UNIÒN METÀLICA PARA ESTRUCTURAS EN GUADUA

LEYDI CAROLINA GÓMEZ FONSECA

WILLIAM DÍAZ BARRERA

UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA

FACULTAD DE ARQUITECTURA

TECNOLOGÍA EN CONSTRUCCIONES ARQUITECTÓNICAS

BOGOTÁ D.C

2017

UNIÒN METÀLICA PARA ESTRUCTURAS EN GUADUA

UNIÓN METALICA ARTICULADA

PRESENTADO PARA OPTAR AL TITULO DE TECNOLOGO EN CONSTRUCCIONES ARQUITECTONICAS

Coordinador PTCA

Nelson Ricardo Cifuentes Villalobos

Docente de proyecto

ARQ. José Alcides Ruiz

Leydi Carolina Gómez Fonseca

William Díaz Barrera

UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA

FACULTAD DE ARQUITECTURA

TECNOLOGÍA EN CONSTRUCCIONES ARQUITECTÓNICAS

BOGOTÁ –COLOMBIA

2017

Nota de aceptación

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Firma Director Trabajo de Grado

_____

Firma del Presidente Jurado

_____

Firma del Jurado

Bogotá, 2017

Tabla de Contenido

Resumen 9
Abstract 10
Introducción 11
Planteamiento 12
Justificación 12
Objetivos 15
Objetivo general 15
Objetivos específicos 15
Metodología 16
Investigación de aplicación práctica experimental 16
Marco referencial 17
Composición de la guadua 17
comportamiento mecánico. 18
Resistencia. 19
Módulo de elasticidad. 19
Casos de estudio. 20
Sistema de conectores. 22
Uniones- Clavijo, Trujillo 23
Unión con mortero 23
Unión abrazadera. 24
Unión mecánica modificada. 24
Estructuras en guadua 25
Estructuras reticuladas 26
Desarrollo de propuesta 27
Proceso de instalación 30
Protocolo de pruebas 33
Datos de probetas. 34
Pruebas de humedad 35
Pruebas a compresión de la unión 36
Unión metálica. 37

Análisis de resultados 39
Primera prueba 39
segunda prueba 41
Tercera prueba 42
Segunda sesión 43
Primera prueba 43
Segunda prueba 44
Diagrama comparativo 46
Prueba de ensamble 47
Conclusiones 48
Recomendaciones 51
Referencia Bibliográfica 52

Lista de Figuras

Pág.

Figura 1. Fisura al contorno del perno ……13

Figura 2. Fisura en guadua, unión Andry Widyowijatnoko……14

Figura 3. Fisura guadua en perforación para inyección de mortero……14

Figura 4. Fibras de la guadua……18

Figura 5. Unión Simón Vélez, Tornillo Axial……21

Figura 6. Unión Simón Vélez, Tornillo Transversal……21

Figura 7. Sistema de Conectores……22

Figura 8. Unión con mortero Propuesta por Clavijo – Trujillo……23

Figura 9. Unión abrazadera propuesta por Clavijo y Trujillo……24

Figura 10 unión mecánica modificada para elementos en bambú……25

Figura 11. Plano diseño unión……27

Figura 12. Planta especificaciones ……28

Figura 13 Unión 3D……29

Figura 14 Abrir unión**…**……30

Figura 15 Introducir guadua en la unión.....30

Figura 16 Ajustar unión ……30

Figura 17 Girar y ajustar……30

Figura18. Corte de lámina……31

Figura 19. Perforación para tornillos……32

Figura 20. Uniones perforadas……32

Figura 21. Esquema prueba a compresión……33

Figura 22. Probetas ……34

Figura 23. Probetas prueba de humedad ……35

Figura 24. Platina de acero ……37

Figura 25 plano prueba unión **...**……..…..…....….38

Figura 26 prueba prototipo uno…….……..…39

Figura 27 prueba prototipo dos……..……...…….……..41

Figura 28 prueba prototipo tres……..……...…..42

Figura 29 primera prueba segunda sesión ……...…….……..43

Figura 30 segunda prueba segunda sesión ……...……..…….44

Figura 31 Deformación bisagra, segunda sesión ……45

Figura 32 Diagrama comparativo……...…….…….……..46

Figura 33 prueba de ensamble……...…….……47

Listado de Tablas

Pág.

Tabla 1. Diámetros característicos para la especie Guadua Angustifolia Kunt ……....……20

Tabla 2. Datos de probetas para pruebas a compresión……..……34

Tabla3. Datos de probetas para pruebas a compresión unión…….....…36

Resumen

La presente monografía se realizará a partir de la patología de fisuras que aparecen en la guadua debido a las uniones que la perforan con pernos, pasadores y clavos, se realizara una investigación de los tipos de uniones que producen este daño y se analizaran los prototipos de uniones que se han desarrollado para dar solución a este problema.

Es un tema que tiene bastante importancia en la construcción de estructuras con guadua, ya que no se está aprovecha completamente la resistencia de la guadua.

Teniendo en cuenta lo anterior, se propone diseñar una unión que trabaje como fibra radial tipo abrazadera, que ajuste la guadua según su diámetro en cada extremo que no la perfore, se realizaran varios diseños y prototipos para posteriormente someterlos a pruebas de compresión y pruebas de ensamble para confirmar su veracidad y realizar un comparativo con las uniones ya existentes.

Palabras Claves

Estructuras en guadua, unión metálica, abrazadera, fibras longitudinales, corte paralelo a las fibras.

Abstract

The present monograph will be made from the pathology of cracks that appear in the guadua due to the joints that pierce it with bolts, pins and nails, an investigation will be made of the types of joints that produce this damage and the prototypes of unions that have been developed to solve this problem.

It is a subject that is quite important in the construction of structures with guadua, since the resistance of the guadua is not fully exploited.

Taking into account the above, it is proposed to design a joint that works as radial type clamp fiber, that adjusts the guadua according to its diameter at each end that does not pierce it, several designs and prototypes will be made for later to be subjected to compression tests and tests assembly to confirm its veracity and make a comparison with the existing unions.

Key Words

Structures in guadua, metal bondng, longitudinal fibers, cut parallel to the fibers

Introducción

La guadua es un material natural que se ha implementado en la construcción ya que se destaca por sus propiedades estructurales (resistencia) esto gracias a sus fibras longitudinales, también es un material apropiado para construcciones sismo resistentes.

En la actualidad se están llevando a cabo construcciones con materiales naturales para contribuir con el medio ambiente, es decir que las construcciones con este material han incrementado, sin embargo el uso que se le da a este material no es del todo apropiado en cuanto a ensamble y uniones ya que se perfora y se atraviesa con pernos, clavos o varillas para ensamblarlas , esto hace que pierda parte de su resistencia y produce corte paralelo a sus fibras, a pesar de su alta resistencia la guadua carece de fibras radiales y esto la hace frágil en el momento de perforarla ya que las fibras tienden a separarse.

