

MEJORAMIENTO DE UNIONES ESTRUCTURALES DE BAMBÚ-GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH PARA LA CONFORMACIÓN DE SISTEMAS RETICULADOS

Manuel Fernando Martínez Forero¹

Resumen

Se propuso un tipo de unión que ofrezca una mejora sobre los tipos de uniones existentes para estructuras en guadua, enfocándose principalmente en los aspectos constructivos y de fabricación, disminuyendo los requerimientos de equipos, recursos y mano de obra especializada necesarios para el ensamblaje en sitio, evitando el uso de elementos que atraviesen las paredes de la guadua y la elaboración de cortes geoméricamente complejos, en el diseño de la unión propuesta, se incorpora la prefabricación, y como resultado se ofrece un modelo de unión articulada, la cual ofrece la versatilidad necesaria, para la conformación de diversas configuraciones geométricas, para la construcción de estructuras reticuladas.

Palabras Clave: Bambú, Guadua, Uniones estructurales.

INTRODUCCIÓN

El bambú guadua, es un recurso renovable, económico, su aplicación en construcción es de amplio conocimiento empírico en países tropicales, tiene un uso muy variado el cual abarca desde artesanías, mobiliario y obra falsa, hasta elementos estructurales, principalmente su uso se encuentra

¹ Manuel Fernando Martínez Forero. Arquitecto. Magister en Construcción. Docente Facultad de Arquitectura, Universidad La Gran Colombia. Correo: manuel.martinez@ugc.edu.co

en construcciones vernáculas, (Kaminski, Lawrence, & Trujillo, 2016). particularmente en Colombia, se destaca la especie *Angustifolia Khunt*, (Londoño 2011), y adicional a su uso en construcciones de técnicas tradicionales, se puede encontrar en la construcción de obra temporal, como elementos de apuntalamiento, o en la ejecución de obras informales, principalmente en el área geográfica conocida como el eje cafetero; sin embargo, gracias a sus características, como lo son su excelente tasa de crecimiento, la cual está alrededor de 0.24 m por día (Londoño, Camayo, Riaño, y López, 2002), el corto tiempo necesario para su aprovechamiento tomando un tiempo de cosecha de tan solo 3 años (Correal y Arbeláez, 2010) y sus excelentes condiciones mecánicas, las cuales son objeto de estudios constantes en diferentes universidades en el ámbito internacional, su utilización como material de construcción se está extendiendo cada vez más, fortaleciéndose tanto en el ámbito constructivo como en los diferentes escenarios del proceso productivo, buscando generar un aprovechamiento de todo su potencial, en la construcción su uso está parcialmente reglamentado y normalizado, y ya se encuentra incluida en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-2010), con respecto a la producción y aprovechamiento se encuentran diversas normas técnicas, las cuales atienden numerosos procedimientos relacionados con el aprovechamiento de este material, como lo son: *Cosecha y poscosecha de los culmos de guadua Angustifolia Kunth* Norma Técnica Colombiana NTC 5300 (ICONTEC 2008)., *Preservación y secado del culmo de guadua Angustifolia Kunth* Norma Técnica Colombiana NTC5301 (ICONTEC, 2007), *Propagación vegetativa de Guadua Angustifolia Kunth* NTC 5405 (ICONTEC 2016)., *Uniones de estructuras en guadua Angustifolia Kunth* NTC 5407 (ICONTEC (2006)., *Elaboración de artesanías y muebles con culmos maduros de guadua Angustifolia Kunth* NTC 5458 (ICONTEC 2006)., *Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la guadua Angustifolia Kunth* NTC 5525, (ICONTEC 2006). *Inventario de rodales de guadua Angustifolia Kunth para aprovechamientos con fines comerciales* NTC 5726 (ICONTEC 2009). *Terminología aplicada a la Guadua y a sus productos* NTC 5727 , (ICONTEC 2017). *Obtención de latas y tablillas de Guadua Angustifolia Kunth* NTC 5829 (ICONTEC 2010).

