaderos de acero ayudan a mejorar la falla por división de la guadua y que la conocer la deformación dúctil de los pernos es posible deducir analíticamente las cargas en las estructuras. Sin embargo, se puede inferir que este estudio solamente está enfocado para el uso sobre columnas ya que solo fue probado en cargas axiales (tensión y compresión), el ideal sería también conocer el comportamiento de este tipo de conexiones a flexión.

En la actualidad se han desarrollado tecnologías que ayudan a convertir la guadua de su forma natural a guadas en forma laminada (EBP) este tipo de material se suele construir por uno de dos métodos, el primero es conocido como PSB o guadua de hebras construidas y el segundo es conocido como LVB o guadua de chapa laminada. En ambos casos las guadas son sometidas a procesos químicos, de prensado y calor que logran un material altamente compacto y resistente.

Dentro de las LVB, el autor [15] propuso realizar un estudio con varios trozos de este material con el objetivo de revisar la resistencia de estos simplemente con conexiones clavadas. Las pruebas del autor para esta conexión se realizan en 25 grupos de muestras diferentes simétricas, estas están formadas por 2 largueros de 20 mm de espesor, conectados en el medio por una lámina de 40mm de espesor mediante clavos. Ambos miembros tienen el mismo ancho (40mm) y largo (150 mm)

Antes de introducir los clavos, las láminas fueron previamente perforadas (80% del diámetro de los clavos) con el fin de mejorar la tolerancia de espaciado del agujero creado por los clavos y de esta forma evitar que se fracturen las

láminas. A continuación, se presentan las propiedades mecánicas de las láminas utilizadas en el experimento:

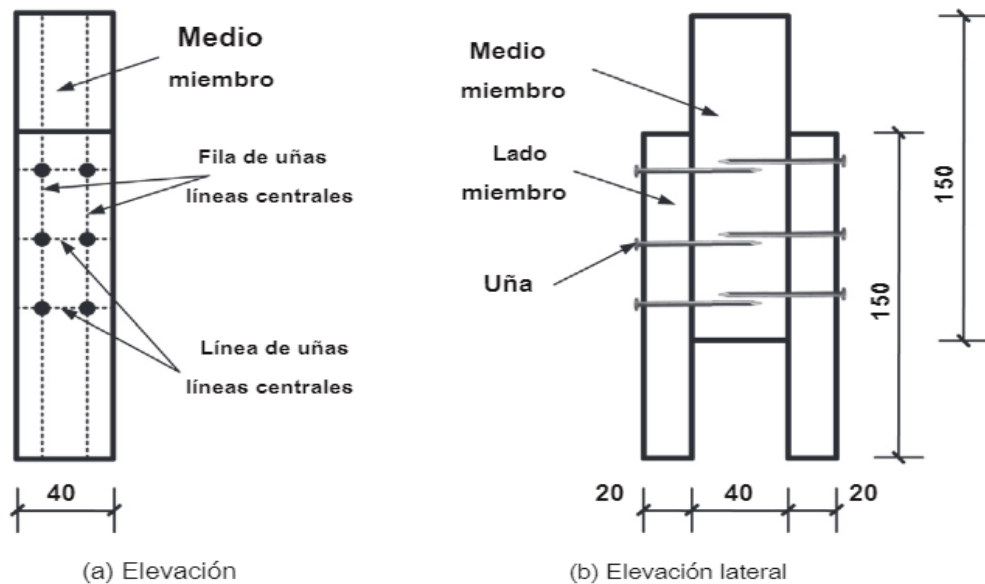
Tabla 2. Propiedades mecánicas de las laminas

Resistencia a la compresión paralela a la fibra $F_c$ (MPa)	56,3
Resistencia a la tracción paralela a la fibra $F_t$ (MPa)	107,7
Resistencia a la flexión $F_B$ (MPa)	111,5
Módulo de elasticidad $m_i$ (MPa)	11,02
el coeficiente de Poisson ( $m$ )	0,25

Fuente.[15]

El diseño de la conexión se puede detallar en la siguiente imagen:

Figura 10. Diseño de conexión con lamina mecánica



Fuente. [15]

Para realizar las pruebas de esta conexión se usó una máquina de prueba universal

controlada por microcomputadora de 50 kN de capacidad, la carga se transmitió a las probetas a través de la placa de acero colocada encima de las probetas. La carga se aplicó a una velocidad constante de 1.5mm/min. De esta forma se obtuvieron los siguientes resultados:

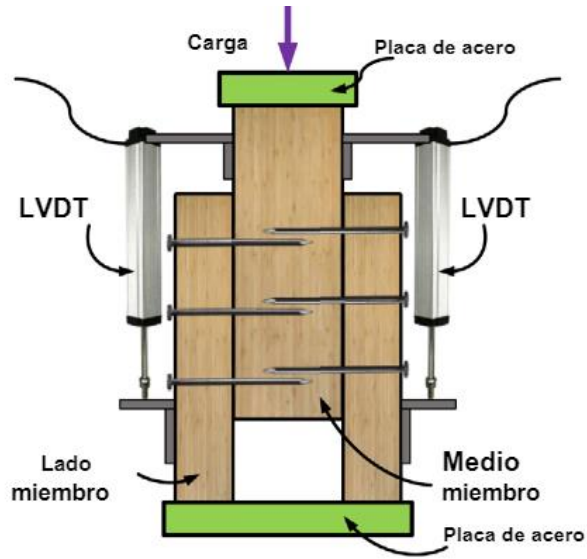
Tabla 3. Resultados pruebas de conexión

Specimens	$e_1$ (mm)	$e_2$ (mm)	$s$ (mm)	$r$ (mm)	$m$	$n$	$K$ (kN/mm)	$F_y$ (kN)	$\Delta_y$ (mm)	$F_{max}$ (kN)	$\Delta_{max}$ (mm)	$\mu$
2.1-L1R1	20	20	-	-	1	1	1.61	1.46	1.2	3.14	13.3	11.1
2.1-L1R2	20	20	20	-	1	2	2.05	2.40	1.4	5.43	11.6	8.3
2.1-L1R3	20	20	20	-	1	3	2.62	3.38	1.5	7.34	11.3	7.5
2.1-L1R4	20	20	20	-	1	4	4.06	5.53	1.6	10.93	12.2	7.6
2.1-L1R5	20	20	20	-	1	5	4.18	6.04	1.7	11.79	11.9	7.0
2.5-L1R1	20	20	-	-	1	1	1.91	2.00	1.3	4.01	15.0	11.5
2.5-L1R2	20	20	20	-	1	2	2.78	3.91	1.6	7.75	15.0	9.4
2.5-L1R3	20	20	20	-	1	3	4.49	5.39	1.4	11.72	15.0	10.7
2.5-L1R4	20	20	20	-	1	4	4.87	7.39	1.9	14.09	11.0	5.8
2.5-L1R5	20	20	20	-	1	5	5.28	9.01	2.2	17.38	11.4	5.2
2.8-L1R1	20	20	-	-	1	1	2.95	2.56	1.5	5.75	15.0	10.0
2.8-L1R2	20	20	20	-	1	2	3.40	4.78	2.3	9.49	17.5	7.6
2.8-L1R3	20	20	20	-	1	3	5.50	8.95	2.0	12.45	12.2	6.1
2.8-L1R4	20	20	20	-	1	4	5.71	9.93	2.2	15.10	11.4	5.2
2.8-L1R5	20	20	20	-	1	5	6.44	13.29	2.5	18.67	10.0	4.0
2.5-L2R1	20	10	-	20	2	1	3.08	3.27	1.3	7.82	15.0	11.5
2.5-L2R2	20	10	20	20	2	2	5.30	6.16	1.6	15.26	14.2	8.9
2.5-L2R3	20	10	20	20	2	3	6.96	9.59	1.7	21.01	12.2	7.2
2.5-L2R4	20	10	20	20	2	4	7.37	14.10	2.3	26.50	13.1	5.7
2.5-L2R5	20	10	20	20	2	5	8.87	17.94	2.7	29.48	9.2	3.4
2.5-L3R1	20	10	-	10	3	1	4.17	4.29	1.8	12.53	14.9	8.3
2.5-L3R2	20	10	20	10	3	2	7.21	9.38	1.6	22.61	15.0	9.4
2.5-L3R3	20	10	20	10	3	3	7.64	14.15	2.3	31.52	15.0	6.5
2.5-L3R4	20	10	20	10	3	4	12.42	19.63	2.1	38.75	10.5	5.0
2.5-L3R5	20	10	20	10	3	5	13.92	27.20	2.5	50.60	11.3	4.5

Fuente. [15]

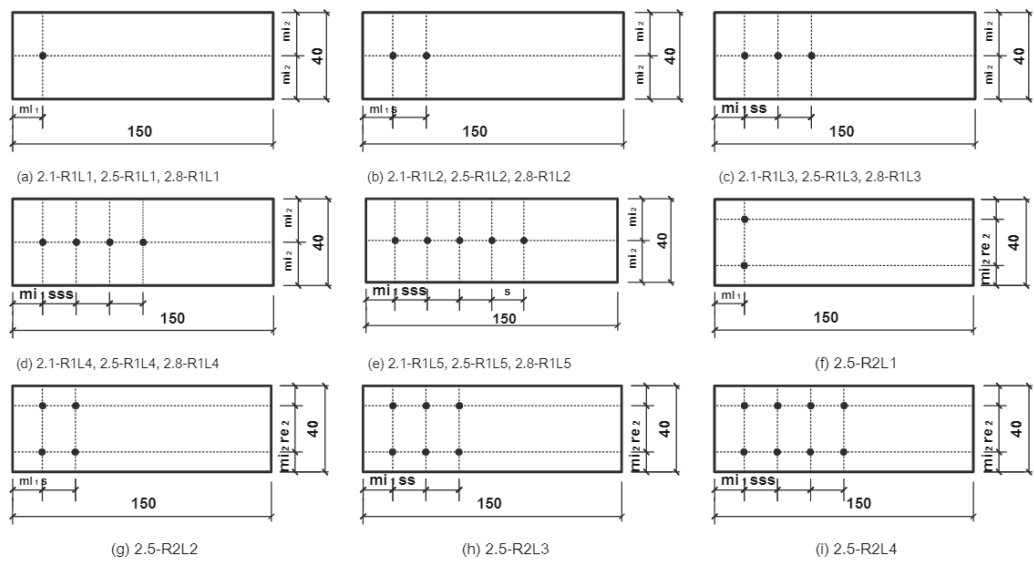
Donde:  $e_1$  = distancia final (mm);  $e_2$  = distancia al borde (mm);  $s$  = distancia de centro a centro (mm);  $r$  = distancia entre filas (mm);  $m$  = número de filas de clavos,  $n$  = número de líneas de uñas,  $K$  = rigidez (kN / mm),  $F_y$  = carga de rendimiento (kN),  $F_{max}$  = carga máxima (kN),  $\Delta_y$  = deslizamiento correspondiente a la carga de fluencia (mm),  $\Delta_{max}$  = deslizamiento correspondiente a la carga máxima (mm),  $M$  = relación de ductilidad.

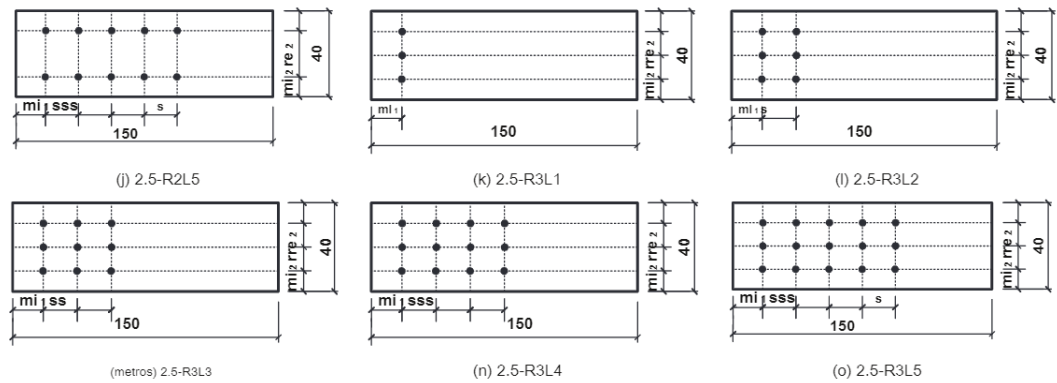
Figura 11. Configuración de la conexión



Fuente. [15]  
 Las probetas fueron preparadas de la siguiente forma:

Figura 12. Diseño de las probetas





Fuente.[15]

Algunas imágenes del resultado experimental

Figura 13. Resultado experimental



Fuente. [15]

En este experimento se evidencio la influencia del diámetro del clavo y la disposición de estos, las conexiones clavadas laminadas en este estudio se caracterizan por una combinación de modos de falla por incrustación y división.

**Comentarios:**

Esta conexión es ideal para estructuras de carga liviana ya que por su facilidad de construcción permite crear estructuras rápidamente, aunque también se debe resaltar que el material de guadua laminada aun no es de fácil acceso el mercado, por lo que es necesario tener en cuenta esto a la hora de utilizar este tipo de material en construcción.

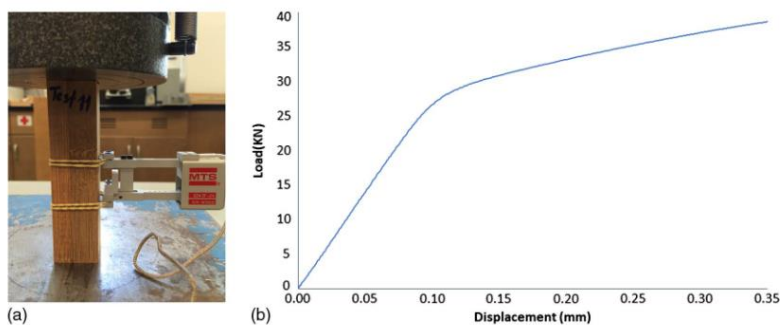
[16] por su parte propone un modelo computacional, que busca permitir la fácil adopción de la guadua laminada en las construcciones modernas, el

objetivo de este estudio es comprender como o si el comportamiento de las conexiones de clavijas laminadas difiere para el código de diseño y normas.

Para esto se diseñó un programa experimental en el que se probaron las propiedades del material (resistencia al corte, compresión y tensión) realizando pruebas paralelas y perpendiculares a la fibra de las láminas de guadua que fue adquirida de forma comercial y tenían un contenido de humedad medio de 5.4%. Este material fue acondicionado durante 2 meses en condiciones ambientales constantes.

Las pruebas de compresión y propiedades elásticas se hicieron usando 10 muestras que median 3000x150x35 mm, según el autor teniendo en cuenta la norma ASTM D2915. Para las cargas paralelas las dimensiones fueron 25x25x100 mm, para la dirección perpendicular a la fibra las dimensiones fueron 50x50x150mm. A estas se les aplicó una carga de continua de 150 KN, a una tasa de 0,305mm/min. El desplazamiento se midió utilizando un extensómetro uniaxial.

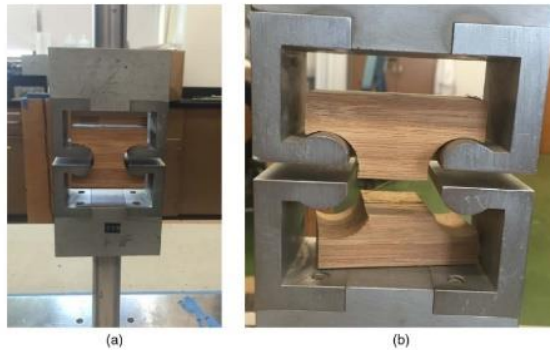
Figura 14. Resultado prueba a compresión



Fuente. [17]

Las pruebas de tensión se realizaron usando muestras de guadua laminada que fueron cortadas en tablas de 300x150x35mm con máquina de alta precisión. Estas fueron sometidas a una carga de 150 KN con velocidad de 0,305mm/min.

Figura 15. Resultado pruebas a tensión



Fuente. [17]

La prueba de la resistencia al corte se realizó según el autor de acuerdo con la norma ASTM D143, a una tasa de carga de 0,6mm/min. Con esto se pudo evidenciar que la carga promedio de resistencia al corte era de 13,15 Mpa. Este procedimiento se repitió para cada una de las muestras un total de 15 veces, de esta forma se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 4. Resumen de resultados

Cargando dirección	Densidad (kg = m <sup>3</sup> )	<u>Compresión</u>		<u>Tensión</u>		<u>Cortar</u>
		Fuerza (MPa)	MOE (MPa)	Fuerza (MPa)	MOE (MPa)	Fuerza (MPa)
Paralela	650	11,600	62	9.219	95	13.15
COV (%)	-	7	3.2	15	12	11
Perpendicular	650	1.440	28	200	5.43	-
COV (%)	-	30	11	9	22	-

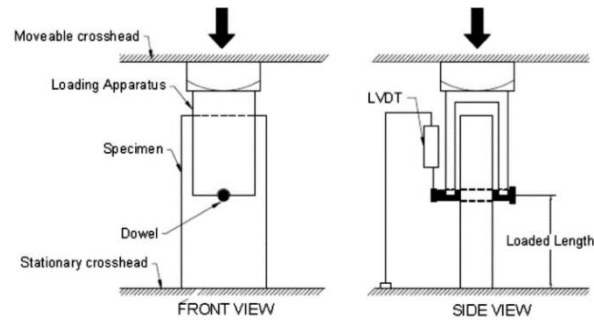
Fuente. [17]

COV= coeficiente de variación.

Posterior a esto se realizaron pruebas de incrustación al material de guadua laminada. Con este fin se utilizó una máquina de prueba MTS3000 en combinación con un LVDT y un extensómetro para medir el desplazamiento tanto en la superficie de contacto como debajo del área de contacto. El objetivo era evaluar una conexión de junta simple con un solo pasador.

Las muestras del material median 152x63x32 mm, estos fueron taladrados con una broca de 17,5mm de diámetro, con el fin de introducir el perno que tenía un diámetro de 15.9mm. como se muestra en la siguiente figura:

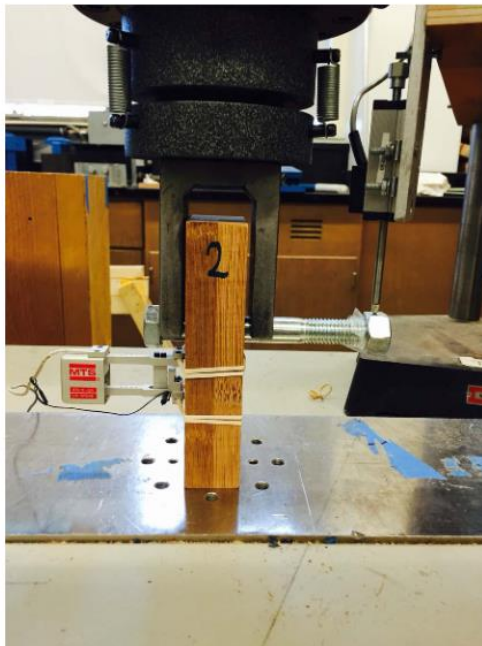
Figura 16. Configuración de la conexión



Fuente. [17]

Para lograr esto se fabricó un aparato de carga para asegurar que las cargas aplicadas se impartieran directamente a través de la superficie lisa del perno.

Figura 17. Imagen aparato de carga y configuración de la prueba.



Fuente. [17]

Los resultados del autor indican que la rigidez del material de contacto es 10,6 veces menor que la rigidez media en la zona del extensómetro. Por esta razón se utilizaron dos definiciones (módulo de elasticidad volumétrico y módulo de elasticidad local). A su vez se demostró que el desplazamiento en el 80% de las muestras la grieta comenzó y continuó creciendo entre 4 y 4,7mm. Fuera del centro.



Tabla 5. Tabla rigidez media en la superficie de contacto y debajo de la superficie de contacto

Parámetro	Rigidez en	Rigidez en	Fuerza de empotramiento
	superficie de contacto de la zona del extensómetro (N = mm)	superficie de contacto de la zona del extensómetro (N = mm)	paralelo al grano (MPa)
Significar	343,600	32.400	49
COV (%)	14,4	5,6	8

Nota: COV = coeficiente de variación.

Fuente. [17]

Posterior a las pruebas, se procedió a desarrollar un modelo de elementos finitos de deformación plana 2D utilizando ADINA software, con el fin de investigar la distribución de la tensión encima y debajo de la superficie de contacto. Se uso la geometría del modelo como la configuración de pruebas de pozo completo experimental descrita en la ASTM D5764. Se tuvo también en cuenta los supuestos de las propiedades del material. Usando la nomenclatura ADINA para la relación de poisson:

$$\frac{\nu_{ij}}{E_j} = \frac{\nu_{ji}}{E_i} \quad i, j = a, b, c$$

$$\nu_{ij(ADINA)} = \left( \frac{E_j}{E_i} \right) \nu_{ij(Jones)} \quad i, j = a, b, c$$

Luego fue necesario la selección de elementos y la calibración del modelo de elementos finitos. Al realizar dicha calibración se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 6. Calibración FEM en carga compresiva paralela a la fibra

Modelo				Resultados			
FEM modelo	Tamaño de malla (mm)	Cumplimiento factor	Desplazamiento (mm)	Uz (mm)	Fuerza de contacto en la línea de contacto [Fz (N = mm)]	Contacto presión (MPa)	Contacto rigidez [K (N = mm)]
1	0,5	0,0001	1	0,96	1,257	37,760	37,760
2	0,5	0,0002	1	0,93	1,140	36,480	36,480
3	0,5	0,0003	1	0,9	1,170	35,200	35,200
4	0,5	0,0004	1	0,87	1,070	34,240	34,240

Fuente. [17]

El módulo de elasticidad local, el paralelo a la fibra se determinó siguiente un enfoque empírico. El método se basa en incrustar datos de prueba.

$$E_L = K * \frac{L}{A}$$

EI = modulo elástico

K= pendiente

A= área proyectada del perno

L = profundidad de la zona de apoyo.