Esta es una de las problemáticas que tienen las estructuras en guadua, no se han diseñado uniones que permitan aprovechar en un cien por ciento las propiedades de la guadua, por lo tanto, se quiere proponer una unión que abrace la guadua y se ajuste según su diámetro, sin perforarla, evitando así el corte.

Se ha realizado un estudio de referentes existentes que han propuesto soluciones para esta problemática, y de allí a partido una serie de diseños, prototipos y pruebas que se le realizaran a las uniones finales, con el fin de compararlas y confirmar su funcionalidad y veracidad.

Planteamiento

¿Cómo desarrollar una unión que evite el corte paralelo a las fibras de la guadua generado entre las conexiones con perforación y la pared del canuto, cuando son sometidos a esfuerzos de compresión y tensión?

Justificación

Se observó en algunas construcciones fabricadas en guadua en las que se usaron pernos para realizar las conexiones y una serie de fisuras que aparecían desde el área de contacto entre el perno y la guadua, hasta el nodo próximo a la perforación, encaminados a realizar una investigación de las probables causas de esta patología se tuvieron en cuenta una serie de investigaciones entre las cuales encontramos tesis de grado de la Universidad Nacional y de la Salle , en donde abordan el tema de corte paralelo a las fibras de la guadua provocado por la perforación, realizan una serie de pruebas a uniones existentes y proponen alternativas para evitar esta patología aumentando en unos casos la resistencia de la guadua al corte, en conclusión estas referencias proponen que la manera de aumentar la resistencia de la guadua es evitar la perforación.

Debido a la composición de la guadua, que consiste en fibras longitudinales fuertes y que carece de fibras radiales que son las que permiten una mayor resistencia a compresión, se debe evitar la utilización de clavos o tornillos que perforen la guadua ya que aumentan la posibilidad de que estas fibras se separen y ocasionen la aparición de fisuras. Según las investigaciones recopiladas una de las principales dificultades de las estructuras en guadua son los diseños de las uniones debido a que de alguna manera la

guadua es maltratada y no se aprovecha en un cien por ciento su resistencia y demás propiedades.

Teniendo en cuenta esta problemática y patología que se presenta en la guadua, el proyecto se enfoca en el diseño de una unión que no perfore la guadua, que trabaje como fibra radial y resista a esfuerzos de compresión y tensión, se diseñaran y fabricaran varios prototipos, posteriormente se realizaran pruebas y se definirá su veracidad y eficiencia.

Figura 1. Fisura al contorno del perno
Fuente Propia: Estructura en guadua Soacha, Cundinamarca

Figura 2. Fisura en guadua, unión Andry Widyowijatnoko
Fuente Propia: Prototipo unión Andry Widyowijatnoko

Figura 3. Fisura guadua en perforación para inyección de mortero
Fuente Propia: Estructura en guadua Soacha, Cundinamarca

Objetivos

Objetivo general

Proponer una unión que solucione la patología de corte de la guadua que se genera en el área de la conexión por la perforación en la pared del canuto, cuando se somete a esfuerzos de compresión y tensión.

Objetivos específicos

- Analizar información de casos en donde se evidencie la patología de cizalladura de la guadua con respecto a las uniones y a la perforación.

- Indagar sobre las uniones ya propuestas para la solución de esta patología y

  Tomarlas como referentes para dar inicio con el diseño de la unión.

- Evaluar la unión y hacer un comparativo con las uniones ya propuestas para confirmar su eficiencia.

Metodología

Investigación de aplicación práctica experimental

Como primera medida se realiza una búsqueda de tesis e investigaciones que estudian la patología del corte paralelo a las fibras de la guadua y la influencia de las uniones sobre esta. También se realiza una recolección de datos de forma visual, es decir que, visitas en algunas construcciones con guadua para determinar el problema y diseñar la posible solución.

Teniendo en cuenta el estudio realizado, la propuesta va encaminada a diseñar y realizar una unión que mitigue la patología ya mencionada en la guadua, de esta manera se dará inicio a la compra de los materiales y posteriormente a la fabricación de los primeros prototipos que serán sometidos a pruebas de compresión, cabe notar que al realizar las pruebas de la unión se utilizara guadua, por lo que también se realizaran pruebas a la guadua ,de humedad y compresión paralela a las fibras, para determinar su estado.

Finalizadas las pruebas se realizará el análisis de los resultados, un comparativo con la resistencia a compresión de algunas uniones existentes y la unión propuesta, que se representará de forma cuantitativa por medio de una gráfica de barras. Para terminar, se fabricarán las uniones necesarias para hacer una prueba de ensamble armando una cercha plana sencilla.

Marco referencial

Existe una relación directa entre las fisuras que se observan en las estructuras en guadua y la utilización de uniones que la perforan, se expondrán casos de estudio donde se evidencia que al someter dichas uniones a esfuerzos de compresión y tensión el material compuesto por fibras longitudinales (guadua) sufre de cortante en el área de contacto entre el perno y la pared del canuto.

Para entender el problema de corte paralelo a las fibras se debe tener en cuenta la composición del material de guadua y el funcionamiento de este ante esfuerzos mecánicos.

Composición de la guadua

La guadua está conformada por fibras longitudinales y una substancia que las mantienen unidas tal como lo explica, Pantoja, & Acuña (2005). La masa de la Guadua está conformada por un 50% de celulosa y hasta 30% de lignina. Los tallos se afilan hacia arriba y el grueso de las paredes se adelgaza. La alta resistencia longitudinal de las paredes de los entrenudos, se debe a que las fibras están dispuestas en dirección paralelas. En los nudos las fibras se cruzan en todas las direcciones. (p. 24). Se mantiene un alto índice de fibra muy resistente que es la que permite que las cargas se distribuyan longitudinalmente por toda la guadua, en el caso de refuerzo transversal solo se cuenta con lignina, esta sustancia se encarga de pegar las fibras una con otra, pero debido a los esfuerzos inducidos al material se queda corta y permite que se despréndanlas fibras.

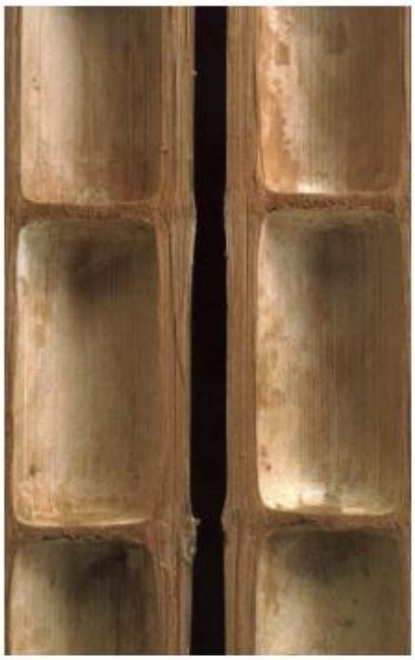

Figura 4. Fibras de la guadua
Fuente: Pantoja, N (2005) Resistencia corte paralelo a la fibra de la guadua angustifolia kunt, Universidad Nacional.