Problemática

La construcción de estructuras en guadua tiene un origen vernacular, referente a una tradición histórica la cual ha sido objeto de procesos de valoración patrimonial y reconocimiento, estas estructuras tienen un buen comportamiento frente a eventos sísmicos si son construidas correctamente, su aplicación en la construcción se ha apoyado en las condiciones inherentes del material, en el saber ancestral y la tecnificación de estas prácticas mediante la investigación y normalización, sin embargo los desarrollos que se encuentran hasta el momento en temas de uniones, presentan aspectos a mejorar, por lo que se hace necesario continuar el proceso de los estudios y mejoramientos de sus aspectos constructivos, condiciones de uso y mantenimiento, en procura de fortalecer la aplicación de este bondadoso material en la solución de construcciones.

Objetivo

Proponer una unión que facilite el proceso constructivo de estructuras reticuladas y ofrezca un adecuado comportamiento mecánico en función de la naturaleza del bambú guadua, mejorando las condiciones encontradas en las actuales uniones utilizadas para la conformación de estructuras que utilizan Bambú - Guadua (*Angustifolia Kunth*)

Justificación

Existe una amplia variedad en uniones propuestas para la conformación de estructuras con bambú guadua, y dadas las condiciones geométricas del material la mayoría de las uniones requieren procesos de fabricación in situ dispendiosos, o integran conectores con un mayor grado de industrialización y complejidad lo que eleva los costos, las más conocidas trabajan mediante pasadores o varillas roscadas, los cuales generan concentración de esfuerzos,

y tensiones paralelas a las fibras, lo que evita aprovechar el 100% de la resistencia de la guadua, desconociendo el hecho que la mayor resistencia de la guadua está en su capa perimetral, por lo que si se proponen uniones que transfieran la carga a la epidermis de la guadua, utilizando al máximo posible el perímetro, la unión se pueden obtener resistencias muy próximas a la resistencia ultima del material. (Widyowijatnoko, A. 2012), sumado a esto se deben considerar los aspectos constructivos y económicos para poder generar una solución equilibrada.

Metodología

Se parte de la revisión de referentes mediante consultas de bibliografía, en especial de documentos de origen normativo y oficial, así como desarrollos de uniones experimentales de proyectos de investigación académica y empresarial, identificando las características positivas de cada una, así como, los aspectos a mejorar, para proponer una tipología de uniones que ofrezca mejoras a las condiciones encontradas.

En la revisión bibliográfica, se analizaron diferentes textos para contextualizar las condiciones del material desatacándose que dadas sus condiciones naturales como material anisotrópico, su resistencia es muy favorable ante esfuerzos axiales gracias a la presencia de fibras longitudinales, sin embargo ante cargas perpendiculares a la fibra, no cuenta con una buena respuesta (Widyowijatnoko, A. 2012), y la mayoría de las uniones que se consideran en las normas y documentos oficiales, (NSR 10, Manual De Construcción Sismo Resistente De Viviendas En Bahareque Encementado AIS, Colombia; Normas Técnicas Para Utilización De La Guadua *Angustifolia Kunth* En Construcción, Inbar Ecuador 2011, Norma Técnica E.100 para el uso de Bambú Perú 2017, entre Otros) requieren el uso de conectores que transmiten esfuerzos mediante el uso de elementos que atraviesan las paredes de las cañas de las guaduas, generando esfuerzos perpendiculares a las fibras, y concentración de esfuerzos en áreas muy puntuales del material, lo que genera fallas características localizadas en el área de inserción del conector. (Jaramillo D., Sanclemente A. 2003)

Otro factor importante es su comportamiento higroscópico, dado que su contenido de humedad presenta variaciones en su dimensión y en su resistencia. (Luna, P., Takeuchi, C., Granados, G., Lamus, F., & Lozano, J. 2011).

Sumado a la revisión bibliográfica, se participó en el desarrollo de actividades prácticas (Imagen 1) donde se elaboraron uniones y prototipos para identificar aspectos propios del montaje *in situ*, así como procesos de fabricación de los nodos.