El modelo calibrado se utilizó para examinar el estado de tensión de las pruebas de lámina de guadua, en la zona debajo de la clavija con el propósito de obtener una idea de la naturaleza progresiva y la causa de la falla.

Tabla 7. Resultados FEM paralela y perpendicular a la fibra

Prueba	Muestra Talla	Falla carga (NORTE)	Falla desplazamiento (mm)	Módulo local de elasticidad (MPa)
Paralelo al grano (prueba de empotramiento)	15	-	-	-
Valor medio	-	28.197	1,18	1.007
COV (%)	-	8	15	15
Perpendicular al grano (prueba de tensión)	10	-	-	-
Valor medio	-	4.450	0,55	200
COV (%)	-	22	19	9

Nota: COV = coeficiente de variación.

Fuente. [17]

**Comentarios:** es necesario tener en cuenta que este modelo solo está diseñado para conexiones de un perno, es necesario tener en cuenta esto al momento de hacer uso en las construcciones. El estudio solo se basa en guaduas laminadas por lo que es importante tener en cuenta que este tipo de materiales es difícil de comercializar y que adicionalmente en la mayoría de los casos requiere de la fabricación a manos propias. Es necesario ampliar la información del software y el modelo, ya que la información al respecto no es muy clara y difícil de obtener.

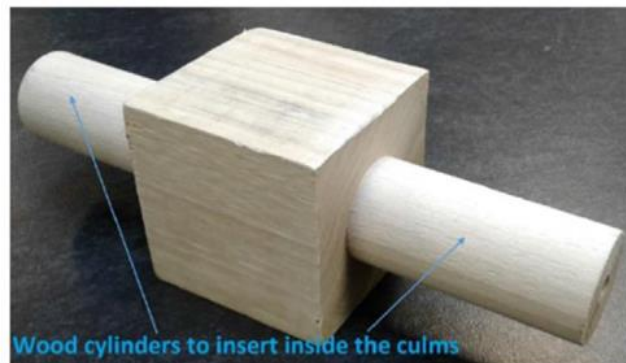
### Conexión de culmo completo con arriostramiento

Las conexiones de culmo completo se ven con frecuencia, pero tiene una mayor complejidad de ejecución y un mayor potencial de falla, puesto que, al perforar los tallos estos pueden ser debilitarlos. Para solucionar esta problemática el autor [18] en su artículo “A new method for joining bamboo culms” propone una

conexión que utiliza un bloque de madera mecanizado con clavija a medida del diámetro del culmo de la guadua y utiliza adicionalmente abrazadera.

En este artículo el autor diseña una conexión con un bloque de madera que contiene clavijas sobresalientes, estas clavijas están diseñadas para introducirse perfectamente con él en el culmo de la guadua con el fin de minimizar los vacíos, en la siguiente imagen podremos detallar el bloque de la conexión:

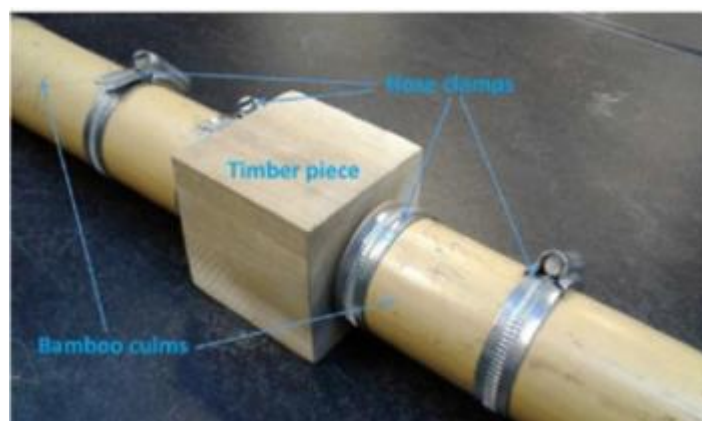
Figura 18. Bloque conexión de madera



Fuente. [18]

Este bloque debe ser insertado a presión dentro del culmo de tal forma que la clavija estuviera en contacto con el extremo de la guadua, posterior a esto el culmo en la parte exterior es sujetado con abrazaderas que deben ser ajustadas con los tornillos de presión de estas como se evidencia en la siguiente imagen:

Figura 19 .Conexión culmos/bloque



Fuente. [18]

Para efectos del análisis este bloque de madera fue diseñado con diferentes tipos de madera (madera contrachapada, trato rojo, álamo que es

madera dura) que en cada prueba fue usándose en orden creciente de la resistencia.

Esta conexión fue diseñada para que la fabricación de esta fuese posible en cualquier país donde este tipo de material es abundante. Con el objetivo de encontrar la mejor combinación posible se diseñaron 6 conexiones con este método:

Diseño 1: El bloque de madera estaba hecho de madera contrachapada. Se utilizó una sola abrazadera, colocada a una distancia de 20 mm del final del culmo. Un nodo estaba ubicado al final de la clavija.

Diseño 2: Este diseño era el mismo que el Diseño 1, excepto por la adición de una segunda abrazadera, ubicada a una distancia de 10 mm más allá del extremo de la clavija.

Diseño 3: Este diseño era el mismo que el Diseño 1 excepto por la ausencia de un nodo al final de la clavija.

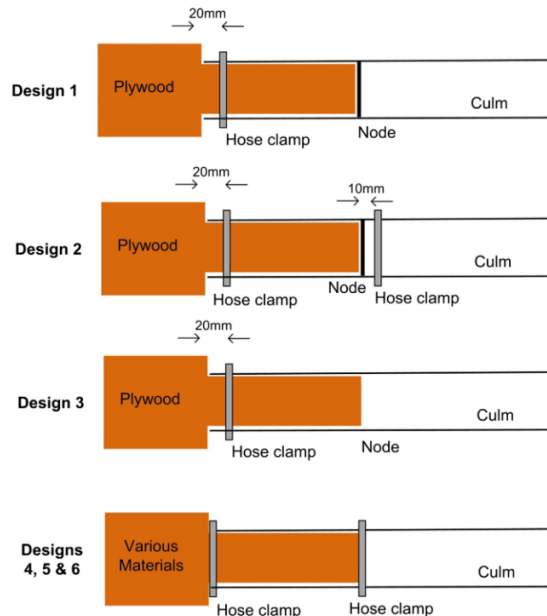
Diseño 4: En este diseño no hubo ningún nodo involucrado, y se colocaron dos abrazaderas, ubicadas en los dos extremos de la clavija.

Diseño 5: Este era idéntico al Diseño 4, excepto que se utilizó un bloque de madera maciza, hecho de madera blanda (trato rojo).

Diseño 6: Esto era idéntico al Diseño 5, excepto que el bloque estaba hecho de un tipo de madera más fuerte, a saber, álamo.

Estos diseños podremos observarlos dentro de la siguiente grafica para mayor claridad.

Figura 20. Diseños de conexión



Fuente. [18]

La idea de los diseños es evaluar los efectos del comportamiento de las abrazaderas y la presencia o ausencia del nudo, estos diseños fueron sometidos a pruebas de flexión, se utilizó una maquina universal instron 5589, con una capacidad de carga de 5kn. El bloque de madera se sujetó a la base de la

máquina y se aplicó un desplazamiento hacia abajo (velocidad de 10 mm/min) al culmo a una distancia de 450 mm para crear una flexión en voladizo en la junta. El esfuerzo de flexión nominal en el culmo se calculó utilizando la fórmula estándar:

$$\sigma_{\text{bending}} = Mr/I$$

donde:

M = Momento flector aplicado.

R= Radio exterior del culmo.

I = Segundo momento de área de su sección transversal (momento de inercia).

El esfuerzo cortante nominal se calculó usando la siguiente ecuación:

$$\sigma_{\text{shear}} = FQ/tI$$

donde:

F = fuerza aplicada.

Q = primer momento del área.

t = Espesor del material en la dirección de la carga.

I = Segundo momento de área de su sección transversal.

En total se realizaron 38 pruebas, que se resumen en la siguiente tabla indicando el número de probetas por cada caso

Tabla 8. Numero de probetas del experimento

diseño	Descripcion	Numero de probetas (ensayo de flexion)	Numero de probetas (ensayo de corte)
1	Una abrazadera sin nudo, madera contrachapada	5	
2	abrazaderas, sin nudo, madera contrachapada Una abrazadera	4	
3	sin nudo, madera contrachapada Dos abrazaderas, sin nudo	3	
4	madera contrachapada Dos abrazaderas, sin nudo, trato rojo	4	4
5	Dos abrazaderas, sin nudo, madera (trato rojo)	4	
6	Dos abrazaderas, sin nudo, madera (álamo)	5	5

Fuente. [18]

El resumen de los resultados de la resistencia a la flexión y al corte se exponen en la siguiente tabla:

Tabla 9. Resultados por diseño

Diseño	Resistencia a la flexión MPa	Resistencia al corte MPa
1	31,7 (4,3)	6,0 (0,3)
2	29,0 (2,4)	
3	35,5 (6,1)	
4	44,5 (4,8)	7,2 (0,4)
5	60,9 (3,1)	
6	88,4 (12,4)	18,5 (2,1)

Fuente. [18]

En esta tabla podemos observar que el diseño 6 (utilizando madera álamo) fue el diseño exitoso, ya que con este se pudo obtener una resistencia a la flexión de 88.4 Mpa con una desviación (12.4) y una resistencia al corto de 18,5 Mpa con una desviación (2,1).

En esta conexión el autor informa que el cubo de madera permaneció intacto, también relación al autor [19] según el asegura Anteriormente, la resistencia a la flexión de los tallos intactos de la misma especie se midió en 124 Mpa. Por lo que la resistencia obtenida en esta conexión corresponde al 71% del valor máximo posible.

### **Comentarios:**

Aunque esta conexión es fácil de crear y usa material asequible que se encuentra en cualquier país donde es abundante la guadua, es importante recalcar que la construcción de esta resulta tediosa en construcciones grandes, ya que al necesitar que los bloques de madera tengan los diámetros de la clavija ajustados al diámetro de la guadua y teniendo en cuenta también que la guadua es un material de diámetros irregulares, puede resultar un trabajo inmenso, de gran operatividad y que no permite trabajar a gran escala aun cuando el autor recomienda el uso de tornos de madera.

Es importante resaltar que, aunque el resultado de la mejor conexión (diseño 6) se obtuvo con madera resistente (álamo) existen otro tipo de materiales con los que faltaron realizar ensayos para tener un mayor espectro del comportamiento de este diseño en particular.

## **9.2.2 Conexiones Perforadas Con Metal**

Este tipo de conexión se caracteriza por incluir ángulos y placas perforadas de acero; estos elementos son perforados con el fin de dar espacio al perno. Esta placa de acero está en contacto directo con la guadua y con el perno, por lo que se determina el modo de falla evaluando la totalidad de los elementos que componen la conexión. Cabe resaltar que este tipo de conexión es similar a los tipos de conexión utilizados en estructuras metálicas.

Esta categoría es la más amplia, Se encontró que de las 20 investigaciones objeto de estudio 10 pertenecían a esta categoría, esto nos brinda un panorama general sobre el tipo de conexión más utilizada en la actualidad. A continuación, se describen las propiedades físicas y mecánicas de la conexión, los materiales utilizados para su elaboración, el tipo de guadua, los ensayos a los cuales fue sometida, el tipo de estructura en el cual se emplea y

por último algunas observaciones, recomendaciones y aportes de los autores de este trabajo de grado.

## Conexión FRP

**Tipo de conexión:** FRP (Polímero reforzado con fibra)

**Tipo de guadua:** guadua natural

**Uso:** Conexión para conformar elementos estructurales (vigas, columnas)

Se propone una conexión compuesta de polímero reforzado con fibra (FRP) y adhesivo de resina epoxi.

**FRP** es un material polimérico resultante de la combinación de fibras de fibra de vidrio, carbono y aramida. (Kunkoro. 2019).

**Adhesivos Epoxi** son adhesivos cuyo polímero base está formado por el grupo químico denominado epoxi, estos también son conocidos como adhesivos rígidos dado a que poseen una alta resistencia cuando son sometidos a cargas de tensión que pueden llegar a los 30 MPa, también presentan una baja elongación antes de producirse la fractura.

El FRP de tipo Tyfo SEH-51A proviene de fibra de vidrio con una resistencia máxima a la tracción del valor de 575 MPa, la tensión de rotura al valor de 2,2%, y módulo de tracción al valor de 26,1 GPa.

La conexión perpendicular a la fibra se realiza con dos pernos con un diámetro de 16 mm

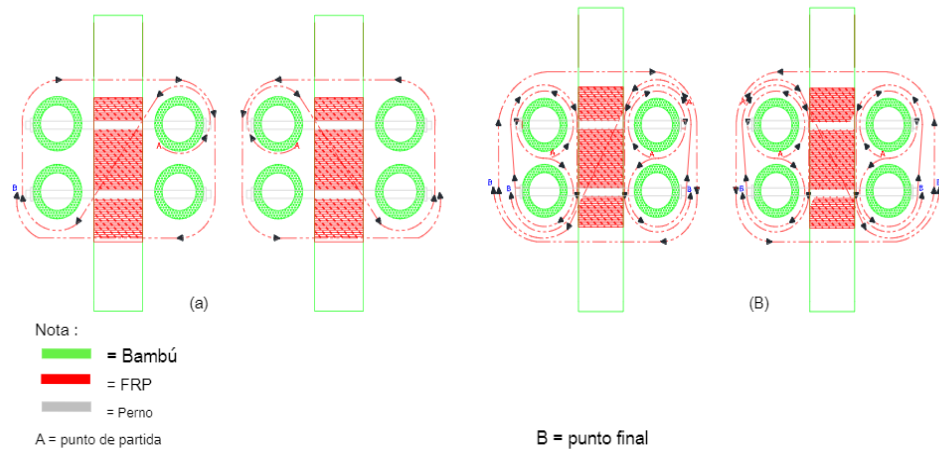
Figura 21. Polímero reforzado con fibra (FRP) Tyfo SEH; resina



Fuente. [20]

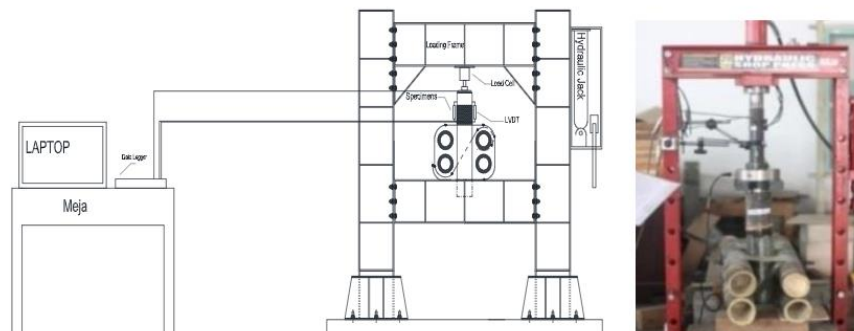
Utilizando los materiales mencionados anteriormente se ensambla la conexión, la capa de FRP, consiste en una conexión paralela a la fibra y una conexión perpendicular a la fibra. a continuación, se presenta la configuración de la conexión.

Figura 22. Método de capa de FRP perpendicular a la fibra



Fuente. [20]

Figura 23. Esquema de conexión perpendicular a la prueba de fibra



Fuente. [20]

Se determinan los siguientes parámetros:  
 carga máxima, ductilidad y resistencia de la conexión. Al observar el método de falla, la fuerza de unión del FRP en el bambú se calcula en función del área del campo de contacto y la carga que puede soportar la conexión. Los resultados de las pruebas en los dos tipos de especímenes se evidencian en la siguiente tabla.

Tabla 10 . Resultados de prueba por especímenes

Método	Muestra	Ductilidad



		Carga máxima P (KN)	Rigidez K (KN/mm)	
TLS01- 2L	A	24.88	2.28	2.75
	B	28.38	3.35	1.99
	Promedio	26.63	2.815	2.37
TLS02- 1L	A	40.88	2.83	2.31
	B	36.00	2.73	1.81
	Promedio	38.44	2.78	2.06

Fuente. [20]

La resistencia lateral de unión y perno es de 4,76 kN. Dado que consta de dos áreas de corte y dos pernos; por lo tanto,  $4,76 \text{ kN} \times 2 \times 2 = 19,04 \text{ kN}$

Tabla 11. Resistencia lateral de conexión perpendicular a fibra con FRP en forma de análisis

Muestra	$\tau$ Promedio ( Mpa)	Vinculación Área (mm <sup>2</sup> )	PAG <sup>max</sup> Análisis (kN)	PAG <sup>max</sup> Analys Promedio (kN)
	2	3	4 = 3x2	5 = ( $\Sigma 4: \Sigma n$ ) / 1000
TLS01-1L-A		89535,39	75690,17	
TLS01-1L-B		<del>0,00</del>	<del>0,00</del>	
TLS01-1L-C		87650,44	74096,69	
TLS01-2L-A		89535,39	75690,17	
TLS01-2L-B		77283,18	65332,57	
TLS01-2L-C	0,845	89535,39	75690,17	72,36
TLS02-1L-A		81053,09	68519,52	
TLS02-1L-B		89535,39	75690,17	
TLS02-1L-C		81995,57	69316,26	
TLS02-2L-A		89535,39	75690,17	
TLS02-2L-B		77283,18	65332,57	
<u>TLS02-2L-C</u>		88592,91	<u>74893,43</u>	

Fuente. [20]

Por lo tanto, teóricamente, la resistencia lateral de la conexión perpendicular a la fibra con FRP y perno es:

$$72,36 + 19,04 = 91,40 \text{ kN}$$

#### Análisis de resultados

- El número de capas influye en el aumento de la conexión de resistencia, ya que el uso del número de capa influye en la unión de FRP, que luego también influye en el rendimiento de la conexión para restringir la carga y proteger el bambú de la rotura. Según el método de capa, TLS02 tiene un valor de resistencia más alto que TLS01. El área de unión en TLS02 es más grande que en TLS01.

- se puede decir que una estructura es dúctil si tiene un valor de ductilidad superior a cuatro, pero el valor del factor de ductilidad en la investigación es inferior a cuatro. Por lo tanto, la conexión no es dúctil ya que las propiedades de FRP cuando se ejecuta la prueba tienen un alto valor de fluencia y tensión última. Por lo tanto, al determinar el valor de ductilidad, la comparación del valor último y de rendimiento es cercana y da como resultado menos de cuatro.
  - El valor de rigidez en la conexión TLS01 y TLS02 está aproximadamente entre 1,5-2,5 kN / mm, por lo que la conexión perpendicular a la fibra no es rígida. Es causada por la influencia de la forma de la geometría del bambú en la conexión, lo que hace que el área de unión de la conexión perpendicular a la fibra sea más pequeña y también puede ser causada por la existencia de un perno en dicha conexión.

### **Análisis y/o aporte de los autores del trabajo de grado**

Esta conexión reduce costos y disminuye el peso de la estructura, pero presenta unos valores bajos de rigidez y adicionalmente no es dúctil. En caso de implementar este tipo de conexión se recomienda sea la TLS02 con un mayor número de capas ya que influye drásticamente en el comportamiento mecánico de la conexión ya que restringe la carga y protege el bambú de la rotura.

En cuanto a la conexión lateral por perno se considera que el modelo teórico esta sobre estimado debido a fallas en el funcionamiento de la máquina y desviación en la trayectoria del perno.

Se encuentra una buena alternativa en este tipo de conexión siempre y cuando se aplique en estructuras livianas, es recomendable realizar ensayos con la resina y agregando concreto con el fin de determinar si aumenta la rigidez.

### **conexiones de placas de acero perforadas**

**Tipo de conexión:** placa de acero perforada

**Tipo de guadua:** Artificial (malla de bambú)

**Uso:** Viga mixta (guadua, hormigón), losas

Esta conexión pretende realizar la unión de un nuevo tipo de estructura compuesta de bambú y hormigón utilizando placas de acero perforadas.

Se estudia el comportamiento de deslizamiento de los conectores mediante pruebas de empuje. Posteriormente, se llevaron a cabo ensayos de flexión en cuatro puntos de diez vigas mixtas de bambú y hormigón.

#### **Materiales**

##### **Malla de bambú**

Es un nuevo material formado al reorganizar y fortalecer el bambú. En detalle, el bambú se procesa en tiras de bambú, es decir, fibra de bambú; impregnado después del secado; secado al contenido de humedad requerido; colocado y prensado en un molde; y finalmente curado por calor a alta temperatura y presión.