Comportamiento mecánico.

Debido a la composición de la guadua se puede inferir que el material tiene una alta resistencia a la tracción paralela a las fibras, mientras que a compresión y flexión presenta índices más bajos de resistencia, en cuanto a su módulo de elasticidad Pantoja, & Acuña (2005) afirma que ¨ es relativamente bajo si se compra con el del acero, lo cual obliga en el diseño a controlar las deformaciones especialmente cuando se diseñan elementos largos a flexión¨ (p. 25).

Estos son algunos valores de resistencia tomados del libro: El Regalo de los Dioses, Oscar Hidalgo.

Resistencia.

Tracción: Entre 26.000 y 50.000 psi – (1.800 a 3.500 kg/cm2)

Compresión: Entre 8.000 y 12.000 psi – (560 a 840 kg/cm2)

Flexión: Entre 11.000 y 40.000 psi – (770 a 2.800 kg/cm2)

Módulo de elasticidad.

Tracción: Entre 2.000.000 y 4.500.000 psi – (140.000 a 310.000 kg/cm2)

Compresión: Entre 2.000.000 y 2.800.000 psi – (140.000 a 200.000 kg/cm2)

Flexión: Entre 1.500.000 y 3.100.000 psi – (105.000 a 220.000 kg/cm2)

La guadua tiene un valor alto de resistencia a la tracción paralelo a la fibra, menor resistencia a la compresión paralela a la fibra y a la flexión. Su módulo de elasticidad es relativamente bajo si se compara con el del acero, lo cual obliga en el diseño a controlar las deformaciones especialmente cuando se diseñan elementos largos a flexión.

Las características de la guadua varían debido al clima, zona, cosecha, tiempo de corte, humedad. Además, cada tallo de guadua es diferente en cuanto a su diámetro, espesor o longitud, lo que hace difícil estandarizar su comportamiento, la variación es tal que todas las especies botánicas tienen también diferentes comportamientos mecánicos, el comportamiento estructural también dependerá de la forma como se apliquen las cargas, que puede ser: paralela o perpendicular a las fibras.

Tabla 1

Diámetros característicos para la especie Guadua Angustifolia Kunt

(mm)

Autor	Media	Mínimo	Máximo
García, J. (2004)	105	64	158
Stamm, J. (2002)	115	106	130
Montoya, J. y Morales, T. (2001)	110	80	130
Tackeuchi C. y Cortéz, J. (2012)	125	110	170

Fuente: Barreto, W (2017). Estudio técnico y logístico de bambú (Guadua angustifolia kunth) de sección trasversal triangular (modificada) para fabricar vigas laminadas en Colombia.

Según esta investigación se exponen diferentes diámetros de guadua utilizadas en construcción se tomaron dos medidas, la máxima y la mínima teniendo en cuenta esto se deriva la medida media que va de 10.5 cm a 12.5 cm, tomando como referencia esta investigación la propuesta debe cumplir con los diámetros medios utilizados para la construcción con guadua.

Casos de estudio.

Unión tipo Simón Vélez. en el año de 1996 la estudiante Jenny Garzón de la universidad nacional de Colombia evaluó la unión propuesta por Simón Vélez donde se comprobó que resiste 3000kg por cada canuto relleno de mortero , la falla esta inducida por el nudo sin sobrepasar la resistencia a la tracción del material , esto se debe a que las

paredes de la guadua tienen poca adherencia al concreto lo que hace que al ejercer una fuerza sobre la conexión el concreto resbale hacia el nudo enviando todo el esfuerzo sobre ese punto ocasionando la falla .

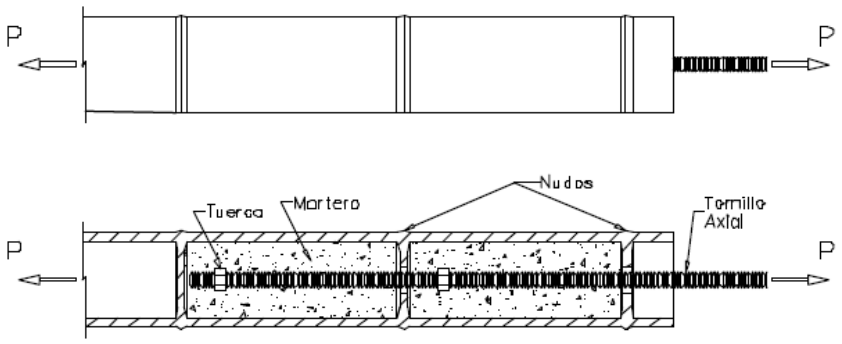

Figura 5. Unión Simón Vélez, Tornillo Axial
Fuente: Camacho, V, &, Páez, I. (2002). Estudio de conexiones en guadua solicitadas a momento flector.

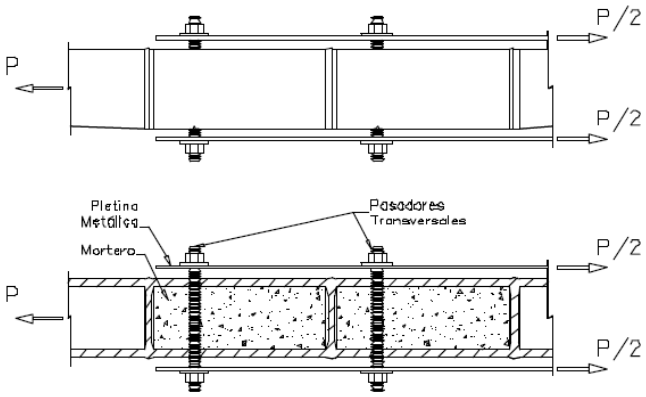

Figura 6. Unión Simón Vélez, Tornillo Transversal
Fuente: Camacho, V, &, Páez, I. (2002). Estudio de conexiones en guadua solicitadas a momento flector.

Sistema de conectores.

Este trabajo fue realizado por estudiantes Cesar Peña y Hugo Rodríguez de la universidad nacional de Colombia en el cual propusieron un conector conformado por una lámina circular perforada a la que se le introduce un pasador de ½ ¨ que atraviesa la guadua y ocho puntillas de 1´´ de longitud y de ¼´´ de diámetro estas últimas son colocadas alrededor de la lámina. Esta unión arroja una resistencia de 1000kg por cada par de conectores, cabe aclarar que, aunque arroja una menor resistencia que la anterior el rendimiento en cuanto a instalación es

mucho más alto. Lo que pretende hacer esta propuesta es reforzar la perforación por medio de una lámina que recubra la zona de contacto entre el perno y la guadua pues según lo expuesto en ese punto es donde empieza la fisura.