1 Práctica académica Programa de Tecnología en Construcciones Arquitectónicas. Facultad de Arquitectura. Universidad La Gran Colombia. (Barreto W)



2 Fabricación de Domo con uniones de compresión radial propuestas por Widyowijatnoko, A.

En forma simultánea a las actividades prácticas, se realizaron entrevistas a profesionales y técnicos, así como a personal operativo capacitado en la construcción en guadua, sobre las uniones que realizan y sus características, siendo las más conocidas los empalmes de guadua como boca de pescado y pico de flauta, y las sunchadas con pasadores en las cuales se utilizan conectores tipo pernos y se rellenan los canutos de las cañas con morteros, este tipo de unión se encuentra en forma general contenido en las normativas de los países de la región Andina, para el caso de Colombia, estas uniones se encuentran incluidas en la NSR 10, y se encuentran normalizadas bajo la NTC 5407 “Uniones de estructuras con Guadua *Angustifolia* Kunth”, (ICONTEC. 2006) para la fabricación de estas conexiones, se requiere una

geometría compleja la cual demanda mucho tiempo, tanto en la elaboración de los cortes, y el proceso de relleno con mortero, proceso que si bien mejora significativamente la resistencia del canuto (Jaramillo D., Sanclemente A. 2003) demanda recursos adicionales y requiere mayor tiempo, y persiste la problemática de lograr generar acoplamientos perfectos, dadas las condiciones geométricas de las cañas de bambú guadua, donde sus diámetros son siempre variables, si bien estadísticamente se encuentra que hay una mayor frecuencia del diámetro de 100mm, se cuenta con grandes desviaciones que se encuentran entre los 64 y 170mm, siendo factores de estas variaciones las condiciones medio ambientales del lugar de crecimiento, (Barrero W. 2017), y dado que la resistencia está dada por la cantidad de material en la sección transversal, se vuelve aún más compleja la situación, ya que en una sola caña, los diámetros no son perfectamente simétricos ni constantes por lo que las resistencias tendrán grandes variaciones aunque se esté haciendo referencia a una misma especie. (Ardila C. 2013).

Se realizó una verificación de las variaciones dimensionales encontradas en las guaduas utilizadas para el desarrollo de los prototipos y uniones de referencia, las cuales fueron seleccionadas basados en su dimensión aparentemente similar encontrándose los siguientes datos.

Muestra	altura	eje x	eje y	espesor pared	Muestra	altura	eje x	eje y	espesor pared
a2	300	112	110	12	c3	100	120	115	13
a3	300	111	112	16	c4	100	123	117	12
b1	300	115	113	10	c5	100	120	115	10
b3	300	120	116	12	c6	100	123	115	10
b4	300	111	111	10	c7	100	120	115	12
b5	300	110	111	11	c8	100	117	120	13
b6	300	111	111	11	d3	100	120	122	15
b7	300	113	115	14	d4	100	118	122	10
b8	300	115	112	12	d5	100	120	121	10
b9	300	115	116	15	d6	100	125	128	10
c1	300	122	118	10	d7	100	128	123	10
c2	300	122	120	15	d8	100	123	123	10
Promedio		114.75	113.75	12.33	Promedio		121.42	119.67	11.25
Desviación Estándar		4.35	3.19	2.15	Desviación Estándar		3.09	4.25	1.71
Mínimo		110	110	10	Mínimo		117	115	10
Máximo		122	120	16	Máximo		128	128	15
Rango		12	10	6	Rango		11	13	5

1 Variaciones dimensionales en muestras de guaduas. Cortes cada 300 mm y 100 mm lineales.

Unidades en mm.

Se realizaron tres (3) uniones de referencia, donde en una guadua (1) se realiza el corte Boca de pescado, confirmando que su fabricación requiere procesos de cortes geométricamente complejos los cuales, tomaron entre 15 y 20 minutos por cada uno, en condiciones ideales, adicionalmente se implementó un pasador y platina para fijarlo a una guadua perpendicular (2), y se rellenaron con mortero los canutos que fueron atravesados por los pasadores, lo que extiende el proceso de fabricación y requiere el fraguado del relleno.