Módulo de elasticidad de la malla de bambú= 149,46 MPa

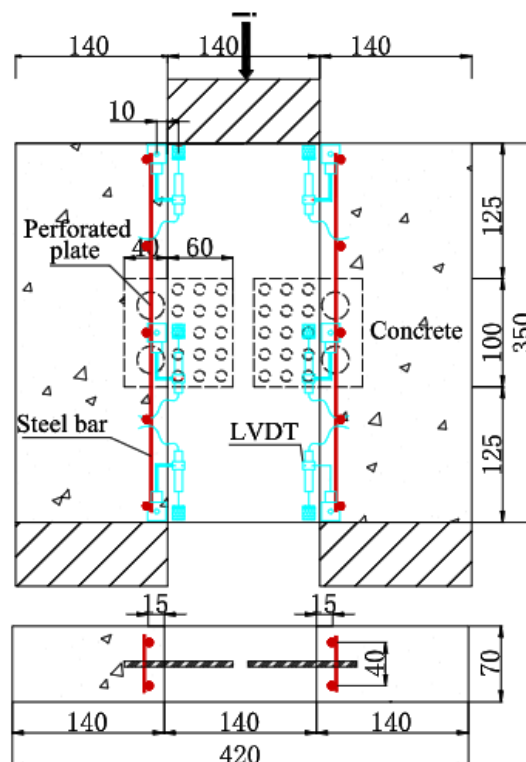
Límite y el módulo elástico de las placas de acero= 253,4 MPa y 197,8 GPa.

Límite y módulo elásticos de las barras de acero de 6 mm utilizadas como refuerzo constructivo para las probetas = 550,5 MPa y 171,9 GPa.

### Conectores de corte

Se diseñaron tres probetas de conectores de corte con los mismos parámetros. Las muestras se designan como P1, P2 y P3. Los ejemplares constan de un bloque de bambú (140 × 350 × 70 mm) y dos bloques de hormigón (140 × 350 × 70 mm), como se muestra en la siguiente figura.

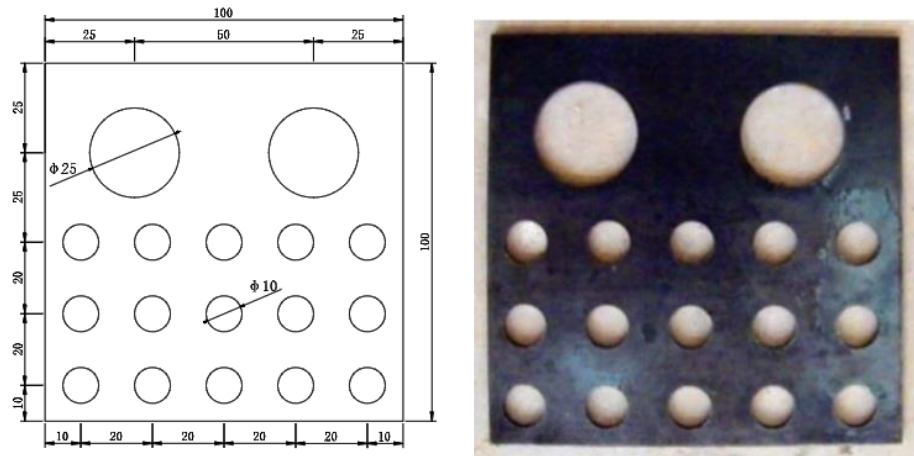
Figura 24. Conectores de corte



Fuente. [2]

El tamaño de la placa de acero perforada era 100 × 100 × 2 mm (Fig. 1 B)

Figura 25. Placa de acero perforada



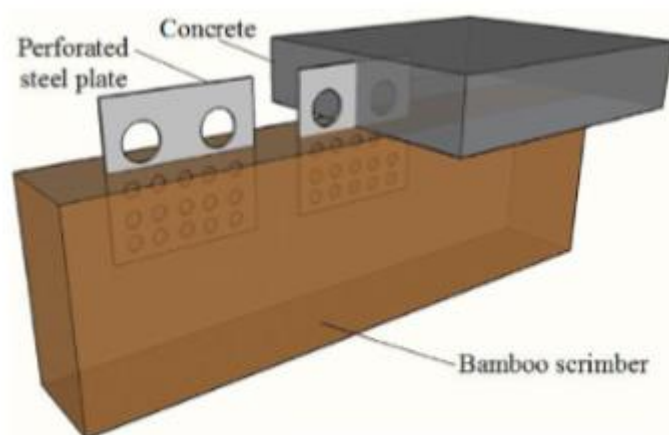
Fuente. [2]

En la prueba se utilizó una máquina de ensayo electrohidráulica con una fuerza de carga máxima de 3000 kN. Se procedió a cargar la muestra con una velocidad de carga de 1 mm / min, que se cambió a 0.5 mm / min cuando se acercaba a la falla hasta que la muestra falló. El deslizamiento de la interfaz se midió mediante dos métodos: el primer método utilizó un transductor de desplazamiento lineal variable (LVDT). El segundo método utilizó la correlación de imágenes digitales (DIC).

Vigas compuestas

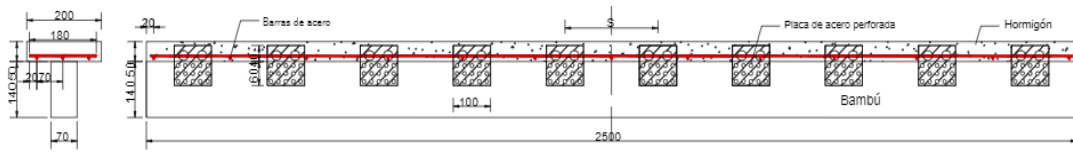
La forma de la sección de las vigas mixtas fue en forma de T, con bambú en la parte inferior y hormigón en la parte superior. El tamaño de las vigas de bambú era de 70 x 140 x 2500 mm, y el tamaño del hormigón era 200 x 50 x 2500 mm (Fig.232)

Figura 26. Placa de acero perforada.



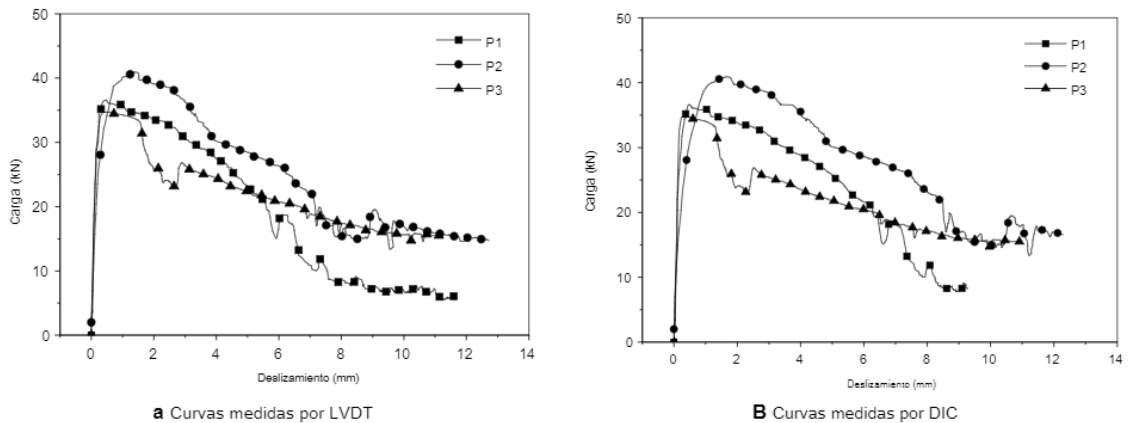
Fuente. [2]

Figura 27. Diagrama esquemático



Fuente. [2]

Figura 28. Curvas carga-deslizamiento.



Fuente. [2]

La curva de carga-deslizamiento de los conectores de corte de bambú-hormigón se puede dividir en tres etapas: la etapa elástica, la etapa elástica-plástica y la etapa descendente. La capacidad de carga de los conectores de placa de acero perforada es relativamente estable y tiene una excelente capacidad de deformación por deslizamiento.

### Resultados vigas compuestas

Cuando se cargó a 80 kN, la fibra de bambú en el medio y el fondo de la viga de bambú se rompió repentinamente en un área grande y fue difícil hacer un uso completo de la resistencia del concreto debido a la fractura del bambú o la falla previa de los conectores. Capacidad de carga última promedio de los conectores de corte = 37.43 kN.

En la siguiente tabla se resumen los parámetros que se determinaron experimentalmente en los ensayos en 3 especímenes

Tabla 12. Resultados del análisis numérico de las vigas mixtas

Especimenes	Parámetros	Límite de capacidad de servicio Expreear	Estado límite último	Fallo crítico	Unidad
BP100	$K$	196,675	171,45	145,25	kN / mm
	$\gamma_e$	0,80	0,78	0,75	-
	$Z_e$	54,19	53,52	52,61	mm
	$Z_c$	40,81	41,48	42,38	mm
BP150	$(EI)_{\text{ef}}$	$1,22 \times 10^9$	$1,20 \times 10^9$	$1,19 \times 10^9$	kN mm <sup>2</sup>
	$\gamma_e$	0,73	0,70	0,67	-
	$Z_e$	51,99	51,07	49,84	mm
	$Z_c$	43,01	43,93	45,16	mm
BP200	$(EI)_{\text{ef}}$	$1,18 \times 10^9$	$1,16 \times 10^9$	$1,14 \times 10^9$	kN mm <sup>2</sup>
	$\gamma_e$	0,67	0,64	0,60	-
	$Z_e$	49,96	48,84	47,34	mm
	$Z_c$	45,04	46,16	47,66	mm
	$(EI)_{\text{ef}}$	$1,15 \times 10^9$	$1,13 \times 10^9$	$1,10 \times 10^9$	kN mm <sup>2</sup>

Fuente. [2]

## Análisis de resultados

- Para los conectores de corte de bambú-concreto con una placa de acero perforada, se produce una falla entre la placa de acero perforada y el concreto, y no hay daños evidentes entre la placa de acero perforada y el bambú. Las probetas pueden soportar una carga elevada y sufrir una gran deformación plástica, por lo que el modo de fallo es un fallo moderado.
- Los modos de falla de las vigas compuestas se pueden resumir en dos tipos. En el primer tipo, la viga de bambú se rompe en el fondo y la dosis de hormigón no sufre daños importantes; en el segundo tipo, la superficie superior del hormigón presenta primero grietas longitudinales y, finalmente, la viga de bambú se rompe.
- En comparación con las vigas de bambú, la carga última de las vigas compuestas aumenta entre 1,2 y 1,5 veces, la rigidez de la sección de las vigas compuestas aumenta en 2.9–4.2 veces, y las deflexiones a medio tramo de vigas compuestas bajo diversas cargas se reducen significativamente. La rigidez de las probetas de vigas compuestas disminuye gradualmente con el aumento del espacio entre centros de las placas de acero perforadas.

### Análisis y/o aporte de los autores del trabajo de grado

La conexión que se desarrolló para este tipo de estructura presenta unas buenas características mecánicas su falla es moderada y se considera se puede predecir más precisamente mejorando el modelo teórico, esto a través de más ensayos variando la distancia entre conectores, que se evidencio, influye drásticamente en el modo de falla y en el aporte que realiza el hormigón, el cual no puede aportar toda su resistencia debido a que la conexión falla primero. En cuanto al desplazamiento se considera que la conexión tiene un buen desempeño y funciona de manera armoniosa con la configuración de viga mixta que se propuso.

Esta conexión es efectiva y empieza a hacer aproximaciones en los valores teóricos con los experimentales lo cual es ideal para contribuir con futuras

investigaciones las cuales logren crear modelos confiables en el momento de seleccionar que tipo de conexión es más apropiada dependiendo de la estructura en la cual se desee implementar.

### **Conexión atornillada para viga de bambu en forma de I sometida a flexión**

**Tipo de conexión:** Conexión atornillada con ángulos de acero

**Tipo de guadua:** Bambú (EBP)

**Uso:** Vigas L

#### **Materiales**

Las bridas superior e inferior y el alma de la viga en forma de I eran placas de bambú laminadas de Guadua Angustifolia. Las placas para ambas bridas tenían 2440 mm de largo, 200 mm de ancho y 15 mm de espesor. La placa para la banda tenía 2440 mm de largo, 270 mm de ancho y 15 mm de espesor. El bambú laminado tenía dos direcciones principales del material: paralela a la veta y perpendicular a la veta. Debido a estas alineaciones, el bambú se clasifica como material anisotrópico. La resistencia a la tracción paralela al grano fue de 90 MPa y la resistencia a la compresión paralela al grano fue de 77 MPa.

#### **Conexión**

El ángulo de conexión era de acero de grado A36, con una resistencia a la tracción de 250 MPa. Las dimensiones del ángulo de conexión variaron con la configuración del perno. El grado de acero para los pernos de conexión fue de 5,8, con un límite elástico nominal de 380 MPa y una resistencia a la tracción de 520 MPa. El diámetro nominal del perno de conexión fue de 10 mm.

Se examinaron tres vigas con tres configuraciones de pernos diferentes. Las vigas compuestas en forma de I se probaron como vigas simplemente apoyadas. Las vigas tenían 2,44 m de largo, 0,2 m de ancho y 0,3 m de profundidad. Los componentes de la viga en forma de I se conectaron con ángulos de acero y pernos mecánicos; la ubicación de los pernos varió de la siguiente manera:

**Haz 1:** Viga atornillada en cada soporte. Ángulo de acero solo en los tornillos.

**Haz 2:** Viga atornillada en cada soporte y en cuartos a lo largo de todo el tramo de la viga. Ángulo de acero sólo en los tornillos.

**Haz 3:** Viga atornillada en cada soporte y cada 30,5 cm en todo el tramo de la viga. Ángulo de acero a lo largo de todo el tramo de la viga.

#### **Condiciones de la prueba**

Se utilizó un método de carga concentrada de cuatro puntos para cada haz de prueba. La carga concentrada fue de 30 kN. La viga fue simplemente apoyada. Para evaluar las tres configuraciones diferentes de pernos, se identificaron y compararon áreas de alta concentración de esfuerzos y deformaciones totales de la viga.

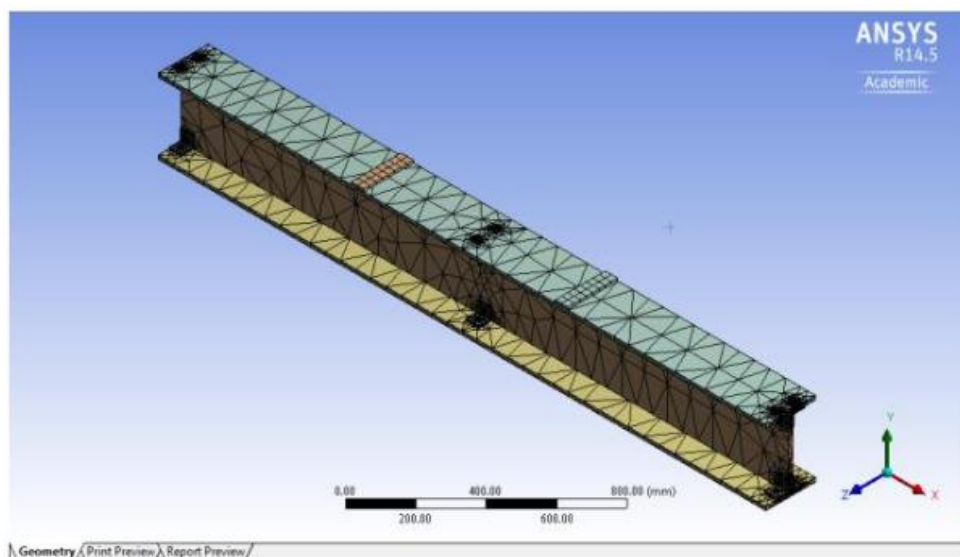
Se procedió a construir el modelo computacional de Modelo de Elementos Finitos (FEM) ingresando como datos de entrada las propiedades mecánicas que se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 13. Propiedades mecánicas de la guadua

Propiedad	Valor (MPa)
Módulo de elasticidad $mi_L$	32,271
Módulo de elasticidad $mi_{Ry}$ y $mi_T$	361
Módulo de Poisson $LT$	0,25
Módulo de Poisson $LR$	0,25
Módulo de Poisson $RT$	0.013
Módulo de elasticidad cortante $GRAMO_{RL}$ y $GRAMO_{LT}$	1366
Módulo de elasticidad cortante $GRAMO_{RT}$	178

Fuente. [20]

Figura 29. FEM de bambú de guadua encolado laminado

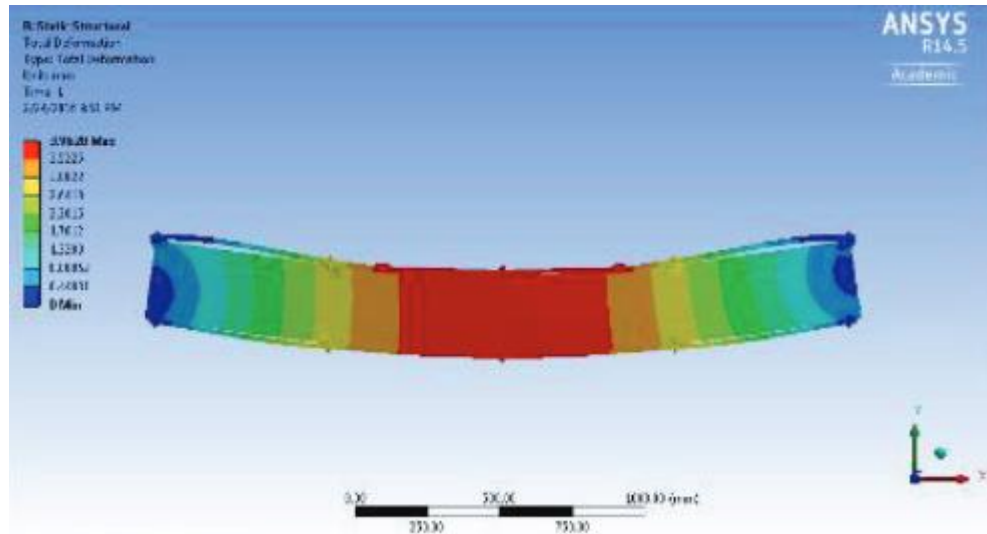


Nota. Tomado de [20]

- a. Primero se determinó la deflexión máxima de la viga

Figura 30. Deflexión máxima en la viga

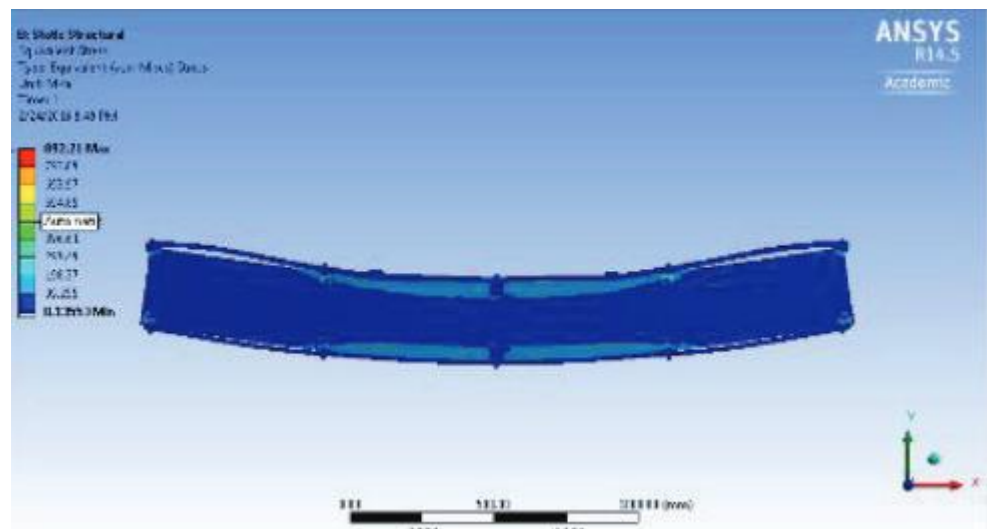




Fuente. [20]

- b. luego se identificaron las concentraciones de tensión en la viga

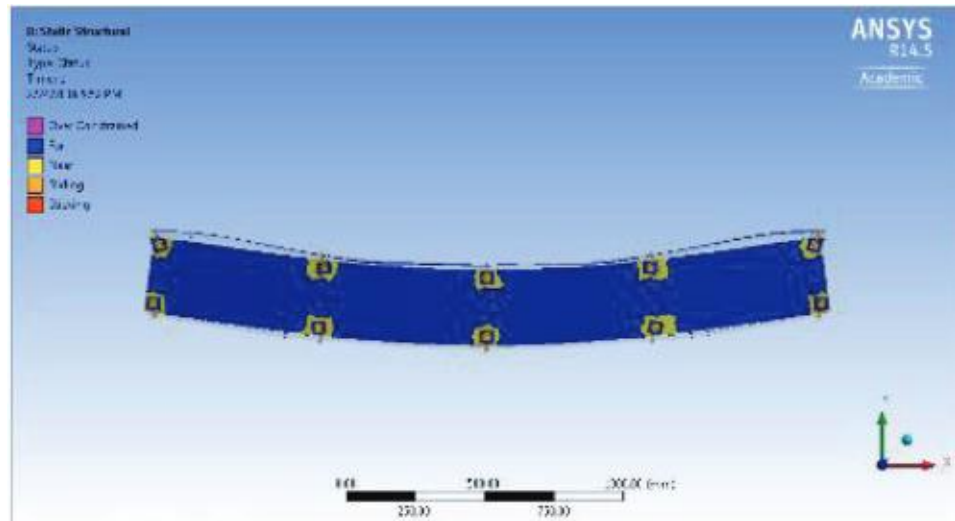
Figura 31. Concentraciones de tensión en la viga



Fuente, [20]

- c. El tercer análisis se basó en las regiones de contacto de fricción presentes entre el ángulo de acero, los tornillos y el bambú.