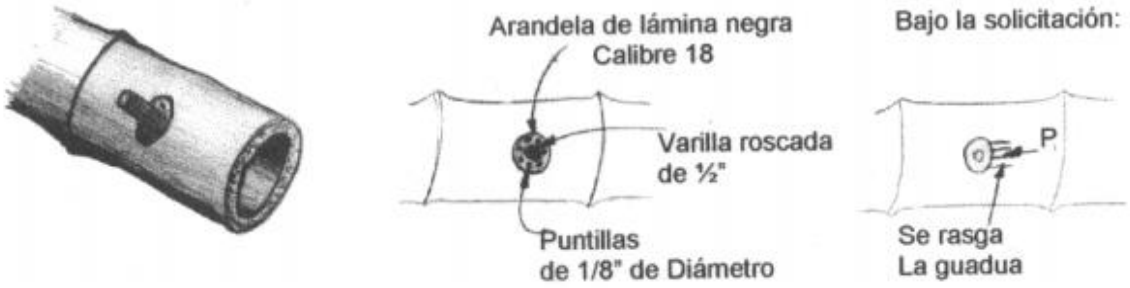

Figura 7. Sistema de Conectores
Fuente: Peña, C. y Rodríguez. Propuesta de uniones mecánicas para estructuras de guadua, Universidad Nacional.

Uniones- Clavijo, Trujillo

Los estudiantes Sandra Clavijo y Diego Trujillo de la Universidad Nacional, propusieron en su proyecto de grado dos tipos de uniones a tensión:

Unión con mortero

Se realiza pre taladrando 8 orificios en un canuto, de manera que no queden alineados, Luego se introducen varillas lisas de ½" en cada orificio. Se taladran 2 orificios de 5/8" para atravesar una varilla roscada de 5/8" y otro orificio de ¼" para introducir el mortero al entrenudo, figura 8. Resistencia obtenida de 6.565 Kg.

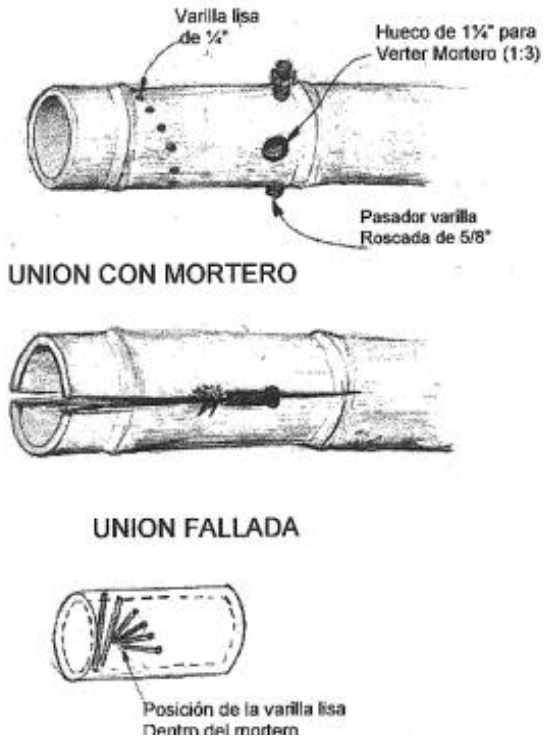

Figura 8. Unión con mortero Propuesta por Clavijo - Trujillo
Fuente: Clavijo, S. y Trujillo, D. Evaluación de uniones a tracción en guadua. Universidad Nacional.

Unión abrazadera.

Consiste en una lámina Cold Rolled calibre 22 de 4 cm de ancho, enrollada en la guadua con cinco vueltas y 12 tornillos, Figura 9. Esta unión resiste del orden de 10.500Kg carga última y la falla se produce por rasgamiento de las paredes de la guadua.

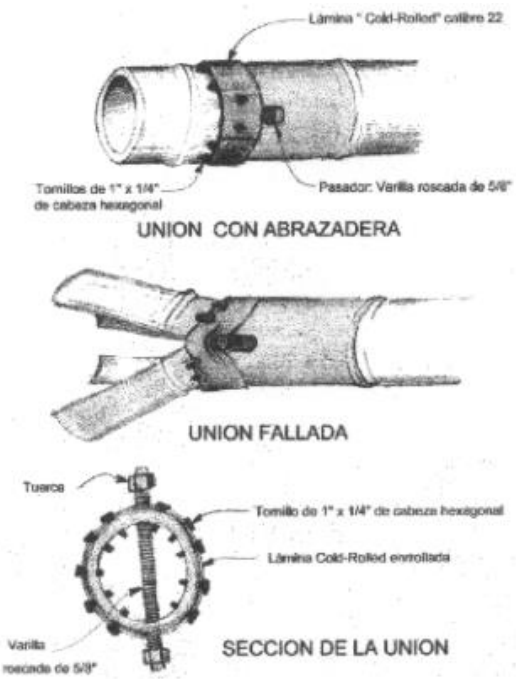

Figura 9. Unión abrazadera propuesta por Clavijo y Trujillo
Fuente: Clavijo, S. y Trujillo, D. Evaluación de uniones a tracción en guadua. Universidad Nacional.

Unión mecánica modificada.

Es un sistema de conectores conformado por una lámina rectangular calibre 16 perforada a la cual se le introduce un pasador de 16 mm (5/8”) y cuatro tornillos ordinarios de cabeza de cabeza hexagonal de 25 mm (1”) de largo por 6 mm (1/4”) de ancho. Para introducir el pasador y los tornillos se pre taladra con el fin de evitar la

rajadura de la guadua, tiene una resistencia de 2100 kg y la falla se originó por el rasgamiento de las paredes de la guadua. Villalobos, 2011, pag.4.

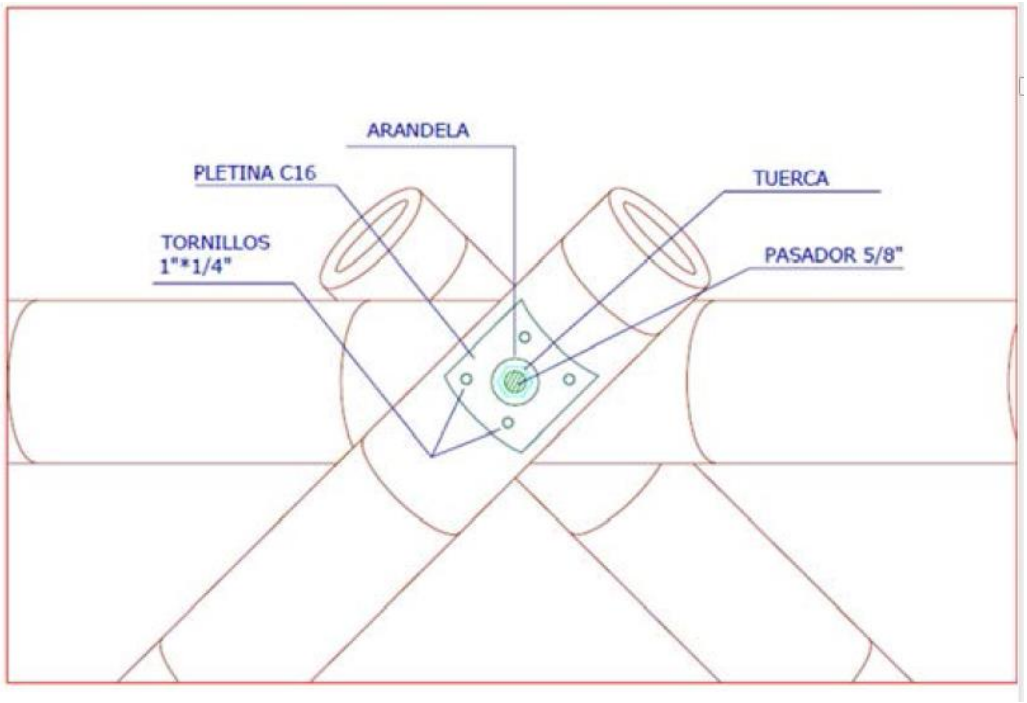

Figura 10. Perfil, unión mecánica modificada para elementos en bambú
Fuente. Gutiérrez, J., Gómez, R. (2002)