3 Elaboración de uniones de referencia.

Se realizaron pruebas de carga en laboratorio a las uniones de referencia, aplicando fuerza en el sentido longitudinal de la guadua que fue perforada (1), y que se apoya sobre la guadua dispuesta perpendicularmente(2). En promedio se presentó el fallo ante una carga de 21.7 Kilonewton KN, en donde la guadua (2) fallo por aplastamiento al deformarse perpendicular al sentido de la fibra, con el efecto adicional que cuando se comprime la junta en lugar de traccionarse, la platina conectora deja de tensionarse, permitiendo que se desplace la unión, cuando el corte de boca de pescado se apoya sobre una guadua (2) con relleno de mortero, se encuentra que la boca de pescado es la que presenta la falla.



4 Pruebas de carga en uniones de Referencia Boca de Pescado, conector y platina.

Teniendo estas condiciones presentes, y gracias a las experiencias adquiridas en las actividades prácticas, en especial las actividades relacionadas con la tipología de unión propuesta por Widyowijatnoko, A. en *Traditional and Innovative Joints in Bamboo Construction 2012*; las cuales se basan en el uso de compresión radial para poder utilizar los elementos como postes que trabajen en esfuerzos axiales, principalmente a tracción, las cuales presentan muy buenos resultados mecánicos, gracias a la transferencia de las cargas al perímetro de la guadua, minimizando las perforaciones y evitando el uso de pasadores que atraviesen las paredes de la guadua, por lo que no se crean esfuerzos perpendiculares a la fibra, y aunque este tipo de conexión

permite el uso del bambú guadua como postes para la conformación de estructuras planas y espaciales, para la conformación de las estructuras se requiere la elaboración de piezas exactas para los nodos necesarios para cada configuración geométrica particular.

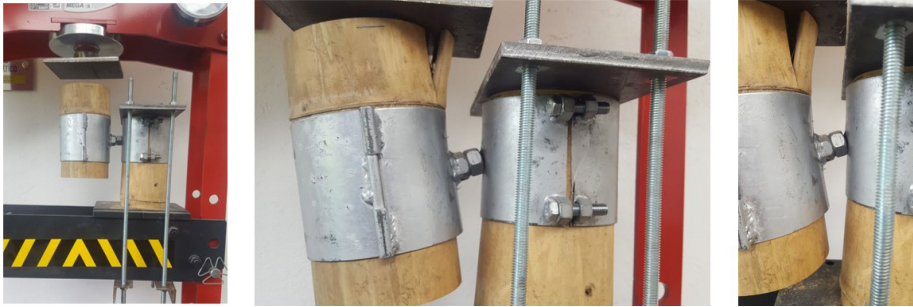
Propuesta

Retomando los diferentes hallazgos del proceso de investigación, se definen como directrices de la propuesta que la transferencia de cargas se dé a través del perímetro del elemento, mediante el uso de elementos que eviten la generación de esfuerzos perpendiculares a la fibra, adicionalmente el uso de estos elementos que amarran exteriormente a las guaduas, previene las fracturas del material o su desintegración (Widyowijatnoko A. 2012). Se encontraron algunos modelos similares de uniones, como el propuesto por Georg Brusnowitz (1988), y al revisarlos se encontró que el concepto para la transmisión de cargas es viable, su uso puede aplicarse en diferentes sistemas estructurales como los sistemas reticulados ya que en estos sus barras trabajan a compresión y tracción, esfuerzos óptimos para el material, sin embargo, no se encontró mayor información de su implementación, por lo que deben realizarse desarrollos complementarios haciendo énfasis en la aplicación sobre los detalles y procesos de prefabricación, para obtener una unión que permita tener una mayor libertad para la configuración geométrica de los nodos, y ofrezca facilidad en los procesos de fabricación, montaje y mantenimiento, mediante una unión que permita acondicionarse a las variables dimensionales de las guaduas.

En forma paralela al desarrollo de la propuesta, se realizó acompañamiento al proyecto de trabajo de grado realizado por los estudiantes Díaz William y Gómez Carolina, *Unión Metálica Articulada Para Cubiertas De Sistemas Reticulados En Guadua* del programa de Tecnología en Construcciones Arquitectónicas de la Facultad de Arquitectura de la Universidad la Gran Colombia, proyecto con el que se comparte las directrices en cuanto al uso de uniones metálicas prefabricadas que transmitan la carga sin realizar perforaciones en las paredes de las guaduas, y permitan la conformación de diferentes geometrías con el uso de un único tipo de unión.