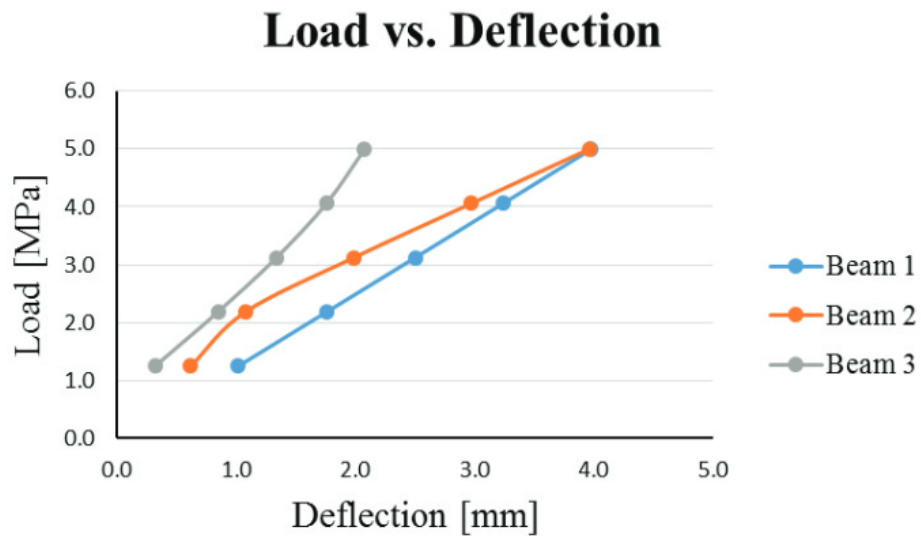
Figura 32. Fricción ángulo de acero



Fuente. [20]

En la siguiente gráfica se compara la carga frente a la deflexión para las tres diferentes configuraciones de vigas.

Grafica 5. Carga Vs deflexión



Fuente, [20]

Basados en la gráfica se puede observar que la viga 3 se desvió considerablemente menos que las otras dos vigas debido a su mayor número de pernos y la presencia del ángulo de acero a lo largo de todo el tramo de la viga. Las vigas 1 y 2 presentaron un comportamiento similar y presentaron la deflexión máxima en el centro de la luz.

La siguiente tabla tabula las concentraciones máximas de tensión para cada viga bajo carga.

Conclusiones

Tabla 14. Resumen de resultados

	Haz 1	Haz 2	Haz 3
Deflexión [mm]	3,98	3,96	2,08
Estrés [MPa]	178,23	153,52	49,73
Esfuerzo de fricción [MPa]	140,62	124,25	79,99
Distancia de deslizamiento [mm]	0,523	0,056	0,050
Penetración [mm]	0,014	0,017	0,040

*Fuente.* [20]

### **Análisis de resultados**

Para todas las vigas, se encontró que las tensiones máximas se ubicaron en los pernos y cerca de las conexiones. Las conexiones son una parte fundamental de la estructura. Las conexiones atornilladas pueden provocar fallas por rotura del material. La viga 1 tuvo la mayor concentración de esfuerzos debido al número limitado de conexiones atornilladas. Por el contrario, la viga 3 tuvo las concentraciones de tensión más bajas y la capacidad de flexión adicional. Los esfuerzos de fricción se distribuyeron entre los pernos, reduciendo el esfuerzo de fricción en los extremos de la viga, lo cual fue óptimo. Esto indicó que aumentar el número de pernos y proporcionar un ángulo de acero de forma continua a lo largo de todo el tramo de la viga sería una forma eficaz de producir una viga más rígida y resistente.

### **Análisis y/o aporte de los autores del trabajo de grado**

- Se puede observar que una viga de bambú compuesta en forma de I tiene el potencial de ser un elemento estructural en puentes o edificios. La optimización de la cantidad de recursos consumidos durante la construcción proporciona un gran avance en sostenibilidad.
- Al aumentar el número de pernos, la viga tendrá más resistencia a la deformación, permitiendo la separación de cuerpos sometidos a fuerzas de tracción y compresión.
- Al aumentar el número de conexiones atornilladas y agregar más acero se obtiene como resultado una viga más rígida, efectiva resistiendo las sollicitaciones de carga y mostrando un buen comportamiento en cuanto a la deflexión.

### **Conexiones para elementos estructurales de bambú-guadua para un proyecto de vivienda**

**Tipo de conexión:** Conexión de ángulos y láminas de platinas metálicas perforadas con pernos.

**Tipo de guadua:** Bambú (EBP)

**Uso:** Pórticos y riostras

Estudio experimental sobre las propiedades mecánicas de las conexiones de viga a columna de bambú laminado

**Tipo de conexión:** Ángulos tipo I, tipo T y tipo L

**Tipo de guadua:** Bambú (EBP)

**Uso:** Viga columna

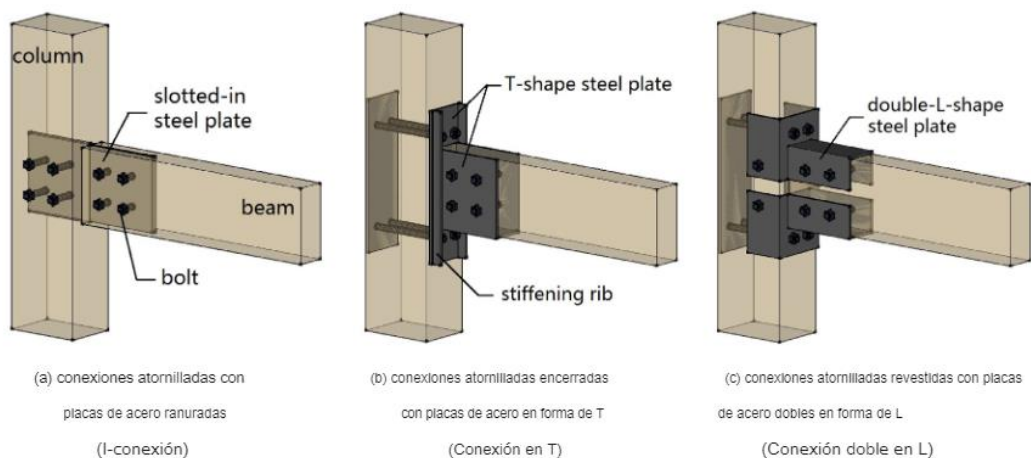
Se diseñaron tres tipos de conexiones de viga a columna:

(a) una conexión atornillada convencional con una placa de acero ranurada.

(b) una conexión de placa de extremo extendida en forma de T con placas laterales que limitan la viga.

(c) una conexión de soporte de extremo en forma de L que confina parcialmente tanto la viga como la columna.

Figura 33 .Tipos de conexiones de viga a columna.



Fuente. [21]

Se determinaron las propiedades mecánicas de estos tres tipos de conexiones destinadas a pórticos de bambú laminado

Dimensiones de los miembros utilizados en la prueba:

Todos los miembros de la viga tenían una sección transversal de 100 x 250 mm y una longitud de 900 mm, y los miembros de la columna tenían una sección transversal de 180 x 250 mm y una longitud de 1000 mm.

Propiedades de los elementos utilizados para la conexión

Patrones de pernos que consisten en (a) cuatro pernos de 18 mm que tienen un patrón de 100 x 100 mm; o (b) seis pernos de 14 mm en un patrón de

100 × 70 mm. Todos los pernos hexagonales de bajo contenido de carbono eran pernos de grado 8.8. Se utilizaron para todas las muestras una resistencia a la tracción de 800 MPa y una resistencia a la fluencia de 640 MPa. Las placas de acero ranuradas tenían un espesor de 9,9 mm, con un límite elástico probado de 273 MPa y una resistencia a la rotura de 402 MPa. Las placas de acero exteriores en las conexiones en T y doble L fueron 7,5 mm de espesor, con límite elástico determinado experimentalmente de 297 MPa y límite de rotura de 427 MPa

Tabla 15. Propiedades de los materiales

Parámetro	Densidad / kg / m <sup>3</sup>	Contenido de humedad / %	compresión paralela al grano fuerza / MPa	tenación paralela a la fibra fuerza / MPa	fi fuerza exural / MPa	fi módulo exural de elasticidad / MPa
Resultado de la prueba 669		7,4	67,4	105,0	128,6	13.180

Fuente. [21]

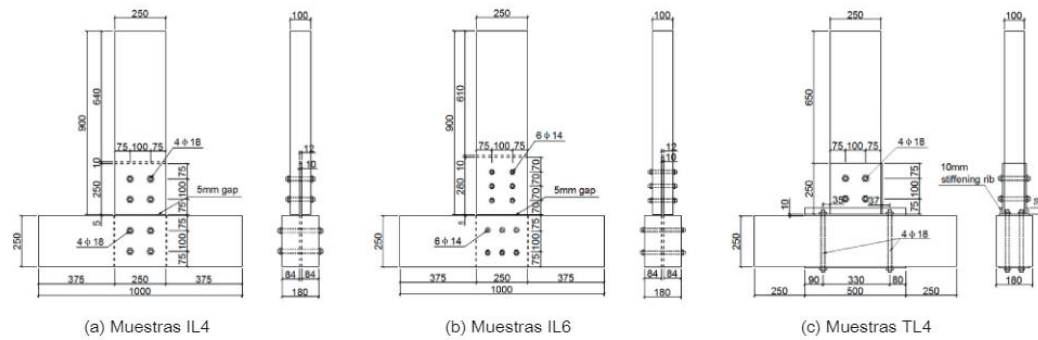
Se realizaron Trece muestras en total, seis conexiones en I, seis conexiones en T y una conexión en L doble, se diseñaron como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 16. Especímenes de prueba

Muestra	Esencia	Disposición de pernos			Cargando	Δ <sub>max</sub>
		Diámetro (mm)	Número	Espaciado (mm)		
IL4-M	placa ranurada	18	2 × 2	100 × 100	monótono	-
IL4-C-1		18	2 × 2	100 × 100	cíclico	93,5
IL4-C-2		18	2 × 2	100 × 100	cíclico	93,5
IL6-M	Conexión de placa de extremo extendida con placas laterales de viga en forma de T	14	2 × 3	100 × 70	monótono	-
IL6-C		14	2 × 3	100 × 70	cíclico	115
IL4V-M		18	2 × 2	100 × 100	monótono	-
TL4-M		18	2 × 2	100 × 100	monótono	-
TL4-C-1		18	2 × 2	100 × 100	cíclico	63,4
TL4-C-2		18	2 × 2	100 × 100	cíclico	63,4
TL6-M	Soportes de extremo en forma de L	14	2 × 3	100 × 70	monótono	-
TL6-C		14	2 × 3	100 × 70	cíclico	38,3
TL4V-M		18	2 × 2	100 × 100	monótono	-
LL4-M		18	2 × 2	100 × 100	monótono	-

Fuente. [21]

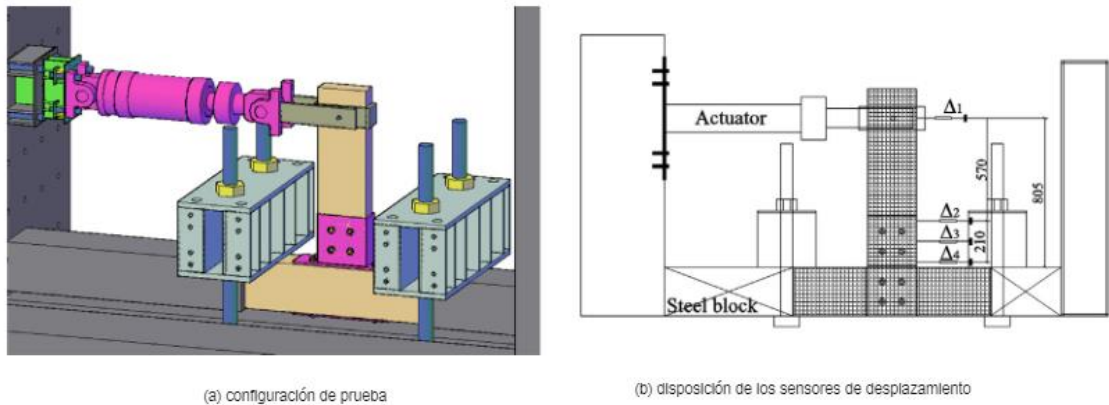
Figura 34. Detalles de la fabricación



Fuente. [21]

Se realizó el montaje con la siguiente configuración para cada una de las muestras

Figura 34. Configuración de la prueba



Fuente. [21]

## Resultados

### Pruebas monotónicas

Tabla 17. Resultados de prueba de las muestras bajo cargas monótonas.

Muestra	$K_{ni}$ (kN · metro · °) - 1)	$K_{rag}$ (kN · metro · °) - 1)	METRO <sub>y</sub> (kN · metro)	METRO <sub>max</sub> (kN · metro)	METRO <sub>r</sub> (kN · metro)	$\theta_y$ (°)	$\theta_{max}$ (°)	$\theta_r$ (°)	$\mu$
IL4-M	4,39	4,90	22,2	24,6	19,7	5,98	6,59	6,60	1,10
IL6-M	2,65	4,76	25,1	25,2	20,2	8,56	8,59	8,65	1,01
IL4V-M	4,81	4,76	25,3	28,9	23,1	7,34	8,60	9,66	1,32
TL4-M	12,23	10,82	38,8	44,1	35,3	3,29	4,04	4,22	1,28
TL6-M	12,58	15,34	33,6	37,0	29,6	2,50	2,91	3,02	1,21
TL4V-M	12,56	10,29	38,0	43,7	35,0	3,20	4,35	4,49	1,40
LL4-M	10,60	7,33	35,1	39,3	31,4	3,30	4,38	4,34	1,32

Fuente. [21]

### Modos de falla (7 especímenes sometidos a cargas monótonas)

La falla fue causada principalmente por partición paralela del grano que se inicia en el perno en el lado de tracción del miembro de la viga, excepto para las muestras IL4V-M y TL4V-M. Para las muestras IL4M e IL6-M, se produjo una división paralela al grano en los momentos de aplicación de 24,6 kN · m y 25,2 kN · m, con ángulos de rotación correspondientes de 6,6 ° y 8,6 °, respectivamente. Las grietas divididas se extendieron rápidamente a lo largo de la viga disminuyendo la capacidad de momento.

Para el espécimen IL4V-M, que incluía una región reforzada con laminado cruzado en la conexión de la viga, la carga aplicada descendió levemente, acompañada de una leve emisión sonora, en un momento de 28,9 kN · m, correspondiente a un ángulo de rotación de 8,6 °. No se observó ninguna fisura y posteriormente la capacidad de carga se recuperó a 27,4 kN · m. A medida que se recuperó la capacidad, los sonidos de fractura se hicieron frecuentes y apareció una grieta entre el perno en el lado de tracción de la viga que se extendía hacia la cara de la columna (hacia abajo). Finalmente, la capacidad disminuyó gradualmente, debido a la delaminación entre las láminas contra laminadas.

Para las muestras TL4-M y TL6-M, se observó falla debido a la división paralela al grano alrededor del perno en momentos de rotación de 44.1 kN · m y 37.0 kN · m, y ángulos de rotación correspondientes de 4.0 ° y 2,9 °, respectivamente.

En la muestra TL4V-M, que incluía una región reforzada con laminado cruzado en la conexión de la viga, se produjo una falla debido a la delaminación entre las láminas con laminado cruzado; no se observó ninguna grieta alrededor de la región atornillada.

En la muestra LL4-M, la capacidad disminuyó menos del 20% desde un pico inicial a 35,7 kN · m, correspondiente a un ángulo de rotación de 3,5 °.

Las fallas de las conexiones sometidas a cargas monótonas se muestran en la siguiente figura

Figura 35. Modos de falla de las conexiones bajo cargas monótonas



Fuente. [21]

Tabla 18. Resultados de especímenes sujetos a cargas cíclicas inversas

Muestra	Dirección	$k_{ax}$ (kN + metro * (°)-1)	$k_{ay}$ (kN + metro * (°)-1)	METRO <sub>y</sub> (kN + metro)	METRO <sub>ax</sub> (kN + metro)	METRO <sub>ay</sub> (kN + metro)	$\theta_y$ (°)	$\theta_{ax}$ (°)	$\theta_{ay}$ (°)	$\mu$
IL4-C-1	empujar (+)	4,34	4,53	21,0	23,4	18,7	5,78	6,34	8,27	1,43
	jalar (-)	4,78	5,67	-20,5	-22,7	-18,2	-5,63	-6,17	-7,61	1,35
IL4-C-2	empujar	4,25	5,09	20,6	22,4	17,9	5,71	6,05	7,78	1,36
	jalar	4,66	6,89	-22,2	-23,0	-18,4	-6,11	-6,23	-6,50	1,06
IL6-C	empujar	2,54	5,52	20,8	20,8	16,7	7,33	7,35	9,50	1,30
	jalar	3,71	6,23	-25,9	-26,0	-20,8	-6,46	-6,47	-8,09	1,25
TL4-C-1	empujar	15,14	9,52	37,5	44,4	35,5	3,01	3,85	4,16	1,38
	jalar	11,57	13,07	-38,1	-41,4	-33,1	-3,01	-3,50	-3,51	1,17
TL4-C-2	empujar	11,62	11,28	32,9	35,7	28,6	2,74	2,92	5,17	1,89
	jalar	10,88	10,43	-32,0	-36,0	-28,8	-2,88	-3,34	-3,87	1,34
TL6-C	empujar	16,64	10,57	36,0	42,8	34,2	2,50	4,34	4,68	1,83
	jalar	14,68	14,85	-47,3	-53,0	-42,4	-3,14	-3,93	-4,61	1,47

Fuente. [21]

### Modos de falla (seis especímenes sujetos a cargas cíclicas inversas)

En este caso la falla se debió a la división en paralelo al grano a lo largo de las secciones de los pernos. Dado que la carga se aplicó en ambas direcciones (empujar y tirar), se produjo una división a lo largo de ambas filas de los pernos como se puede apreciar en la siguiente figura.



Figura 36. Métodos de falla.



Fuente. [21]

### Conclusiones

- Basado en los resultados de la prueba monótona, excepto para las conexiones teniendo láminas contra laminadas en su región de conexión, la falla fue causada por la división en paralelo al grano que se inició en la línea de pernos; este es un modo de falla frágil.
- En las muestras monotónicas que tienen láminas cruzadas, las láminas estratificadas incluidas en la región de conexión, la división se mitigó eficazmente y se produjo el fallo debido a la delaminación entre las láminas contra laminadas.
- En cualquier caso, las conexiones en I mostraron una deformación de deslizamiento inicial, la capacidad de carga era menor que las conexiones en T y las conexiones en L. Al incrementar el tamaño de las conexiones mejora el coeficiente de ductilidad y se evidencia un mejor comportamiento de la conexión.
- Basado en los resultados de la prueba cíclica invertida, la falla predominante en las conexiones I y T bajo cargas cíclicas se debían a la división. Con la misma amplitud de desplazamiento, la capacidad de disipación de energía de las conexiones en T era mayor que la de las conexiones tipo I.

### Análisis y/o aporte de los autores del trabajo de grado

- Conociendo que las conexiones en tipo I y T presentan un buen comportamiento con respecto a las cargas impuestas, sus desplazamientos son relativamente pequeños; estas pueden ser implementadas en estructuras como casas o edificios. Para mejorar este tipo de conexión se debe establecer cuál es la configuración de pernos más optima con el fin de evitar que la falla inicie en esta línea de pernos; esto se puede determinar mediante pruebas que logren establecer el tipo de pernos y la configuración más adecuada.

### Conexión para ensamblar estructuras ligeras de lamas de bambú

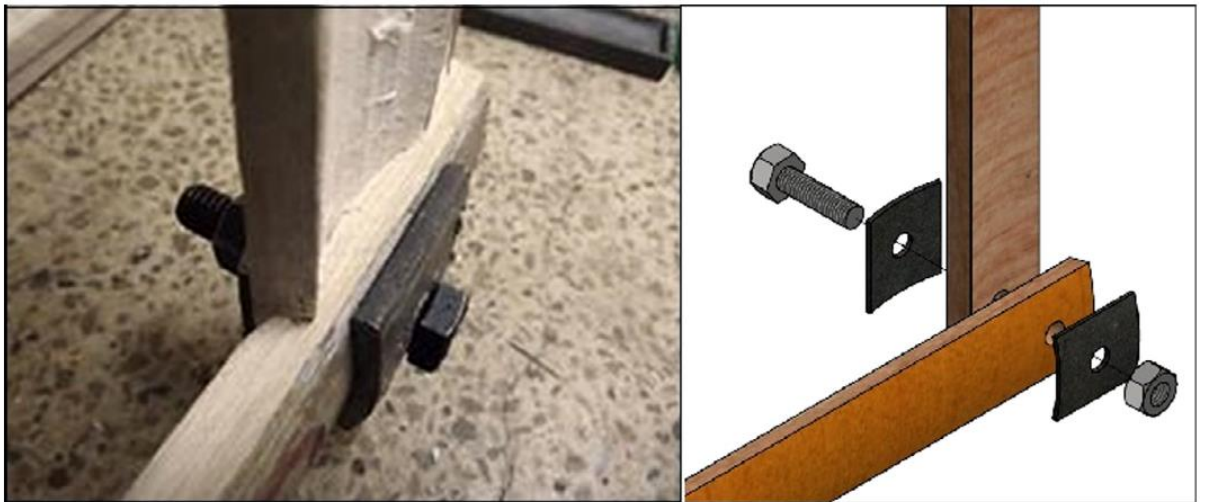
**Tipo de conexión:** Platinas de metal perforadas

**Tipo de guadua:** Bambú natural (listones de Guadua angustifolia).

**Uso:** Conexión de listones de GA para la conformación de cerchas

Se pone a prueba un nuevo tipo de conexión la cual pretende conectar dos listones GA mediante el uso de dos pequeñas placas de acero curvas, un perno y una tuerca. Para esto se desarrollan y prueban dos prototipos de cercha.