Estructuras en guadua

Existen diversos tipos de estructuras en guadua se referenciaron dentro de la investigación ya que se quiere dar a conocer el funcionamiento de cada estructura para entender los diferentes ángulos que se utilizan en estas construcciones.

Estructuras reticuladas

Estas estructuras son las compuestas por un conjunto de barras o celosías interconectadas que forman triángulos y que trabajan a esfuerzos axiales de compresión y tracción.

Se componen de dos tipos que son: los reticulados planos : Estas estructuras compuestas por barras que forman triángulos invariables, se encuentran establecidas en un solo plano un ejemplo de este sistema son las cerchas y muros con celosía ;y los reticulados espaciales: Están compuestas por barras rígidas que forman triángulos a diferencia de los planos estas estructuras pueden tener cualquier dirección en el espacio dando la impresión de tener una estructura en tres dimensiones, evita los momentos.

En relación con el proyecto se enmarca la construcción con estructuras reticuladas ya que en este tipo de construcción se utilizan diferentes ángulos para crear triangulación y evidentemente es la más usada en construcciones con guadua, esta necesidad de crear conexiones que permitan obtener un sin número de ángulos de fijación es la que lleva realizar la propuesta.

Desarrollo de propuesta

El proyecto inicia en el primer semestre del año 2017, encontrando esta problemática y necesidad en la asignatura de vernáculas, en donde se analizó el problema de las uniones en estructuras en guadua, las propiedades mecánicas de la guadua y empleando nuevos procesos constructivos con materiales vernáculos contribuyendo al medio ambiente y sostenible.

La unión propuesta se enfoca en mejorar la resistencia de las estructuras en guadua evitando la perforación y la aparición fisuras, es un de tipo abrazadera metálica que envuelve el extremo dé cada guadua ajustándola con dos tornillos, no requiere perforación, con opción de direccionarla en diferentes ángulos según el diseño de la estructura y cada unión tiene de dos a tres abrazaderas esto depende de la necesidad.

Las uniones de tipo de abrazadera tubular y rígida ayudarían a trasmitir los esfuerzos y cargas de una forma eficiente proporcionando mayor resistencia a la estructura.

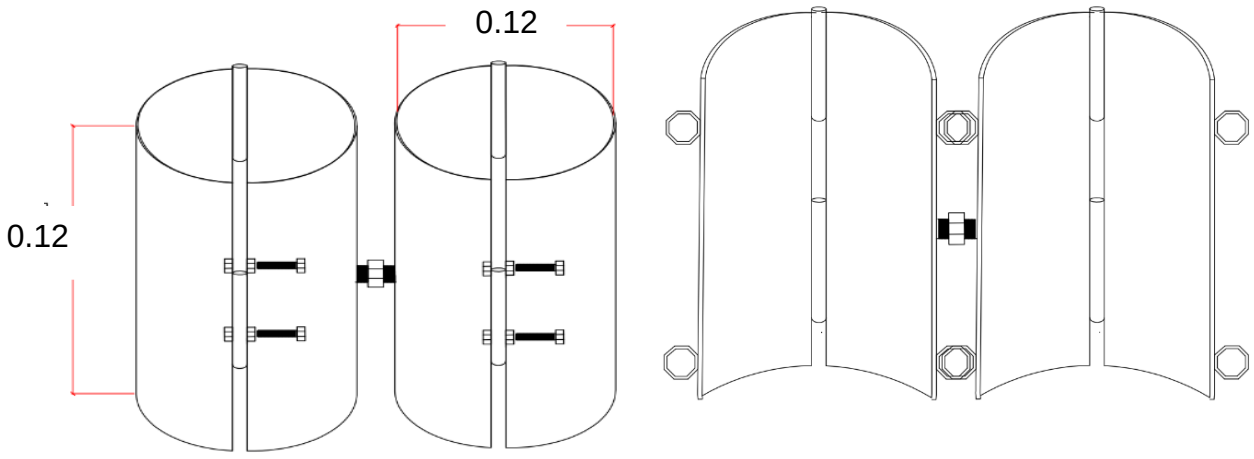

Figura 11. Plano diseño unión
Fuente Propia: Elaboración propia

El diseño de la unión se definió como un tipo de abrazadera ya que trabaja como una fibra radial en el exterior de la guadua y a la vez evita que sea perforada, el diámetro de la unión se dio gracias al análisis del estudio de Barreto, Estudio técnico y logístico de bambú (Guadua angustifolia kunth) de sección trasversal triangular (modificada) para fabricar vigas laminadas en Colombia. ,en donde indica que el estándar de la guadua que se utiliza para estructuras tiene un diámetro entre 10cm a 12cm , también cabe aclarar que la guadua no tiene el mismo diámetro, por lo que se le dio una altura a la unión de 12 cm ya que en este punto el diámetro no varía significativamente y permite que se ajuste en los dos extremos de la unión, cada uno con su respectivo tornillo , otro punto importante de la altura de la unión es que los esfuerzos ya tienen un punto de concentración más grande , de esta forma ayudan a transmitir los esfuerzos y cargas. optimizando y mejorando la resistencia de la estructura.