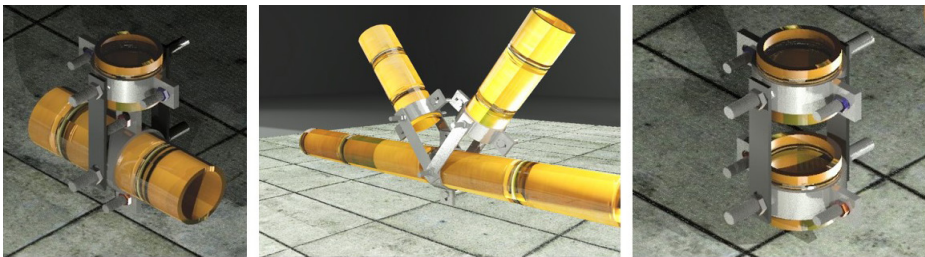


5 Unión Díaz - Gómez 2017.



6 Unión Díaz - Gómez 2017 Pruebas preliminares. (Díaz W. Gómez C.,)

La unión propuesta consiste en conformar una abrazadera por medio de dos mitades a partir de platinas independientes, unidas entre sí por medio de tornillos, de manera tal que permitan la fijación a la guadua sin realizar perforaciones en las paredes de la guadua, buscando distribuir el esfuerzo en el mayor perímetro posible de las cañas.



7 Unión por abrazaderas y platinas Martínez M.

Cada media abrazadera tiene soldado en su lateral exterior, un tornillo alineado en el centro, lo que permite conectarse por medio de platinas

secundarias a otras abrazaderas, adicionalmente, cuando la abrazadera se instala alrededor de la guadua, estos tornillos funcionan como un pivote, lo que da la posibilidad de adecuarse a cualquier ángulo, y evita la concentración de momentos que se evidenció en la unión Díaz – Gómez.

Mediante la variación de las longitudes de las platinas secundarias, se pueden conformar nudos rígidos mediante la triangulación de elementos, manteniendo esfuerzos de tracción y compresión en las guaduas, permitiendo acondicionarse a diferentes geometrías.

Se realizaron prototipos de las uniones planteadas, y se verificaron las condiciones supuestas con respecto a la facilidad de procesos de montaje, en donde los tiempos de armado de cada unión oscilan alrededor de 5 minutos, no requieren realizar cortes complejos en las guaduas, permiten la configuración de diferentes geometrías y gracias a su proceso de ensamble, permiten ser montados y desmontados con rapidez y un mínimo de equipo, lo que facilitaría tanto el montaje como los procesos de mantenimiento.



8 Prototipos de abrazaderas y platinas Martínez M.

Conclusiones

Las condiciones de irregularidad dimensional de las guaduas presentan una gran limitación frente al interés de poder realizar procesos de prefabricación y estandarización, se requiere una selección cuidadosa de los materiales para poder tener términos razonables de aprovechamiento, se hacen necesarias estrategias que faciliten esta tarea, ya sea desde la parte productiva o de comercialización del material.

La tipología de uniones propuesta tiene ventajas de orden constructivo, y se hace necesario realizar estudios complementarios para determinar las especificaciones precisas de sus elementos, resistencias y viabilidad económica, así como mejorar la adaptabilidad de la unión a diferentes diámetros.

La propuesta debe continuar su desarrollo para la conformación de un sistema, el cual permita mediante la combinación de las uniones y el uso de otros accesorios, la solución integral de una estructura.

Debe considerarse que las dimensiones de las guaduas, además de ser irregulares, pueden sufrir variaciones con el paso del tiempo y las condiciones medio ambientales, por lo que en las estructuras en guadua independientemente de las uniones que se utilicen, deben generarse recomendaciones de seguimiento y mantenimiento, aspecto en el que las uniones propuestas tienen una ventaja dado su proceso de ensamblaje.

La forma en la que se combinan las uniones permite pensar en migrarlo a otros elementos y materiales como podría ser madera rolliza, o modificar la sección para poder utilizarlo en elementos que no sean de sección semi circular.