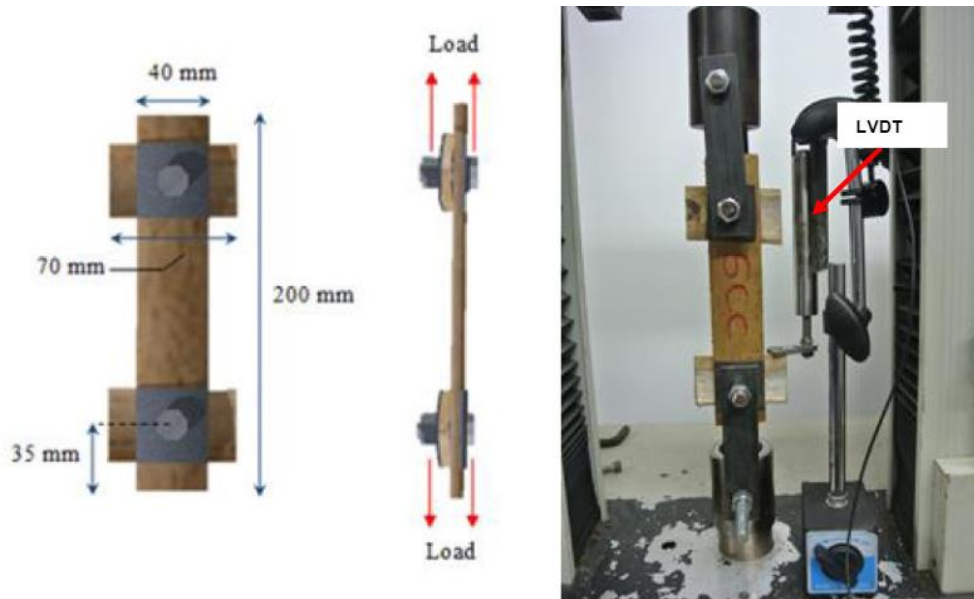
Figura 37. Propuesta de unión de dos lamas orientadas a 90 °.



Fuente. [22]

A continuación, se muestra la Configuración utilizada para probar la junta y el montaje experimental.

Figura 38. Montaje experimental.

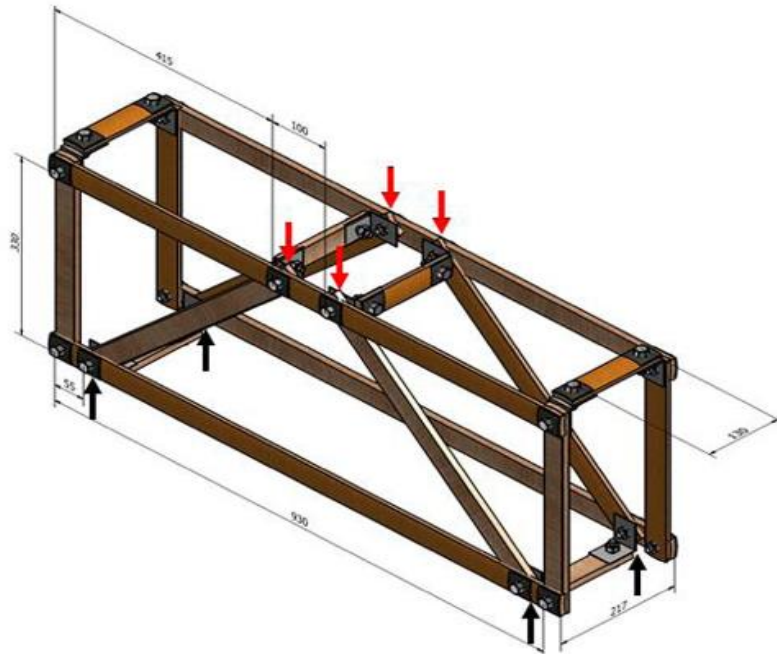


Fuente. [22]

### Prototipo I

El primer prototipo de 0,93 m de longitud estaba formado por dos cerchas planas paralelas, cada una compuesta por seis listones: dos que forman los cordones superior e inferior, dos diagonales y dos verticales. elementos en los extremos. Transversalmente, estas dos cerchas planas estaban conectadas por seis listones de aproximadamente 0,13 m de longitud. Pequeños ángulos utilizaron 25,4 mm 25,4 mm para realizar la conexión entre las cerchas planas y los elementos transversales. Los listones se cortaron con un ancho nominal de 40 mm y el espesor medio fue de 10,3 mm (SD 3,2 mm). La prueba se realizó utilizando una máquina de prueba universal ZD.

Figura 39. Croquis del primer prototipo ensamblado con la junta propuesta.

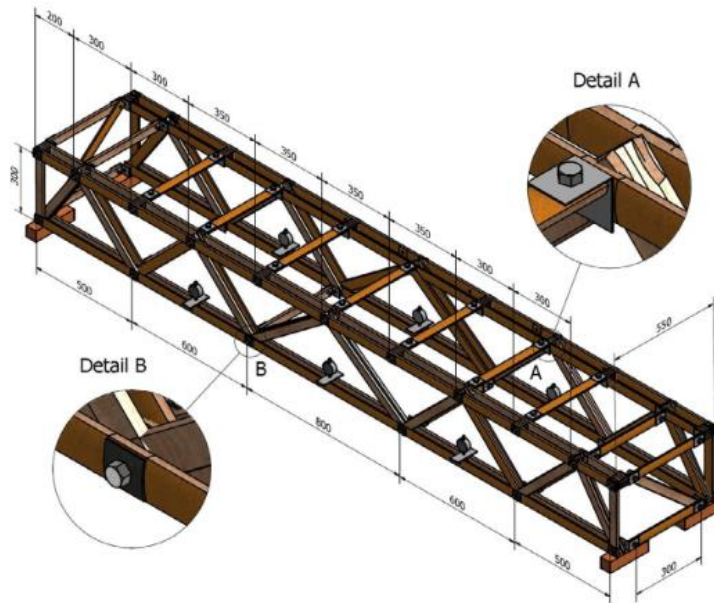


Fuente. [22]

### Prototipo II

El segundo prototipo estaba destinado a reproducir configuraciones similares a los necesarios en aplicaciones del mundo real, por ejemplo, para proporcionar soporte para pisos o techos de casas. También estaba compuesto por dos cerchas planas que estaban conectadas transversalmente por elementos de una sola lama y ángulos de acero. La longitud del prototipo era de unos 3 m y el grosor medio de las lamas era de 8,6 mm (SD 1,3 mm). Para evitar fallas de pandeo, se utilizaron tres lamas para el cordón superior y dos lamas para las diagonales a compresión. También se utilizaron elementos de dos lamas para el cordón inferior. Para garantizar la integridad de los elementos de lamas múltiples, se unieron en posiciones intermedias mediante tornillos, tuercas y arandelas. Las conexiones céntricas en las juntas se lograron utilizando configuraciones como las que se muestran en los detalles A y B de la siguiente Figura. El peso total de este prototipo fue de 310 N.

Figura 40. Croquis segundo prototipo



Fuente. [22]

Figura 41. Segundo prototipo sometido a una carga distribuida de 12,017N



Fuente. [22]

Se desarrollaron modelos teóricos utilizando el programa ABAQUS donde se obtuvieron los siguientes valores teóricos:

Fuerzas máximas= 5052 N (SD 0 N) y 6769 N (SD 1010 N)

Esfuerzos cortantes máximos= 9,96 MPa (SD 1,24 MPa) y 8,54 MPa (SD 1,06 MPa)

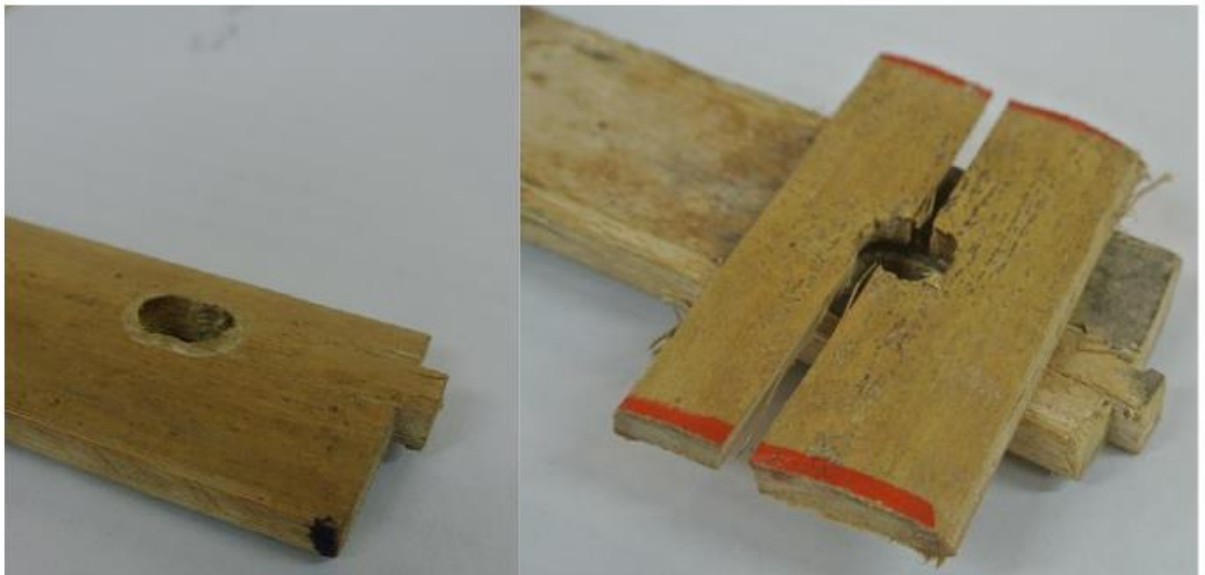
Rigidez promedio = 2810 N / mm (SD 1320 N / mm) y 1498 N / mm (SD 509 N / mm)

## Resultados

### *Prototipo I*

Ninguna de las muestras con compresión radial (RC) falló a la carga máxima de 5052 N (515 kg) aplicada en la máquina Instron, mientras que todas aquellas sin compresión radial (NC) fallaron por cizallamiento. Dado que este tipo de falla se observó en todas las juntas, se calculó un esfuerzo cortante medio como la fuerza máxima sobre el área de corte, que es igual a dos veces el espesor multiplicado por 35 mm.

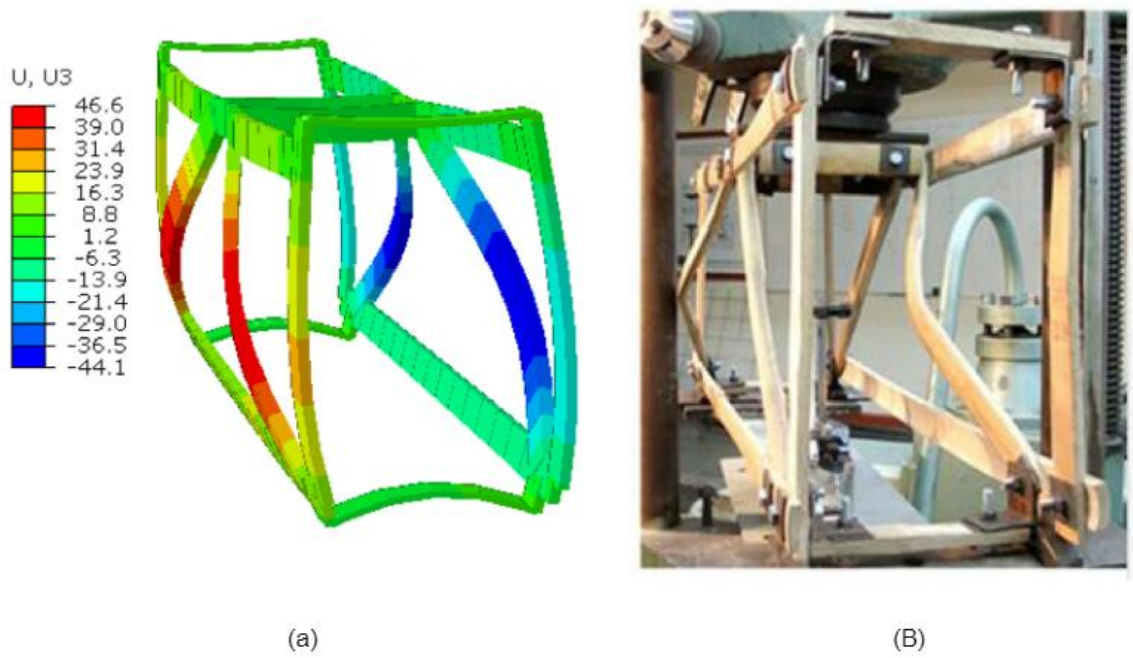
Figura 42. Fallas de corte típicas.



Fuente. [22]

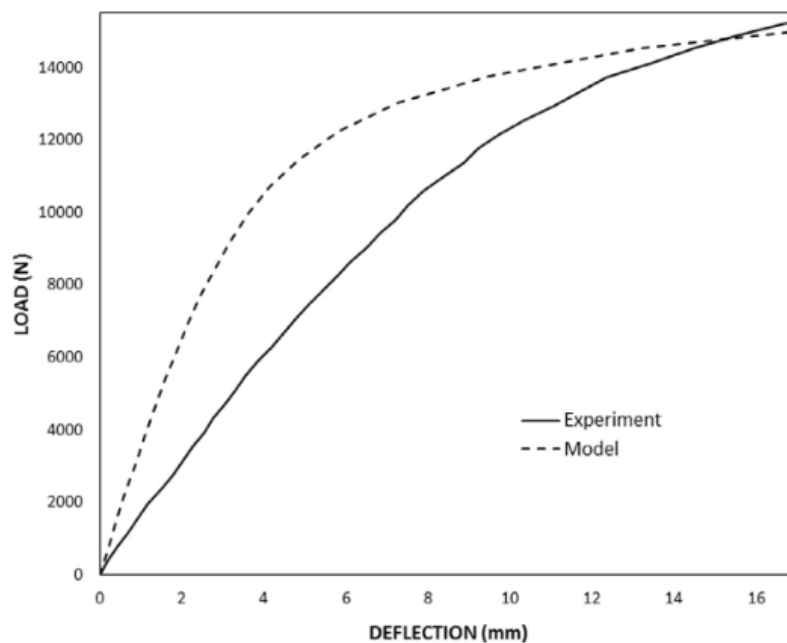
La falla del primer prototipo se dio a una carga de 15.500 N se debió al pandeo de los elementos diagonales, al que siguió la ruptura de uno de ellos. Se observó la integridad total de las juntas durante toda la prueba. Para este prototipo, el modelo arrojó una predicción relativamente buena de la carga de pandeo, pero predijo la rigidez inicial utilizando un módulo de Young de 5900 MPa. El modo de pandeo fue similar al encontrado experimentalmente. La carga de pandeo en una diagonal fue igual a 3341 N, calculada al nivel de fuerza (9000 N) donde la pendiente experimental comienza a cambiar. Considerando esta fuerza y la fórmula de Euler para carga crítica, el factor de longitud efectiva de la columna es igual a 0.67, lo que indica que la junta proporciona un buen grado de restricción al final del elemento.

Figura 43. Modelo teórico vs falla real del prototipo



Fuente. [22]

Grafica 6. Curvas de fuerza-deflexión experimentales y teóricas para el primer prototipo



Fuente. [22]

## Prototipo II

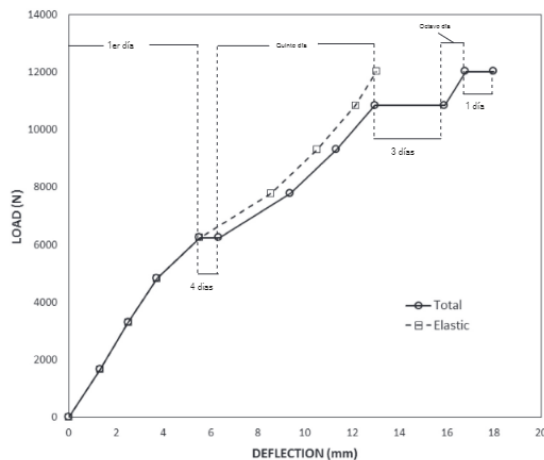
Para el segundo prototipo la curva fuerza-deflexión mostró incrementos de desplazamiento para los períodos de carga constante. Cuando estos desplazamientos se restaron del total para calcular los desplazamientos instantáneos o elásticos Usando el módulo de Young de 5900 MPa, el modelo de celosía plana de este prototipo predijo un desplazamiento vertical máximo de 12,0 mm, que es aproximadamente el 94% del desplazamiento elástico experimental de 12,7 mm medido en el centro. A la carga máxima, el esfuerzo cortante en el apoyo en la lama del cordón inferior fue igual a 1.83 MPa, que es aproximadamente cinco veces menor que el cortante máximo (9.96, 8.54 MPa) obtenido en los experimentos de la junta realizados en este estudio.

Tabla 19. Incrementos de carga II prototipo

Día	Incremento de carga (N)	Carga total (N)
1	1658	1658
1	1648	3306
1	1530	4836
1	1413	6249
5	0.0	6249
5	1530	7779
5	1530	9310
5	1530	10,840
8	0.0	10,840
8	1177	12,017
9	0	12,017

Fuente. [22]

Grafica 7. Curvas fuerza-deflexión Prototipo II



i

Fuente. [22]



## Conclusiones

- Las predicciones del modelo experimental están sobre estimadas debido a que el prototipo fallo mucho antes de llegar a la carga máxima propuesta por el modelo. En cuanto al primer prototipo la curva fuerza-deflexión difiere de la experimental. Así que en conclusión se debe hacer un modelo mas aproximado a las condiciones reales para poder así tener mejores predicciones en cuanto al comportamiento de la conexión y de la estructura en sí.
- Claramente estos elementos livianos y esbeltos tienen una desventaja con respecto a otros tipos de material en cuanto a su tendencia a fallar por pandeo, pero esta desventaja puede superarse mediante el uso de múltiples culmos que brinden un mejor soporte lateral ante las cargas de compresión.
- Teniendo en cuenta las solicitaciones de carga para cubiertas ligeras y pesadas descritas en la NSR-10 son  $588.6 \text{ N / m}^2$  ( $60 \text{ kg / m}^2$ ) y  $1128,2 \text{ N / m}^2$  ( $115 \text{ kg / m}^2$ ), Para vigas separadas a 2 m estas cargas corresponden a  $1177,2 \text{ N / m}$  y  $2256,3 \text{ N / m}$ , que son el 29% y el 56% de la carga máxima ( $4002,5 \text{ N / m}$ ) que se aplicó al segundo prototipo. Lo que quiere decir que este tipo de estructura con este tipo de conexión se podría implementar sin ningún problema en cubiertas de casas cumpliendo con los desplazamientos máximos en vigas con luces aproximadas de 3m y en condiciones de seguridad en cuanto a cargas.

## Análisis y/o aporte de los autores del trabajo de grado

Este tipo de conexión se puede implementar en estructuras livianas; por ejemplo, en la cubierta de una casa con luces cortas entre apoyos. Para mejorar la resistencia se pueden utilizar varios culmos de guadua con el fin de que los elementos aporten un mejor comportamiento ante el pandeo. Se recomienda continuar con el estudio sometiendo los elementos a cargas impuestas en un largo plazo, esto con el fin de determinar los desplazamientos que se generen en periodos más prolongados y observar si continúa cumpliendo las solicitaciones descritas en diferentes códigos en el caso de Colombia la NSR-10.

## Sistema modular en guadua con conexiones metálicas de fácil armado para vivienda rural

**Tipo de conexión:** Conexión de perno de ojo cerrado enhebrado con cable de acero

**Tipo de guadua:** Guadua natural

**Uso:** Viga a columna

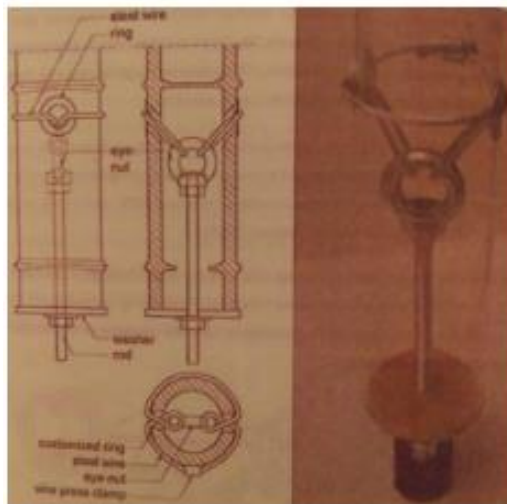
En este ensayo se usaron pernos de ojo de  $\frac{1}{2}$ " con ojo cerrado mediante soldadura, esto garantiza que no se abra frente a cargas de tensión, este perno fue enhebrado con cable de acero de diámetro  $\frac{1}{4}$ " y se utilizó la configuración de amarre ya propuesta por Widyowijatnoko (2012).

Figura 44. Cierre ojo perno



fuentes. [23]

Figura 45. Amarre propuesto por (Widyowijatnoko, 2012)



Fuente. [23]

Las conexiones estas compuestas por cables de acero amarrados mediante cuatro pernos, además se colocaron ojales metálicos en las perforaciones de la guadua para distribuir los esfuerzos en las paredes internas de la perforación.

Figura 46. Amarre nudo guadua.