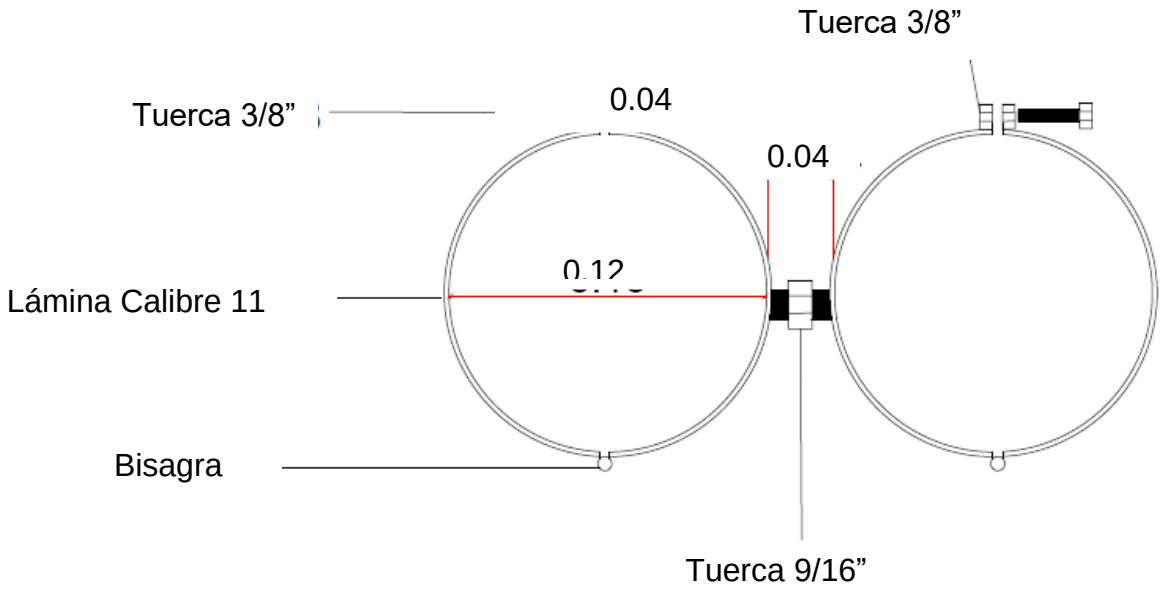

Figura 12. Planta de unión especificaciones
Fuente Propia: Elaboración propia

A medida que fue avanzando la investigación, se determinó que otro problema que tienen las uniones actuales son los diferentes ángulos que se pueden llegar a utilizar en una estructura como las estructuras reticuladas planas y espaciales, en este caso se combinan diferentes tipos de uniones y métodos para lograr construirlas, se analizó que estos procesos toman más tiempo debido a su complejidad , fue entonces cuando se decidió unir dos abrazaderas que no sean paralelas ni fijas , sino que puedan girar a 360º y que además se pueda ajustar al ángulo requerido para lograr esto se implementó un tornillo y dos tuercas que cumplen con un sistema de giro y ajuste.

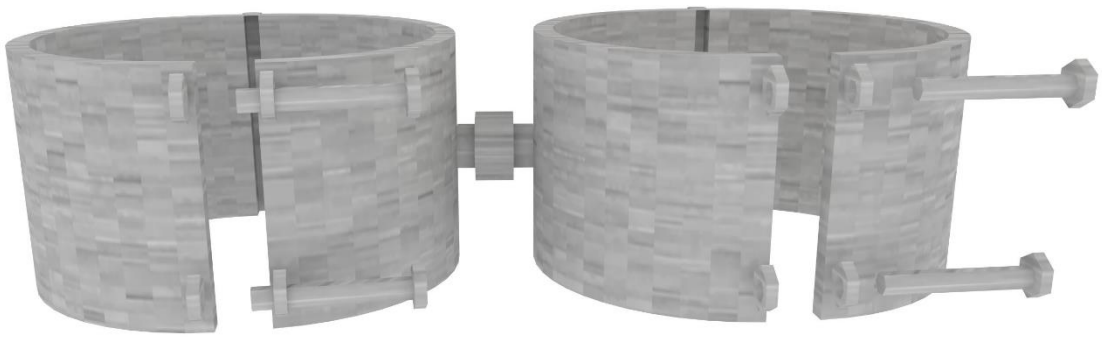

Figura 13. Unión 3D
Fuente Propia: Elaboración propia

Proceso de instalación

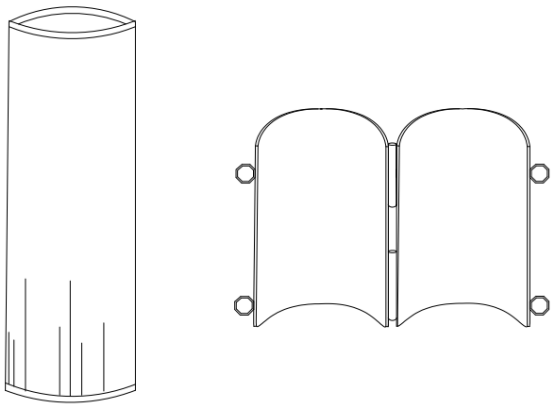

Figura 14 Abrir unión
Fuente: Elaboración propia

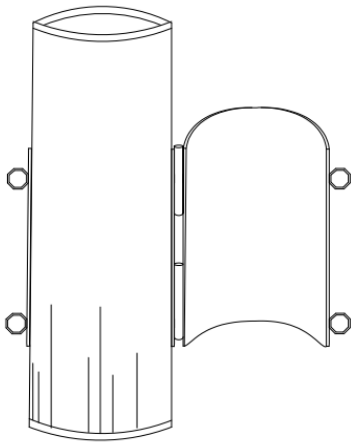

Figura 15 introducir guadua en unión
Fuente: Elaboración propia

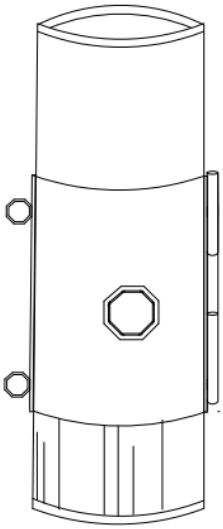

Figura 16 Cerrar y ajustar
Fuente propia: Elaboración propia

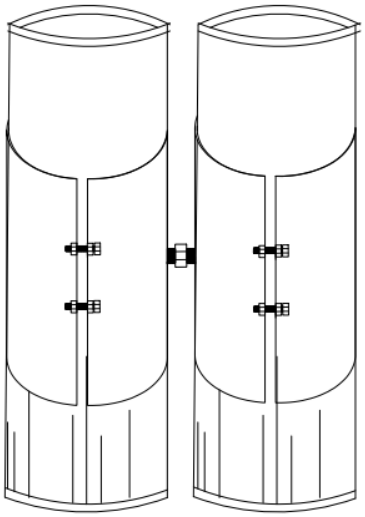

Figura 17 Girar y ajustar
Fuente propia: Elaboración propia

En proceso de instalación de la unión consta de cuatro paso : en primer lugar se prepara la guadua que se va a utilizar y se abren las abrazaderas tal como lo muestra la figura (14); como segunda medida se procede a introducir la guadua dentro de la abrazadera como lo muestra la figura (15) : el siguiente paso consta en cerrar la abrazadera y ajustarla enroscado los dos tornillos como se muestra en la figura (16) el último paso consiste en enroscar la abrazadera número 2 de tal manera que se pueda ubicar el ángulo a utilizar para posteriormente ajustar la tuerca central de la articulación y garantizar la fijación como muestra la figura (17).