Referencias Bibliográficas

- Ardila , C. (2013). Determinación de los valores de esfuerzos admisibles del bambú *Guadua angustifolia* Kunth del departamento de Tolima, Colombia. Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá Colombia.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2010) NSR-10: Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente. Título G: Estructuras de madera y estructuras de guadua, Bogotá, Colombia: ACIS
- Barreto W. (2017) Estudio Técnico Para El Desarrollo De Bambú (*Guadua Angustifolia* Kunth) De Sección Transversal Triangular (Modificada) Para Fabricar Vigas Laminadas En Colombia. Tesis de Maestría, Universidad del Bio Bio. Concepción, Chile
- Correal, J. , Arbeláez, J. (2010) Influence of age and height position on colombian *guadua angustifolia* bamboo mechanical properties. En: Maderas. Ciencia y tecnología, 122:105-113 Disponible on line : <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48515279005>. Consulta 5 de septiembre de 2017
- Díaz W., Gómez C (2017) .Unión Metálica Articulada Para Cubiertas De Sistemas Reticulados En Guadua Trabajo de grado programa de Tecnología en Construcciones Arquitectónicas. Universidad la Gran Colombia. Bogotá Colombia.,
- Kaminski, Sebastian & Lawrence, Andrew & Trujillo, David. (2016). Structural use of bamboo: Part 1: Introduction to bamboo. Structural Engineer. 94. 40-43.
- INBAR Red Internacional de Bambú y Ratán Oficina Latinoamérica y El Caribe 2011 Normas Técnicas Para Utilización De La *Guadua Angustifolia* Kunth En Construcción. Quito, Ecuador
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas, ICONTEC (2017). Terminología Aplicada A La Guadua, Sus Procesos Y Sus Productos (NTC 5727). Bogotá
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas, ICONTEC (2016). Propagación Vegetativa De *Guadua Angustifolia* Kunth (NTC 5405). Bogotá

- Instituto Colombiano de Normas Técnicas, ICONTEC (2010). Obtención De Latas Y Tablillas De Guadua *Angustifolia* Kunth (NTC 5829). Bogotá
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas, ICONTEC (2009). Inventario De Rodales De Guadua *Angustifolia* Kunth Para Aprovechamientos Con Fines Comerciales (NTC 5726). Bogotá
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas, ICONTEC (2008). Cosecha y postcosecha del culmo de *Guadua angustifolia* Kunth. (NTC5300). Bogotá.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas, ICONTEC (2007). Preservación y secado del culmo de *Guadua angustifolia* Kunth. (NTC5301). Bogotá.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas, ICONTEC (2006). Uniones de estructuras con *Guadua angustifolia* Kunth. (NTC5407). Bogotá.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas, ICONTEC (2006). Elaboración De Artesanías Y Muebles Con Culmos Maduros De *Guadua Angustifolia* Kunth (NTC5458). Bogotá.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas, ICONTEC (2006). Métodos De Ensayo Para Determinar Las Propiedades Físicas Y Mecánicas De La *Guadua Angustifolia* Kunth (NTC5525). Bogotá.
- Jaramillo D., Sanclemente A. (2003) Estudio de uniones en guadua con ángulo de inclinación entre elementos. Tesis para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá Colombia
- Londoño, X., Camayo, G., Riaño, N., y López, Y. ,(2002). Characterization of the anatomy of *Guadua angustifolia* (Poaceae: Bambusoideae) culms. En: *Bamboo Science and Culture: The Journal of the American Bamboo Society* 16(1): 18-31 American Bamboo Society. Disponible on line: http://www.bamboo.org/publications/e107_files/downloads/ABSJournal-vol16.pdf Consulta 5 de septiembre de 2017
- Luna, P., Takeuchi, C., Granados, G., Lamus, F., & Lozano, J. (2011). Metodología de diseño de estructuras en *guadua angustifolia* como material estructural por el método de esfuerzos admisibles. *Revista Educación en Ingeniería*, 6(11), 66-75.
- Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento. 2017 Norma Técnica E.100 para el uso de Bambú. Perú

De, m. D. C. S. R. Manual de construcción sismo resistente de viviendas en bahareque encementado.

Widyowijatnoko, A. (2012). Traditional and Innovative Joints in Bamboo Construction. Mainz.