Fuente. [23]

Para determinar las propiedades mecánicas de la conexión Se ensayaron 3 probetas con una longitud de 40 cm y con las siguientes características.

Tabla 20. Dimensiones de las probetas

Probeta	Nudo	Diámetro promedio (mm)	Espesor promedio (mm)	Carga ultima (kg)
1	A	91.7	14.5	2826.9
	B	92.9	13.5	
2	A	93.1	9.9	1133.0
	B	90.7	9.7	
3	A	90.4	15.2	3625.9
	B	91.7	21.2	

Fuente. [23]

Estas probetas fueron ensayadas a tensión, sujetando los pernos y separándolos a una velocidad de 5mm/min.

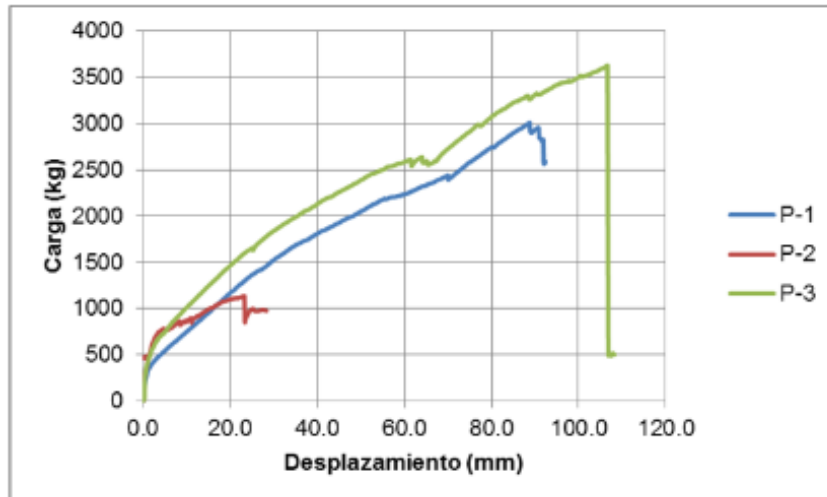
Figura 47. Probetas ensayo conexión sencilla



Fuente. [23]

Se realizó un análisis de Carga vs desplazamiento para los tres especímenes de prueba basándose en la siguiente gráfica.

Gráfica 8. Carga vs Desplazamiento



Fuente. [23]

Las tres probetas presentaron resultados distintos, pero presentan una pendiente similar. Se evidencia que al llegar a la carga máxima no sufren una rotura final, sino que recibe un poco de carga más allá del desplazamiento de rotura.

En las fallas de las probetas 1 y 2 se observa una falla tipo bloque de cortante como la que se presenta en las conexiones metálicas, lo que indica que el cable de acero realiza una presión sobre la pared superior de la perforación del culmo mientras en resto del cable lo estrangula.

La probeta número 3 presentó una falla por tensión paralela a las fibras del culmo, lo que la llevó a desarrollar mayor capacidad a la tensión (3625.9 kg).

### Observaciones

- La eficacia de la conexión con respecto a la resistencia que puede aportar está directamente relacionada al espesor y al diámetro del culmo.
- Los materiales que se utilizan para fabricar esta conexión son de fácil acceso singularmente en Colombia lo cual la puede convertir en una buena alternativa cuando se cuenten con recursos limitados y con guadua en su estado natural.

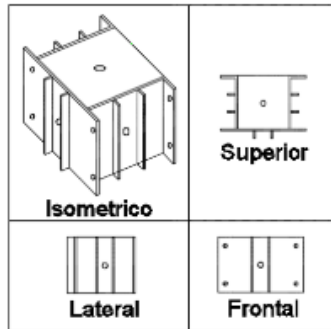
**Tipo de conexión:** Nudo metálico

**Tipo de guadua:** Guadua natural

**Uso:** Conexión para pórticos con arriostramiento

El nudo está compuesto con láminas planas de calidad ASTM- A572 Gr50 con espesor de 3/16”.

Figura 48. Esquema nudo metálico



Fuente. [23]

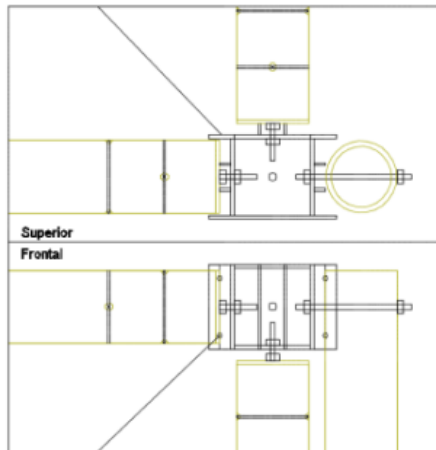
Figura 49. Fotografía nudo metálico



Fuente. [23]

Los elementos que llegan al nudo metálico son dos vigas, una columna y una diagonal. Se unirá entre ellos a través de pernos pasantes de 1/2”.

Figura 50. Detalle de la conexión



Fuente. [23]

La rigidez de cada pórtico se logra mediante cuatro tensores verticales en diagonal, estos tensores diagonales se ubicarán en la estructura con el mismo concepto de muros de mampostería, esto con el fin de evitar la torsión de la estructura y soportar las cargas horizontales, de igual manera la estructura tiene un diafragma rígido el cual se logra mediante tensores horizontales que unen las cuatro esquinas del módulo.

Tabla 21. Descripción de materiales

Material	Guadua	Cable de acero 6x19	Nudo metálico A572 Gr50
<b>Elemento</b>	Columnas y vigas	Tensores diagonales	Nudo metálico
<b>Dimensiones</b>	Diámetro externo 130 mm Espesor de paredes 10 mm	1/4"	Espesor: 3/16" Alto: 200 mm Ancho: 200 mm Fondo: 200 mm
<b>Módulo de elasticidad</b>	de	15183 Mpa	2400Kg 5000 kg

Fuente. [23]

Con los materiales mencionados anterior mente se procede a ensamblar el módulo y se obtiene el siguiente resultado

Figura 51. Módulo espacial de dos pisos.



Fuente. [23]

Se procedió a cargar la estructura en dos formas

1. Sobre la viga de guadua del segundo nivel
2. En la parte superior de la columna

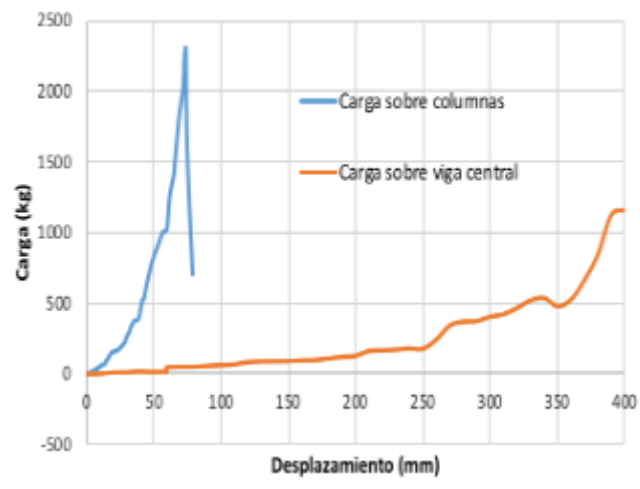
Tabla 22. Aplicación de carga y resultados

Modo de aplicación de carga	Carga Máxima (kg)	Desplazamiento máximo (mm)
Sobre viga de guadua segundo nivel	1162	400
Con elemento rígido de acero sobre parte superior columnas	2296	74

Fuente. [23]

A continuación, se presenta la curva Carga desplazamiento que es un parámetro fundamental para determinar cuándo se desea conocer el rendimiento de las conexiones.

Grafica 9. Carga Vs desplazamiento



Fuente. [23]

Se observa que los primeros desplazamientos son excesivos para una carga tan baja, esto debido a que la estructura al momento de recibir carga comienza a acomodarse, tanto los tensores como las conexiones viga nodo, por ello se observa un cambio de pendiente en la curva (carga – desplazamiento).

### Análisis y/o aporte de los autores del trabajo de grado

- Este tipo de conexión es fácil de implementar en estructura de 1 o 2 pisos, uniendo varios de estos módulos se puede construir fácilmente una vivienda con un buen comportamiento estructural.
- Es necesario desarrollar una forma eficiente de ajustar los cables de acero, con el fin de que estos no se reacomoden a medida que la estructura es cargada.
- Se recomienda utilizar elementos no estructurales ligeros con el fin de disminuir la masa y la estructura presente un mejor comportamiento con respecto a la carga sísmica.

### Conexión entre una columna y su fundación para guadua

**Tipo de conexión:** Conexión columna cimentación con pernos longitudinales, bandas metálicas y hormigón.

**Tipo de guadua:** Guadua natural GA

**Uso:** Conexión columna con zapata

El código NSR-10 estipula que toda construcción en Guadua. debe contar con uno de los sistemas estructurales descritos en el mismo reglamento (pórticos, muros, combinados y duales), pero también especifica que “todas las juntas de la estructura deben considerarse articuladas, y no hay transmisión de momentos



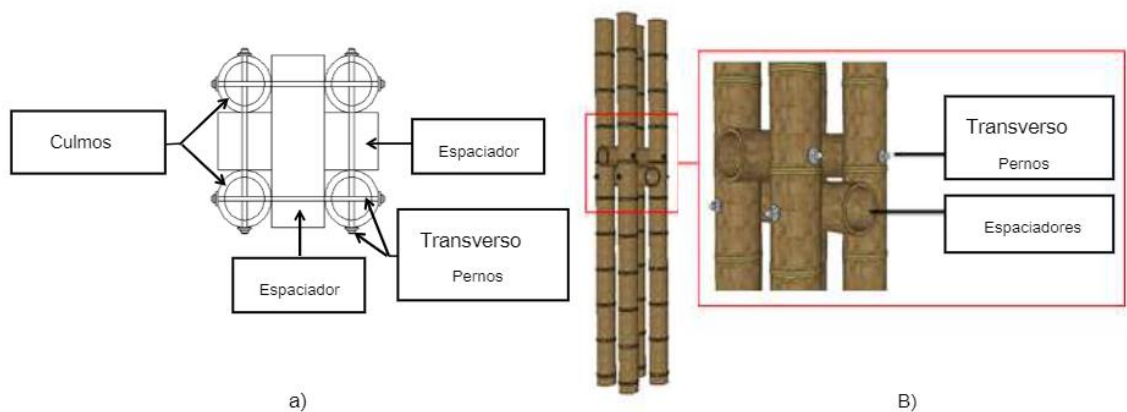
entre los diferentes elementos que forman una articulación. Por lo tanto, la unión de miembros estructurales debe considerarse como un pórtico no resistente a momentos, por lo tanto, es teóricamente inestable a cargas laterales.

La siguiente conexión pretende inicialmente hacer parte de un sistema de pórticos resistentes a momento.

Descripción de la conexión

Las columnas están compuestas por cuatro culmos y unidas mediante espaciadores construidos en Guadua. que se conectan mediante pernos transversales de 1/2 pulgada en dos direcciones perpendiculares.

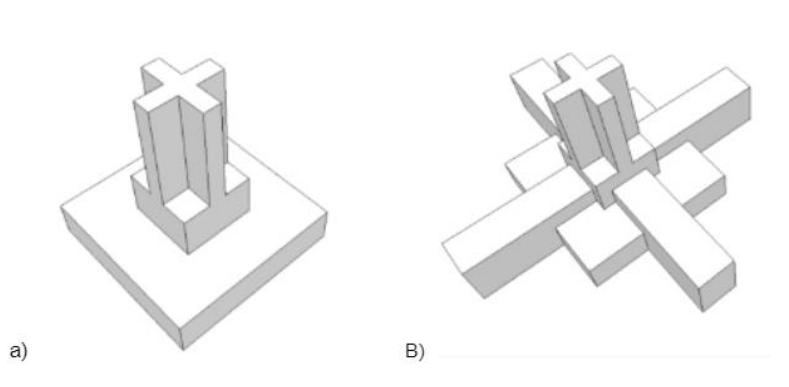
Figura 52. Guadua a columna con espaciadores



Fuente. [24]

La cimentación corresponde a una zapata de hormigón con restricciones de rotación mediante vigas de cimentación como se aprecia en la figura B. Longitud del pedestal = 0.70m

Figura 53. (a) Zapata de hormigón y pedestal. (b) Zapata de hormigón con vigas de cimentación pedestal



Fuente. [24]

## Configuración de la conexión

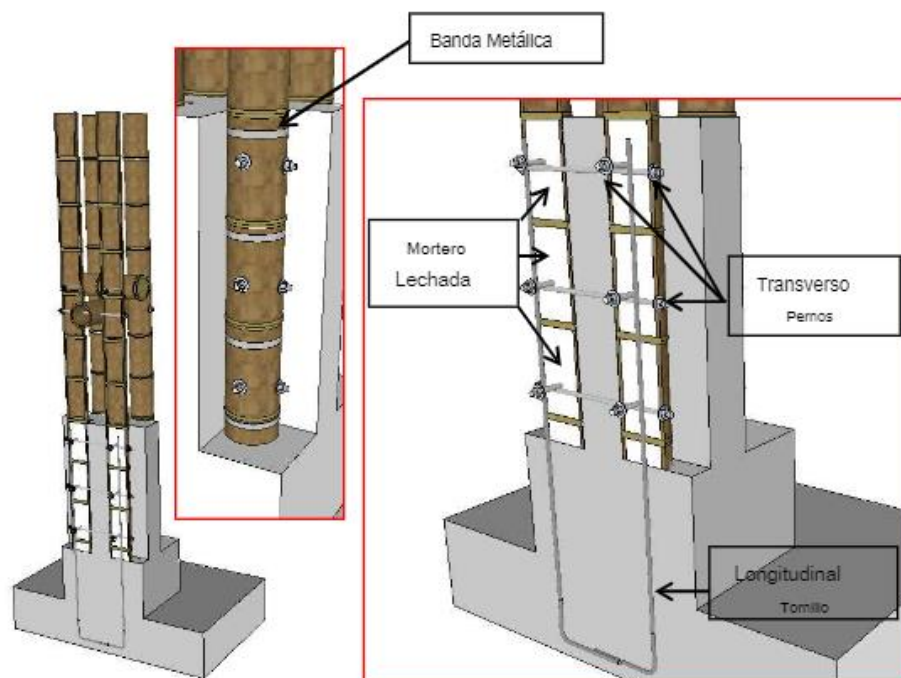
La unión se realizó mediante cuatro componentes: pernos transversales (T), pernos longitudinales (L), bandas metálicas (Z) y lechada de mortero (M). Se realizaron variaciones en cuanto a los componentes de la conexión para un total de 7 muestras y se sometieron a cargas monótonas y dinámicas.

Tabla 23. Combinaciones de componentes en cada configuración

COMPONENTE	CONF IGUR A TION						
	T	TM	TZ	TMZ	LM	LMZ	LTMZ
Pernos transversales	•	•	•	•			•
Pernos longitudinales					•	•	•
Lechada de mortero		•		•	•	•	•
Banda Metálica			•	•		•	•

Fuente. [24]

Figura 54. Esquema de conexión



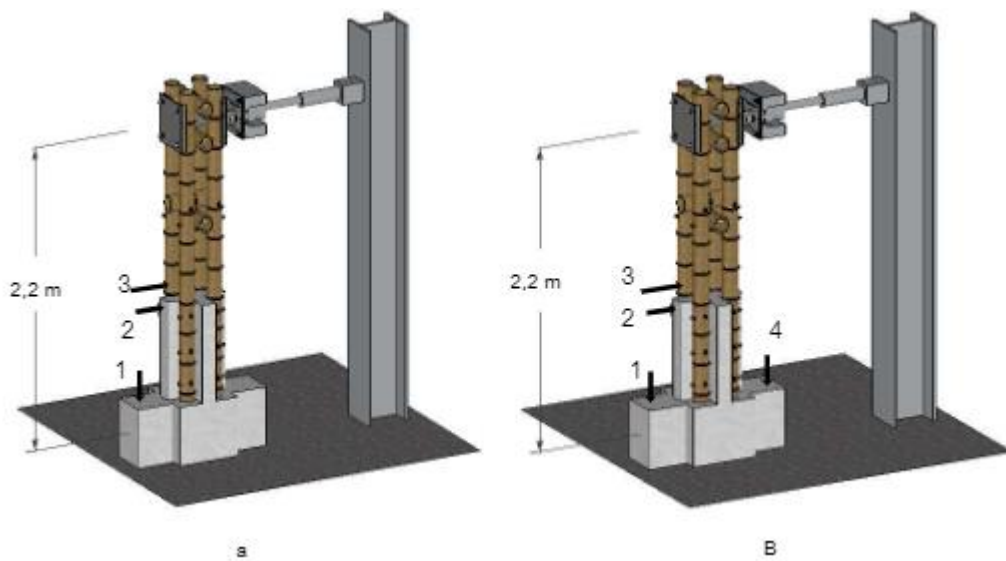
Fuente. [24]

## Tipo de pernos

Para los pernos transversales y longitudinales se utilizaron varillas atornilladas de acero SAE 1020 de 1/2 pulgada, con una resistencia a la tracción de 300 MPa. Las bandas metálicas utilizadas en las conexiones tenían una resistencia mínima de 696 MPa según la información proporcionada por el fabricante. Los culmos se rellenaron con una lechada de mortero con una relación agua-cemento de 1: 3, con una resistencia a la compresión promedio de 19,8 MPa y una resistencia a la tracción indirecta promedio de 2,11 MPa.

Las cargas se aplicaron transversalmente a la columna, a una altura de 2,2 m medida desde el centro de la viga.

Figura 55. Ubicación de los dispositivos LVDT (a) pruebas monótonas y (b) pruebas cíclicas



Fuente. [24]

Se midió el desplazamiento con LVDT (Transformador Diferencial Variable Lineal) Este registró 3 puntos de interés para las pruebas monótonicas y cuatro puntos de interés para las cíclicas.

#### *Resultados*

Todas las conexiones de las siete (7) configuraciones, se comportaron como rígidas hasta un cierto porcentaje de resistencia al momento.

Tabla 24. Intervalos de comportamiento rígido como porcentaje de la fuerza máxima

Configuración	METRO <sub>m</sub> (kN / m <sup>2</sup> )	METRO <sub>r</sub> (kN / m <sup>2</sup> )	% de Resistencia
T	33,84	34,25	98,82%
TM	27,47	34,13	80,48%
TZ	35,05	38,67	90,63%
TMZ	46,48	48,63	95,56%
LM	18,58	13,98	100,0%
LMZ	29,90	27,23	100,0%
LTMZ	38,20	37,96	100,0%

Fuente. [24]

Se determinó la energía requerida por cada configuración para alcanzar su límite elástico, se calculó como el área bajo la curva de momento - rotación relativa,  $\omega$ , hasta el rango elástico como se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 25. Densidad de energía elástica

Configuración	Energía de configuración (kJ)
LTMZ	0.3556
T	0.3617
TM	0.3754
TZ	0.3139
TMZ	0.4152
LM	0.0953
LMZ	0.4315

Fuente. [24]

A continuación, se presenta la rigidez inicial para cada una de las 7 configuraciones, calculada como la pendiente de la línea secante desde el origen hasta el punto donde se alcanzó la resistencia última.

Tabla 26. Resultados de la rigidez inicial para las siete configuraciones.

MUESTRA	Sección positiva (tracción)	Sección negativa (compresión)
	Rigidez Inicial (kNm / rad)	Rigidez inicial (kNm / rad)
LTMZ	1927.0	1812.1
T	1763.1	1708.2
TM	2274,4	2174,8
TZ	2133.2	1750,4
TMZ	2313,7	2380,7
LM	1208,8	1153,2
LMZ	1562,9	1459,9

Fuente. [24]

### Observaciones

- Todas las configuraciones para la conexión evaluadas en este estudio pudieron restringir, al menos parcialmente, la rotación en la parte inferior de una columna de Guadua. Por otro lado, la rigidez está ligada directamente con los componentes que se utilicen para realizar la conexión.
- El uso de bandas metálicas alrededor de cada uno de los culmos en la conexión, brindan un comportamiento dúctil en caso de falla, además de mejorar levemente su resistencia.
- El uso de pernos longitudinales no proporciona resistencia adicional a la conexión con pernos transversales; en cambio, lo disminuye y provoca un comportamiento menos dúctil durante la falla, esto provoca fallas por cizallamiento en el elemento.

### Análisis y/o aporte de los autores del trabajo de grado

Esta conexión cumple en cierta medida con las expectativas de la investigación y puede ser implementada en cierto tipo de estructuras como casas con el fin de proporcionar una mayor capacidad de disipación de energía en la cimentación. Esta conexión presenta un mejor comportamiento y mayor resistencia ante cargas transversales comparado con otras conexiones mencionadas en este trabajo.