Figura.18 Corte de lámina
Fuente Propia: Elaboración Propia

El material principal de estos prototipos es un tubo col role de calibre 16, varilla roscada de 9/16, tuercas 5/8 ¨ y tornillos 5/8 ¨, como herramienta de corte se utilizó una tronzadora, como se ve en la imagen se cortaron fragmentos de 12cm y en cada una se realizó un corte a la mitad para instalar la bisagra que es la que permitirá que trabaje como abrazadera y al otro extremo se instalaran cuatro tuercas para el ajuste.

Figura.19 Perforación para tornillos
Fuente Propia: Elaboración Propia

Como se observa en la imagen se está utilizando un taladro industrial para la perforación que se debe realizar en el costado interior de cada abrazadera con el fin de instalar el tornillo y las tuercas que son las que van a permitir el giro entre las dos abrazaderas.

Figura 20. Uniones perforadas
Fuente Propia: Elaboración Propia

Protocolo de pruebas

La guadua que se va a utilizar es angustifolia kunt, basa, seleccionada, inmunizada y sin nodo.

Se realizarán pruebas de compresión paralela a las fibras de la guadua para determinar sus condiciones estructurales. Según la NTC 5525 Y NSR10 Titulo G.

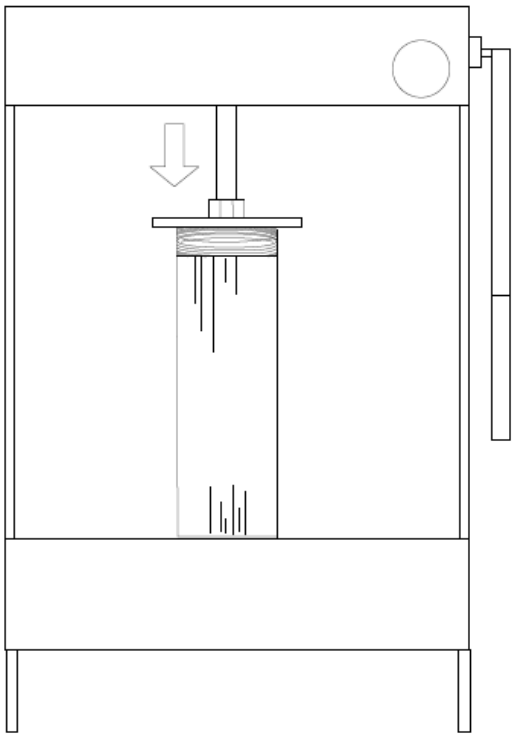

Figura 21. Esquema prueba a compresión
Fuente Propia: Elaboración Propia

La figura 21 muestra la manera en que se someterá la guadua a pruebas de compresión; consta de una prensa hidráulica y probetas de aproximadamente 40 cm, las cuales serán ubicadas en el centro de la barra que comprime de tal manera que el esfuerzo de compresión se aplique uniformemente a toda la probeta

Figura 22. Probetas
Fuente Propia: Elaboración Propia

Datos de probetas.

Tabla 2

Datos de probetas para pruebas a compresión

DATOS PRUEBAS PARA GUADUA					
GUADUA A			**GUADUA B**		
PROBETA 1			**PROBETA 1**		
DIAMETRO	**ESPESOR DE PARED**	**LARGO**	**DIAMETRO**	**ESPESOR DE PARED**	**LARGO**
10,8 cm	1,5 cm	30cm	11,2 cm	1,5 cm	30,2 cm
PROBETA 2			**PROBETA 2**		
11 cm	1,5 cm	30,3 cm	11,4 cm	1,1 cm	30cm
PROBETA 3			**PROBETA 3**		
11 cm	1,5 cm	30,2 cm	11,6 cm	1,3cm	30,2 cm

Fuente Propia: Elaboración Propia

Pruebas de humedad

Figura 23. Probetas prueba de humedad
Fuente Propia: Elaboración Propia

Con respecto al título G de la NSR 10, en su numeral 11.3.1 materiales, como requisito para construcción con madera el contenido de humedad no puede sobrepasar el 19 %, teniendo en cuenta esta especificación se determinó el contenido de humedad de los especímenes de guadua que se utilizaron para el desarrollo de las pruebas, estas arrojaron un contenido de humedad del 16%, lo cual demuestra que las guaduas cumplen con el requisito establecido por la norma.

Tabla 3

Datos de probetas para pruebas a compresión unión

DATOS GUADUA -PRUEBAS CON UNIÓN		
GUADUA A		
PROBETA 4		
DIAMETRO	**ESPESOR DE PARED**	**LARGO**
11 cm	1,2 cm	20,4 cm
PROBETA 5		
10,9 cm	1,2 cm	20,3 cm
PROBETA 6		
11,1 cm	1,4 cm	20,4 cm
PROBETA 7		
11 cm	1,2 cm	20,3 cm
PROBETA 8		
11,1 cm	1,2 cm	20,3 cm

Fuente Propia: Elaboración Propia

Pruebas a compresión de la unión

Se realizaron pruebas de compresión paralela a las fibras, se utilizó una prensa hidráulica manual de 10 toneladas, según el diseño de las pruebas, se debe fabricar una platina de acero para que la carga sea igual y puntual en toda la probeta, ya que la guadua es una especie de cilindro y vacío en su interior, como se puede ver en la figura se diseñó y se fabricó una platina con una tuerca para instalar en la parte superior de la prensa hidráulica y se genere el esfuerzo.

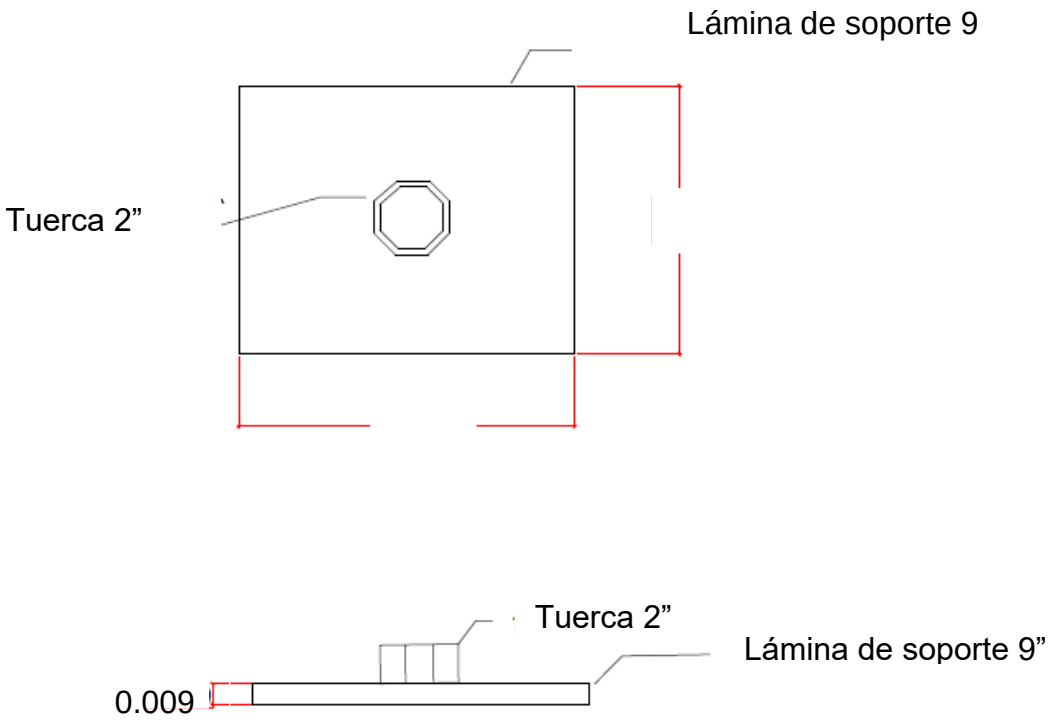

Figura 24: Platina de acero
Fuente Propia: Elaboración Propia

Unión metálica.