### Conexión semirrígida para marcos híbridos de bambú y acero

**Tipo de conexión:** Panel de disipación de energía (EDP)

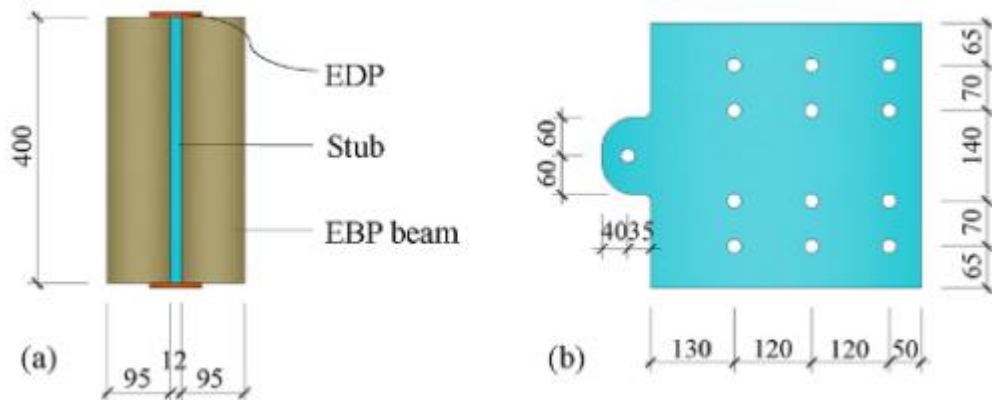
**Tipo de guadua:** Bambú artificial EBP

**Uso:** Conexión viga columna

Esta conexión es semi rígida y une una viga mixta de bambú a una columna de acero. Se probaron nueve muestras con cuatro relaciones de longitud a espesor diferentes. Las conexiones de prueba se fabricaron utilizando acero Q235 La columna utilizada en la prueba de conexión fue una sección en I

de acero de grado HPB 400 La viga era un compuesto de bambú de hebras paralelas (PSB). Propiedades mecánicas de PSB: Módulo de elasticidad=13000MP. Resistencia a la tracción y a la compresión= 150MPa y 90MPa respectivamente.

Figura 56. Detalles de conexión. (a) Sección transversal al final de la viga; (b) Detalle del muñón de acero. Unidades: mm



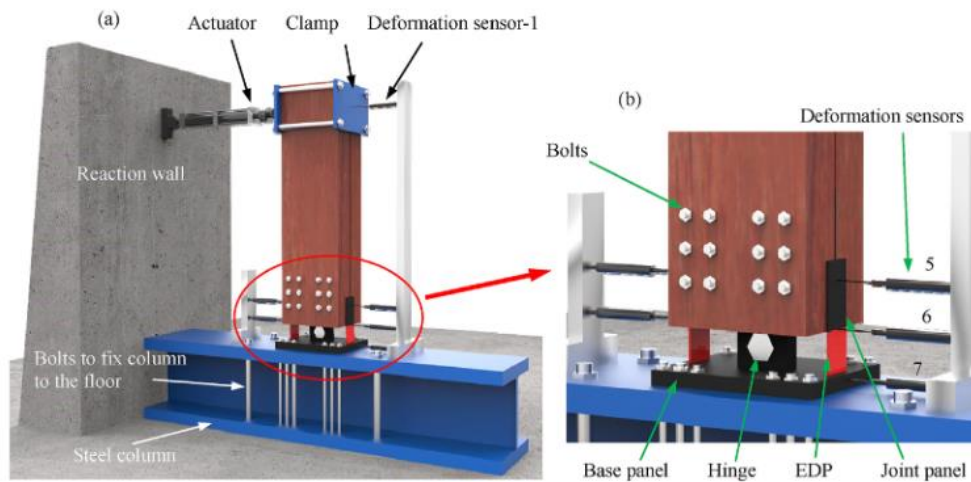
Fuente. [25]

### Prueba

El miembro de la viga estaba hecho de dos paneles PSB con una sección transversal de 400 mm x 95 mm. Un trozo de acero de 12 mm de espesor se interpuso entre los dos paneles de PSB y se conectaron entre sí mediante doce pernos de 20 mm de diámetro, en referencia, las longitudes de la viga y la columna fueron de 2 m y 1.2 m, respectivamente. La columna se ancló al suelo mediante cuatro pernos de 40 mm de diámetro.

La carga se aplicó mediante un actuador hidráulico de doble bisagra a la parte superior de la viga mediante un dispositivo de sujeción especialmente diseñado. La distancia desde el punto de carga al centro de la bisagra se mantuvo en 1095 mm para todas las pruebas. Dos pares de sensores de desplazamiento, espaciados a 100 mm de distancia, se montaron a cada lado de la conexión de prueba para medir el desplazamiento transversal.

Figura 57. Configuración de prueba; (a) una descripción general; (b) detalles de la conexión.



Fuente. [25]

Se realizaron un total de 9 pruebas variando la longitud y el espesor como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 27. Dimensiones de las conexiones de prueba

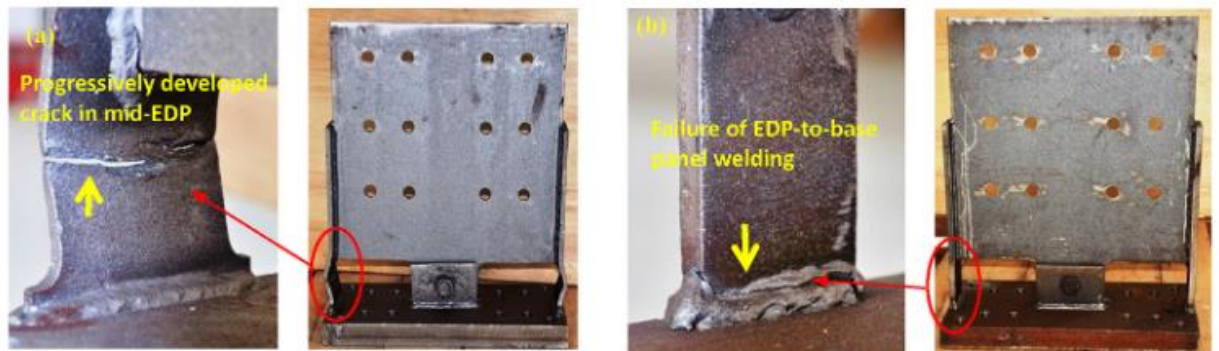
Grupo	Número de especímenes	Etiqueta	Longitud del soporte (mm)	Longitud EDP (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área de sección transversal (mm <sup>2</sup> )	EDP de longitud a espesor proporción
J-6	1	J-6-1	330	80	100	6	600	13,33
J-8	3	J-8-1, J-8-2, J-8-3	330	80	75	8	600	10
J-10	3	J-10-2, J-10-3	330	80	60	10	600	8
J-12	2	J-12-1, J-12-2	330	80	50	12	600	6,67

Fuente. [25]

### Modo de fallo

Se descubrió que prácticamente todos los daños de la conexión estaban restringidos a los EDP sin que se observaran distorsiones residuales visuales en otras partes de la conexión. Los modos de falla se pueden clasificar en dos tipos. El primer modo de falla se caracteriza por la fractura de EDP. Las muestras de los grupos J-6 y J-8 fallaron de esta manera. Estos grupos tienen las relaciones de longitud a espesor de EDP más grandes. El segundo modo de falla es la ruptura de la soldadura entre los EDP y el panel base.

Figura 58. Modos de falla típicos de las conexiones. (a) Pandeo y falla en medio de EDP; (b) falla de soldadura al final de EDP



Fuente. [25]

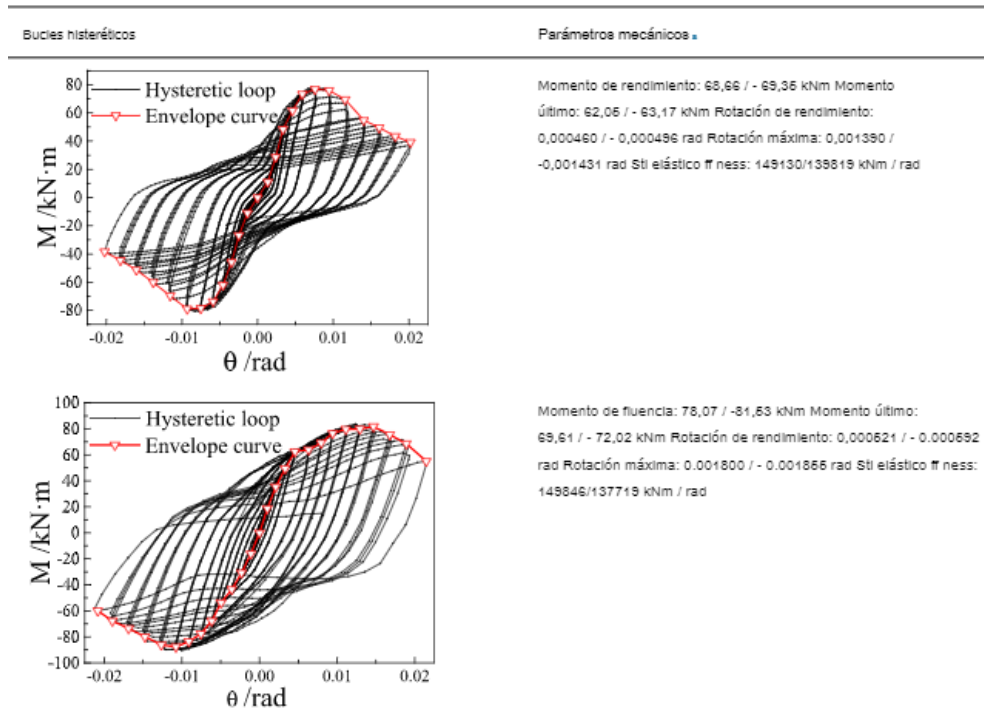
Mediante un diseño apropiado, el daño de una estructura se puede restringir a los EDP en la conexión. Las deformaciones residuales del acero alrededor de los orificios de los pernos son pequeñas, de modo que puede ignorarse. El fallo se produce en forma de deformación plástica de los EDP en compresión, que también actúa como fuente de disipación de energía. Como resultado, la capacidad de carga de la conexión depende de la fuerza de deformación parcial de los EDP.

### **Análisis de resultados**

Se realizaron graficas de bucles de histéresis con el momento ultimo y el ángulo de giro en radianes



Figura 59. Grafica de bucles de histéresis



Fuente. [25]

Se puede observar que las conexiones se comportan linealmente elásticamente hasta que la carga alcanza un límite proporcional. El límite proporcional depende del límite elástico inicial de EDP. La capacidad de carga de una conexión generalmente aumenta con una disminución en la relación longitud-espesor de EDP.

### Observaciones

- Con un diseño adecuado, el daño del marco con conexiones EDP puede limitarse al EDP, mientras que las otras partes de la conexión, la viga y la columna del marco, pueden estar libres de daños. Esta conexión tiene una buena capacidad de disipación de energía. La relación de ductilidad y la relación de amortiguación de las conexiones pueden alcanzar más del 30%.
- El modo de falla de la conexión depende de la longitud al espesor de la EDP. Para las conexiones con una gran relación longitud-espesor de EDP, la falla fue dúctil y ocurrió en el medio de EDP después de alguna acción de carga cíclica inversa.
- Para las conexiones con una relación de longitud a espesor de EDP pequeña, la falla se produjo prematuramente en la unión de soldadura entre el EDP y la placa base, y prácticamente no se observó degradación de la resistencia posterior al pico en su envolvente.

- La relación longitud-espesor juega un papel clave en dictar el modo de falla, debería ser posible detallar la conexión para evitar fallas de soldadura y lograr el modo de falla dúctil más deseable.

### Sujetador simple con placa de acero ranurada

**Tipo de conexión:** Tipo clavija con una placa de acero ranurada

**Tipo de guadua:** Bambú laminado

**Uso:** Conexión entre elementos de bambú laminado

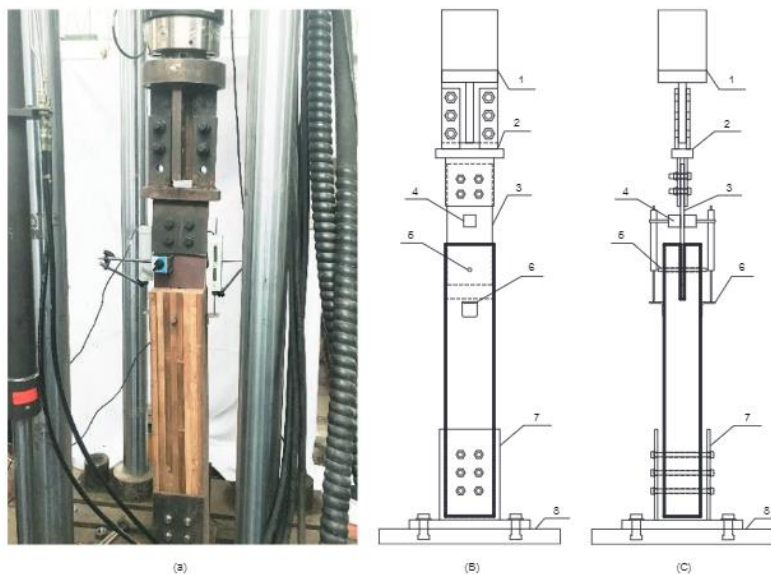
### Propiedades del bambú

La siguiente conexión está diseñada para unir bambú laminado con resistencia a la compresión de 59,63 MPa paralela a la fibra, resistencia a la tracción de 104.16MPa resistencia al corte de 17.26MPa. La resistencia a la tracción del bambú laminado perpendicular al grano es de 3.35MPa. La longitud de la muestra de bambú laminado es de 900 mm y el ancho es de 120 mm.

### Propiedades de la conexión

El límite elástico de la clavija es de 480 MPa y la resistencia a la tracción es de 600 MPa. La longitud del área sin roscar en el medio de la rosca no debe ser inferior a 120 mm. La placa de acero es de acero de grado Q345 con un espesor de 10 mm; y el grosor de la ranura es de 12 mm.

Figura 60. Conexión y método de prueba



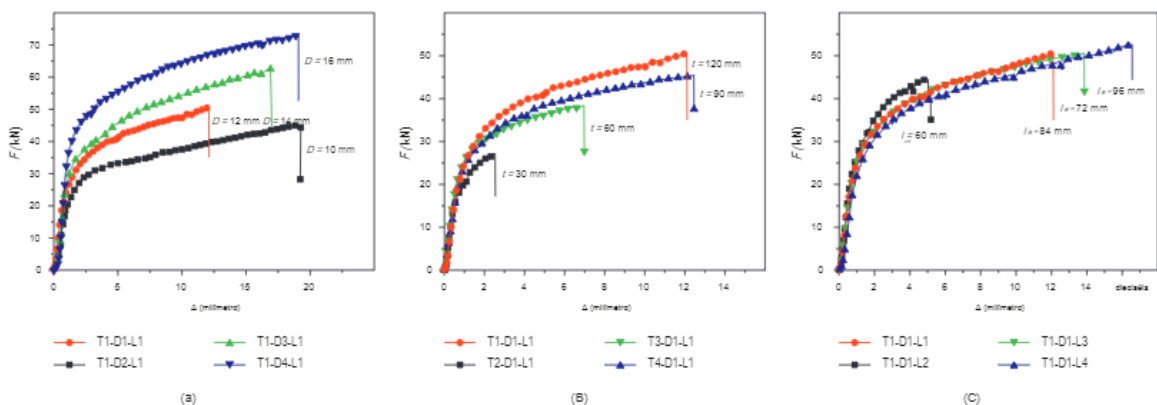
Fuente. [26]

1. Denota el actuador MTS
2. Dispositivo fijo para la placa de acero
3. Placa de acero
4. Soporte del transductor de desplazamiento
5. Clavija
6. Techo del transductor de desplazamiento
7. Dispositivo fijo para las muestras
8. Anclaje al suelo

## Resultados y análisis

Se presenta principalmente falla por corte y falla por división y están acompañadas de falla por empotramiento. Cuando el grosor de los largueros es pequeño, la ductilidad es menor y la muestra presenta fallas por división. A medida que aumenta el grosor, aumenta el desplazamiento de plástico y el orificio de la clavija se alarga. Las muestras presentan fallas por división y fallas por incrustación. Pero cuando el diámetro de la clavija es mayor, por ejemplo, M14 y M16, las muestras exhiben falla por corte y falla por incrustación. Cuando la distancia final de las conexiones está en el rango de  $6D - 8D$ , las conexiones exhiben mejor ductilidad y fallas de empotramiento. Por lo tanto, la suficiente distancia entre los extremos de las conexiones es esencial en el diseño de las conexiones de bambú laminado.

Figura 61. Curvas típicas de carga-desplazamiento de las conexiones (a) Diámetro de la clavija. (b) Espesor. (c) Distancia final



Fuente. [26]

Con el diámetro de la clavija aumentando de 10 mm a 16 mm, la carga final, la carga de fluencia y la rigidez inicial aumentan gradualmente. Cuando el diámetro de la clavija es de 10 mm, el desplazamiento final es de unos 20 mm y presenta una mejor ductilidad.

Tabla 28. Resultados de la prueba de las conexiones en diferentes grupos

No.	c	$F_y$ (kN)	$\Delta_y$ (mm)	$K_1$ (kN / mm)	$F_u$ (kN)	$\Delta_u$ (mm)	$K_2$ (kN / mm)	$\mu$
T1-D1-L1	4.50	32,33	1,17	43,66	60,66	12,05	4,77	10,30
T2-D1-L1	1,17	23,40	1,26	28,78	27,16	2,49	2,65	1,98
T3-D1-L1	2,42	26,66	1,40	34,46	38,33	6,96	3,42	4,97
T4-D1-L1	3,67	30,16	1,44	38,76	46,48	12,46	5,16	8,65
T1-D2-L1	5,40	28,89	1,98	29,66	46,08	19,00	3,95	9,60
T1-D3-L1	3,86	39,66	1,86	44,42	62,49	16,90	2,80	9,09
T1-D4-L1	3,38	48,66	2,54	63,28	72,98	18,98	3,09	7,47
T1-D1-L2	4,50	30,26	1,36	38,14	44,46	5,03	3,21	3,70
T1-D1-L3	4,50	32,16	1,26	46,66	60,83	13,32	4,81	10,57
T1-D1-L4	4,50	33,88	1,39	44,28	62,82	16,53	5,23	11,89

Fuente. [26]

La tabla anterior presenta los siguientes factores:

La rigidez inicial de las conexiones,  $K_1$ , desplazamiento de rendimiento,  $\Delta_y$ , y carga de rendimiento  $y$ , que se obtuvieron mediante el método de compensación de diámetro al 5%.  $\mu$  es la relación de ductilidad, COV es el coeficiente de variación de  $F_u$  y  $F_u$  es la capacidad de carga de las conexiones.

El rendimiento y el rendimiento final correspondientes carga son 32,33 kN y 50,56 kN; y la rigidez inicial y la relación de ductilidad son 43,66 kN / mm y 10,26. Para el diámetro de la espiga, con un aumento de diámetro de 10 mm a 16 mm, el rendimiento, la carga última y la rigidez inicial aumentan gradualmente. Pero la relación de ductilidad se reduce ligeramente. Esto se debe a que el diámetro de la clavija determina el área de apoyo entre la clavija y el material de bambú, pero el aumento del diámetro de las conexiones podría hacer que el modo de falla cambie de falla combinada de empotramiento y ruptura a falla por corte.}

## Observaciones

- Se determinó que el factor de espesor tiene el efecto más significativo sobre la rigidez inicial, la relación de ductilidad y la carga última de las conexiones. A medida que la muestra aumenta de 30 mm a 120 mm, la carga última aumenta rápidamente de 27,15 kN a 50,56 kN y la relación de ductilidad aumenta de 1,98 a 10,26. Pero cuando el espesor de los largueros está en el rango de 90 a 120 mm, la variación del espesor no tiene un efecto significativo sobre la carga de fluencia. Esto se debe principalmente a que los modos de falla son similares y el modo de rendimiento está determinado por el pandeo por compresión de la fibra de

bambú, que pertenece a la propiedad del material local y es independiente del tamaño total de las muestras.

- Cuando la distancia final de las conexiones aumenta de 5 D a 8 D, el área de corte de los largueros también se agranda, lo que hace que la carga última aumente ligeramente. No existe una correlación obvia entre la distancia final con la carga de fluencia y la rigidez inicial porque el modo de fluencia depende de las propiedades del material del bambú laminado. La rigidez inicial es de alrededor de 38–45 kN / mm. Se observa que cuando la distancia final es de 60 mm, la relación de ductilidad es muy pequeña.

## **10. RESPUESTA A LA PREGUNTA REALIZADA EN PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Con el fin de dar respuesta a la pregunta que se realiza en el planteamiento del problema “¿Cuáles son los tipos y diseños de conexiones para guadua más eficientes reportados en la literatura especializada durante los últimos 5 años?”, de acuerdo con la revisión bibliográfica y el criterio ingenieril de los autores de este trabajo de grado; se eligen 2 conexiones y se establecen como las más destacadas debido a una serie de características que se mencionan en la descripción de cada una de ellas.

La propuesta #1 es una conexión para guadua en su estado natural y la propuesta #2 es para guadua laminada.

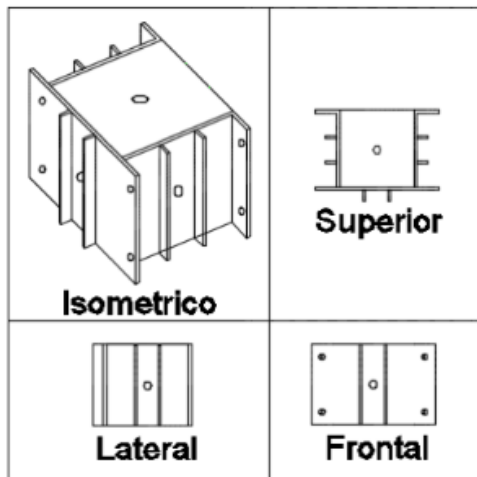
### **10.1 Propuesta # 1 (Guadua natural)**

Se propone la siguiente conexión diseñada por [23] teniendo en cuenta las siguientes características:

- Facilidad en el ensamblaje de estructuras elaboradas en guadua. (casa de 1 y 2 pisos)
- Fácil acceso a los materiales.
- Alta resistencia y economía de la conexión.
- Conexiones metálicas prefabricadas que agilizan la construcción de vivienda con elementos de guadua.
- Se puede utilizar en zonas rurales de difícil acceso a vivienda propia.
- Solución habitacional para personas en condición de vulnerabilidad.

Como se describió anteriormente en el capítulo 2 [23] propone una conexión cubica de metal para la unión de elementos estructurales de guadua. Las conexiones estas compuestas por cables de acero amarrados mediante cuatro pernos, además se colocaron ojales metálicos en las perforaciones de la guadua para distribuir los esfuerzos en las paredes internas de la perforación.

Figura 61. Esquema conexión (Nudo metálico)

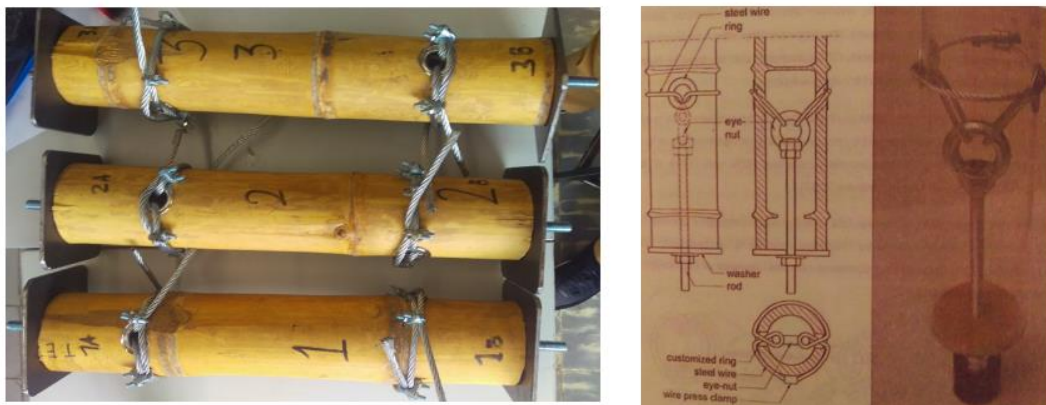


Fuente.[23]

Esta conexión se ensambla de la siguiente manera:

1. Se preparan los culmos: Se atraviesa el culmo con un ojal que será utilizado con un amarre para fijar los pernos como se evidencia en las siguientes imágenes:

Figura 62. Preparación de los culmos



Fuente. [23]

2. **Ensamble:** Se proceda a ensamblar la conexión viga-columna y posteriormente módulo. Como se evidencia en la siguiente imagen:

Figura 63. Módulo de vivienda



*Fuente.* [23]

Luego de revisar las cargas soportadas por la estructura experimental, se evidencio que fue capaz de soportar una carga vertical de 2296<sup>0</sup> kg y una horizontal de 1162 kg. Estas cargas produjeron los siguientes desplazamientos:

Tabla 29. Resultado experimental

Modo de aplicación de carga	Carga Máxima (kg)	Desplazamiento máximo (mm)
Sobre viga de guadua segundo nivel	1162	400
Con elemento rígido de acero sobre parte superior columnas	2296	74

*Fuente.* [23]

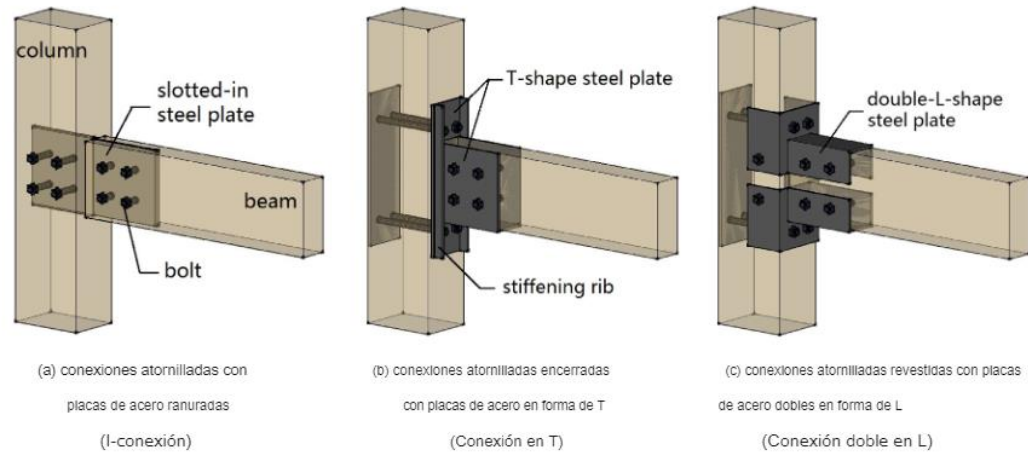
Teniendo en cuenta los desplazamientos que presento la estructura, es necesario eliminar los pequeños desplazamientos cargando la estructura previamente. Utilizar elementos de cubierta y elementos no estructurales livianos para disminuir la masa en caso de sismo.

## 10.2 Propuesta # 2 (Guadua laminada LVB)



Se propone uno de los tres tipos de conexión diseñados por [21] destinadas a estructuras de guadua laminada como lo muestra la siguiente figura.

Figura 64. Tres tipos de conexiones atornilladas de viga a columna



Fuente. [21].

Se propone la conexión diseñada por [21] que pretende realizar la unión de viga a columna mediante placas de acero ranuradas en forma de T. Se eligió esta conexión teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

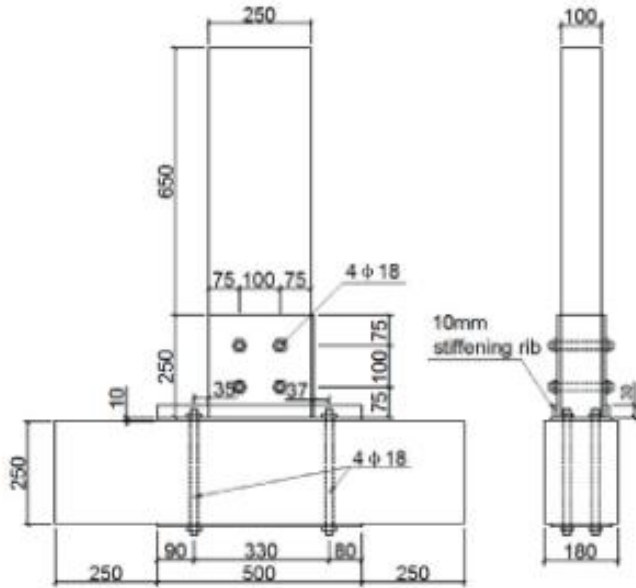
El diseño de la conexión restringe la rotación y puede ser implementado en sistemas de pórticos resistentes a momento.

La conexión tiene similitud con conexiones utilizadas en estructuras metálicas, las cuales son muy utilizadas en la actualidad para la construcción de estructuras que requieren grandes distancias entre apoyos.

### Facilidad de montaje y propiedades estéticas

La conexión está compuesta por cuatro pernos de 18 mm con una resistencia a la tracción de 800 MPa que tienen una distancia entre sí de 100 x 100 mm y una resistencia a la fluencia de 640 MPa. Las placas de acero ranuradas tienen un espesor de 7,5 mm, con límite elástico de 297 MPa y límite de rotura de 427 MPa.

Figura 65. Configuración de la conexión.



Fuente. [21].

El momento máximo soportado por la conexión es de 44.1 KN\*m

Tabla 30. Resultados de prueba conexión tipo T

Specimen	$k_e$ (kN·m· (°) <sup>-1</sup> )	$k_p$ (kN·m· (°) <sup>-1</sup> )	$M_y$ (kN·m)	$M_{max}$ (kN·m)	$M_f$ (kN·m)	$\theta_y$ (°)	$\theta_{max}$ (°)	$\theta_f$ (°)	$\mu$
TL4-M	12.23	10.82	38.8	44.1	35.3	3.29	4.04	4.22	1.28

Fuente. [21].

El miembro estructural soporta un momento máximo de 41.1 KN\*m y presenta un ángulo de rotación de 4° antes de presentarse la falla, debido a la división paralela a la fibra alrededor del perno.

Se considera que la conexión tiene una buena capacidad de disipar energía, pero el modo de falla por división paralela a la fibra es un modo de falla frágil, por lo que se recomienda realizar ensayos experimentales revistiendo la conexión con placa de acero doble, como el tipo de conexión en doble L que propone el autor.

## 11. SECCION 3: PROPUESTA TEORICA

Con el fin de dar cumplimiento al tercer objetivo y con el conocimiento técnico obtenido de la revisión bibliográfica de este documento, se propone enumerar 4 fases que se deben tener en cuenta para diseñar una conexión de estructuras en guadua.

**Fase 1 arquitectura:** teniendo en cuenta que la guadua natural es un material irregular y que la guadua laminada se puede diseñar a la necesidad de las estructuras, es importante determinar para que tipo de guadua se realizará el diseño arquitectónico de la conexión.

Dentro del diseño arquitectónico de la conexión, debe quedar claro el tipo de conexión esperado y para qué tipo de estructura. Esto con el fin de determinar posteriormente los parámetros de la evaluación técnica y de cargas.

Teniendo en cuenta que la guadua es un material poco utilizado y que las conexiones de estructuras es una limitante crítica, se puede obtener un gran impacto con un diseño arquitectónico que sea fácil de usar y escalable para todo tipo de construcciones.

Las regiones donde la guadua se usa como material de construcción en la actualidad son principalmente zonas rurales o apartadas de los centros urbanos; por esta razón es importante tener en cuenta el lugar de construcción ya que en muchas ocasiones materiales como los metales se hacen imposibles de conseguir en estos lugares o se consiguen a precios elevados. También los procesos de construcciones complejos o que requieren de maquinaria especializada causan el mismo efecto negativo.

**Fase 2 Criterios técnicos:** para la construcción de una conexión es necesario conocer algunos criterios técnicos para el desarrollo de esta. Como primera medida es indispensable saber que la guadua es un material muy resistente a la compresión y tensión mientras se trabaje de forma axial, la debilidad de este material está en su patología de corte paralelo a las fibras de la guadua. Por esta razón el principal objetivo de la conexión adicional a la transferencia de forma efectiva y segura de las cargas es el de mitigar el posible daño que puede sufrir las mismas por las fuerzas de corte paralelo a la fibra.

Es posible diseñar con los criterios de una estructura metálica, pero para esto es necesario conocer las propiedades mecánicas de la guadua. Esto solo es posible conocerlo con ensayos del material a utilizar teniendo en cuenta su especie, edad, humedad, espesor de las paredes del culmo y el diámetro.

En múltiples diseños y experimentos se ha evidenciado que sumar el número de guaduas en paralelo multiplica y mejora su resistencia a la compresión, por lo que este tipo de diseños son ideales para ser empleados en columnas.

**Fase 3 evaluación técnica y de cargas:** una vez se tiene el diseño arquitectónico de la conexión este debe ser evaluado para determinar los posibles comportamientos de la conexión y del material Ante cargas cortantes, de compresión y flexión. Así como también se deberá hacer una evaluación inicial del material propuesto por el diseño arquitectónico y posibles materiales sustitutos que mejoren dichos comportamientos de ser necesario.

**Fase 4 propiedades de los materiales:** Se recomienda para el uso de la guadua natural el secado natural a la sombra, con este tratamiento se ha evidenciado que se mejoran las propiedades mecánicas a compresión, por la disminución del contenido de humedad.

Es importante que todas las muestras usadas para el ensayo y la estructura sean cortadas de guadua con geometrías similares, del mismo lote y cortadas en el mismo momento.

Se recomienda, que finalmente una vez se obtengan resultados sobre el diseño, estos se tomen como valores iniciales para crear una nueva conexión, puesto que existe mucha información sobre las resistencias de algunas, pero estas siempre suelen variar de acuerdo con el diseño, metodología y material.

## 12. CONCLUSIONES

Se comprueba la importancia de las bases de datos científicas en proyectos de investigación, debido a la calidad de sus documentos y artículos. Pueden ser una base sólida para futuras investigaciones que deseen mejorar o implementar nuevos tipos de conexiones para guadua.

La guadua laminada posee mejores propiedades mecánicas de resistencia en comparación a la guadua natural. Teniendo en cuenta que es una tecnología relativamente nueva y que puede sustituir otros materiales utilizados en el ámbito de la ingeniería civil, se recomienda que se implemente en proyectos de construcción ya que es un material ambientalmente sostenible y renovable.

Se pudo observar que independiente del tipo de conexión se utilizan pernos ya sea perforando directamente el culmo o incluyendo láminas de acero. Las propiedades mecánicas de las uniones atornilladas son muy complejas, se ven afectadas por muchos factores como las características del material de conexión, el diámetro del perno, la distancia del extremo del perno y la distancia al borde. Se logro determinar que en muchos de los diseños de conexiones para guadua se emplean ecuaciones y teorías relacionadas a el diseño de estructuras de madera. A pesar de los estudios experimentales sobre uniones atornilladas de estructuras de guadua se evidencia que aún falta mucha investigación y se requiere realizar muchas más pruebas para poder establecer modelos teóricos precisos destinados a conexiones específicamente de guadua.

Se evidencian avances en la investigación de análisis sísmico para las conexiones de guadua. Se determinó que el panel de disipación de energía contribuye a mejorar el comportamiento de la conexión al ser sometido a cargas horizontales y cíclicas, lo cual logra controlar el modo de falla y permite que se genere un modo de falla dúctil en la estructura.

La conexión de clavos fue la que presentó el peor comportamiento luego de realizar la comparación de las conexiones se pudo evidenciar que esta conexión disminuye significativamente la resistencia con respecto a cualquiera de las otras conexiones analizadas en este trabajo de grado.

La mayoría de los estudios existentes siguen los códigos y estándares para estructura de madera, se requiere hacer ajustes y mejoras. Aunque las estructuras de bambú de ingeniería son análogas a las estructuras de madera, es necesario realizar una gran cantidad de experimentos y estudios teóricos para establecer una teoría de diseño específicamente para estructuras de bambú y un sistema de cálculo que se ajuste a las características de los nuevos materiales de bambú que se pudieron identificar en este trabajo.

Las investigaciones que fueron objeto de análisis en esta monografía están dirigidas en su mayoría a conexiones perforadas con metal ya que el 60% de las mismas están en esta categoría. Esto brinda un panorama general del tipo de conexión al cual apuntan las investigaciones en la actualidad. Este tipo de conexión es muy similar a las que se utilizan en estructuras metálicas.

Realizando un análisis a la bibliografía científica disponible de las conexiones para guadua, se evidencia que China es el país líder en cuanto a la investigación en este campo.

Se evidencia que a nivel local existen investigaciones de alto impacto que cuentan con la calidad necesaria para ser publicadas en la base de datos Scopus. También se logró establecer que Colombia es uno de los países líderes en Latinoamérica en este tipo de investigación por la abundancia y uso de este material.

La conexión es un elemento fundamental para garantizar la integridad de la estructura, razón por la cual se debe tener especial cuidado en la elección del tipo de conexión en función al tipo de estructura en el cual se desee implementar.

Utilizando los métodos más accesibles posibles para construir en una amplia variedad de entornos, las conexiones modulares o de tamaño considerable son las más eficientes para adaptarse a la mayor variedad de diámetros de material. Las conexiones estandarizadas modernas son eficientes y pueden ser una solución habitacional para familias en condición de vulnerabilidad en un contexto como el colombiano.

El desplazamiento es un parámetro fundamental para determinar el rendimiento de las conexiones, Este nos permite visualizar un panorama acerca del rendimiento de la conexión.

Lo que sería útil en la investigación y el desarrollo moderno son las conexiones modulares que no requiera materiales tecnológicamente sofisticados. Esto puede ser en forma de adaptación de tecnologías existentes para la construcción en el sitio, o en el desarrollo de un conjunto de manuales de técnicas que hagan uso del conocimiento existente de construcción de formas y conexiones para crear estructuras potencialmente complejas a partir de un conjunto simplificado de conexiones.

el rendimiento del ensamblaje y la habitabilidad del bambú tiene el potencial de promover su aplicación en la construcción de ingeniería a un rango más amplio.

## **13. ANEXOS**

- Matriz de análisis (Excel)

## 14. REFERENCIAS

- [1] K. Disén y P. Clouston, «BUILDING WITH BAMBOO: A REVIEW OF CULM CONNECTION TECHNOLOGY,» 2013.
- [2] Z. Wang, Y. Wei, . N. Li, K. Zhao y M. Ding, «Flexural behavior of bamboo–concrete composite beams with perforated steel plate connections,» 2020.
- [3] C. f. R. Galvez, «repository.ucatolica.edu.co,» 2019. [En línea]. Available: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/24351/1/An%C3%A1lisis%20de%20las%20propiedades%20mec%C3%A1nicas%20de%20la%20guadua%20expuesta%20y%20no%20expuesta%20a%20rayos%20UV%20mediante%20t%C3%A9cnicas%20estad%C3%ADsticas.pdf>.
- [4] C. P. T. Tam, «Comportamiento estructural de la guadua angustifolia. Uniones en guadua,» *Revista de ingeniería e investigación*, p. 5, 2004.
- [5] D. L. y. A. Sanclemente, «usmp,» 2003. [En línea]. Available: [https://www.usmp.edu.pe/centro\\_bambu\\_peru/pdf/ESTUDIO\\_UNIONES\\_GUADUA\\_ANGULO\\_INCLINACION\\_ENT.pdf](https://www.usmp.edu.pe/centro_bambu_peru/pdf/ESTUDIO_UNIONES_GUADUA_ANGULO_INCLINACION_ENT.pdf).
- [6] H. Chaokun, H. Li, Z. Xiong, R. Lorenzo, I. Corbi, O. Corbi, D. Wei, C. Yuan, D. Yang y H. Zhang, «scopus,» 2020. [En línea]. Available: <https://www-scopus-com.ucatolica.basesdedatosezproxy.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85070745082&origin=resultslist&zone=contextBox>.
- [7] ICONTEC - NTC 5407, NORMA TÉCNICA COLOMBIANA, 2018.
- [8] J. C. N. Valiente y J. G. Yacelga Diaz, «bibdigital.epn.edu.ec,» 5 2010. [En línea].
- [9] NSR10. [En línea]. Available: <https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/7titulo-g-nsr-100.pdf>.
- [10] A. T. A. D. Z. Awaludin, «Scopus,» 2019. [En línea]. Available: <https://www-scopus-com.ucatolica.basesdedatosezproxy.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85078305153&origin=resultslist&zone=contextBox>.
- [11] N. Z. K. D. M. Li, «Scopus,» 2020. [En línea]. Available: <https://www-scopus-com.ucatolica.basesdedatosezproxy.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85078448479&origin=resultslist&zone=contextBox>.

- [12] H. Castañeda y S. Bjarnadottir, 2016. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705816301096>.
- [13] P. Luna, . A. Olarte y . C. Takeuchi, «scielo,» 2013. [En línea]. Available: <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v81n184/v81n184a14.pdf>.
- [14] T. Paraskeva y . N. Pradhan , «Monotonic loading testing and characterization of new multi-full-culm,» 2019.
- [15] C. Guo, . W. Yanga, . T. Zhoua y . Y. Yua, «Experiments on laminated bamboo lumber nailed connections,» 2021.
- [16] N. Khoshbakht<sup>1</sup>, M. Peggi L. Clouston, S. R. Arwade<sup>3</sup> y a. A. C. Schreyer<sup>4</sup>, «Computational Modeling of Laminated Veneer Bamboo Dowel Connections,» 2018.
- [17] N. Pradhan y E. G. Dimitrakopoulos, «CHARACTERIZING THE PERFORMANCE OF TRANSVERSELY CONFINED MULTI-CULM BAMBOO TO STEEL CONNECTIONS,» 2020.
- [18] B. Lefevre, R. Westb y P. O'Reillya, A new method for joining bamboo culms, EEUU, 2019.
- [19] T. D. y. col, «La biomecánica del Bamboo: investigando el papel de los nodos,» 2014.
- [20] K. Casallas, J. Sánchez y C. Takeuchi , «Sistema modular en bambú guadua con conexiones metálicas de fácil armado para vivienda rural,» 2020.
- [21] H. Castañeda y S. Bjarnadottir, «Analysis of the Bolted Connection of a Bamboo Composite I-Shaped Beam Subjected to Bending,» *ScienceDirect*, 2016.
- [22] Y. Leng, Q. Xu, K. Harries, L. Chen, K. Liu y X. Chen, «Experimental study on mechanical properties of laminated bamboo beam-to-column connections,» *Engineering Structures*, 2020.
- [23] L. Villegas, R. Morán y J. García, «A new joint to assemble light structures of bamboo slats,» 2015.
- [24] S. Andrade, . F. Lamus y N. Torres, «Connections between a Column and its Foundation for Guadua angustifolia Structures Under Lateral Loads,» 2016.
- [25] Z. Huang, Z. Chena, D. Huang y Y.-H. Chuid, «Cyclic loading behavior of an innovative semi-rigid connection forengineered bamboo-steel hybrid frames,» 2019.
- [26] Z. Cui, L. Tu, M. Xu, . C. Zhongfan y Q. Xu, «Experimental Investigation on the Load-Carrying Capacity of Steel-to-Laminated Bamboo Dowel Connection I: Single Fastener with Slotted-In Steel Plate under Tension,» 2021.
- [27] E. G. D. T. S. P. Nischal P. N. Pradhan<sup>1</sup>, «CHARACTERIZING THE PERFORMANCE OF TRANSVERSELY CONFINED MULTI-CULM BAMBOO TO STEEL CONNECTIONS,» 2020.