El diseño de la prueba de la unión metálica propuesta se enfocó en la tuerca y tornillo de la articulación para calcular su resistencia, ya que esta es la parte de la unión que recibe mayor esfuerzo, como se observa en la figura se realizó un prototipo con dos abrazaderas, una guadua está en la base y la otra la sostiene la abrazadera, es to con el fin de que la guadua que está en la base quede estática esto se logra con una platina en la

parte superior y cuatro ángulos en la parte inferior de la prensa , unidas con cuatro tornillos largos y tuercas; la otra abrazadera sostiene la guadua que se encuentra más arriba, a esta es a la que se le aplica e esfuerzo a compresión para al fin determinar el esfuerzo admisible.

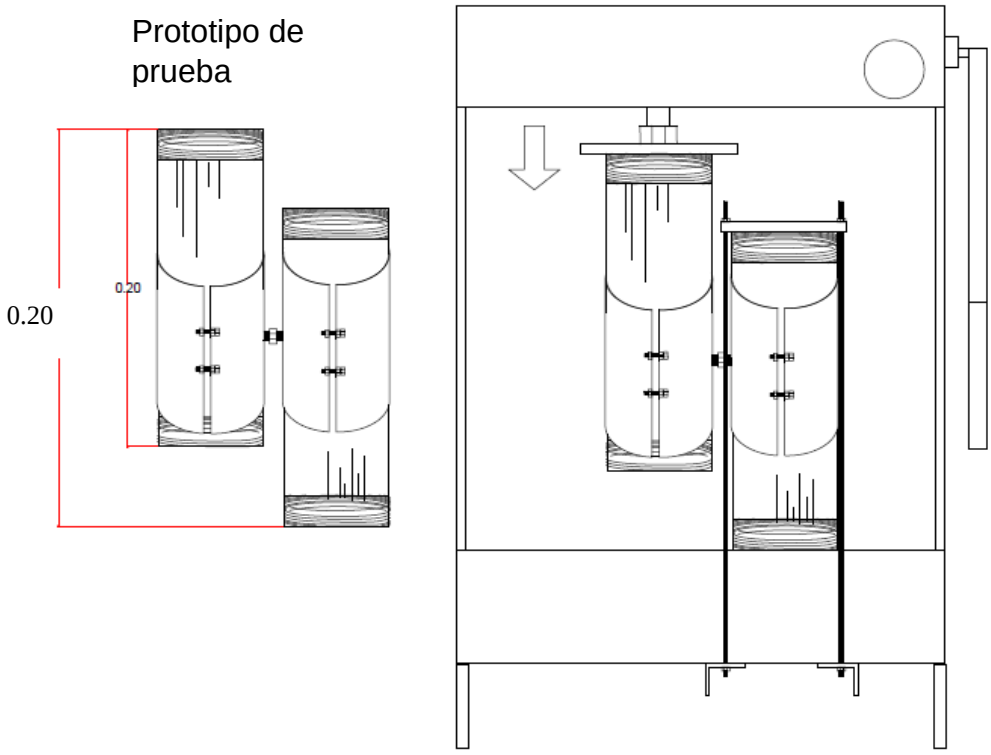

Figura 25 plano prototipo de prueba
Fuente propia: Elaboración propia

Análisis de resultados

Se realizaron las pruebas de compresión a tres prototipos utilizando una prensa hidráulica de 10 toneladas esta es la misma que se utilizó para realizar las pruebas a la guadua, a continuación, se muestran los diferentes ensayos y sus resultados.

En los primeros tres prototipos de prueba se utilizó lamina calibre .80 décimas tubo cold rolled aguas negras gris.

Primera prueba

Figura 26 Prueba prototipo uno
Fuente propia: Elaboración propia

El primer prototipo sufrió deformaciones al aplicarle una carga de dos toneladas, se evidencia en la imagen el desplazamiento del tornillo, cabe anotar que, aunque se deformo la unión, en ningún momento hubo corte o fractura.

Durante el inicio de la prueba la guadua se desplazó hacia abajo a medida que se cargaba, esto debido a que no se ajustaron los tornillos de la abrazadera , y la que estaba fija tuvo una mayor deformación debido a la tolerancia que se dejó al ajustarse , para no desmontar la probeta se aseguraron más fuerte los tornillos directamente desde la prensa hidráulica, se aprecia en la imagen la separación que existe en medio de cada parte dela abrazadera que evidencia la tolerancia que tiene la lámina para adaptarse unos centímetros más si lo requiere el diámetro de la guadua .

No se llevó al punto de rotura ya que la prensa no cuenta con la tecnología para mantener la carga durante la deformación, debido a esto se descarga la prensa y vuelve a iniciar el conteo desde cero, esto no proporcionaría los datos reales de resistencia, con respecto a las uniones utilizadas de referencia existe la diferencia que estas se llevaron a prueba hasta el punto de rotura de material o corte paralelo a las fibras de la guadua.

segunda prueba

Figura 27 Prueba prototipo dos
Fuente propia: Elaboración propia

La segunda prueba alcanzo una resistencia de dos toneladas equivalente a la misma medida que la probeta número uno; se evidencia la deformación de la unión en la zona de articulación, al ajustarse más las abrazaderas debido a lo ocurrido en la prueba 1 ,el desplazamiento de la lámina que compone la abrazadera fue mínimo la imagen muestra claro que la abrazadera está totalmente sujeta a la guadua a pesar de la deformación en la articulación la lámina sigue conservando su diámetro correspondiente al momento de fijar los tornillos , al utilizar los nudos de la guadua como tope para evitar el deslizamiento la prueba transcurrió sin percances .

En esta prueba, después de deformarse la articulación, se presenta un corte en la parte superior de la guadua cargada, esto se debió a que, al deformarse la unión, se giró

levemente la guadua cargada provocando que la platina encargada de repartir el esfuerzo lo enviara solo a una parte del borde de la guadua ocasionando el corte.

En esta segunda prueba el material demuestra que se adapta bien al contorno de la guadua, con respecto a la prueba anterior la guadua utilizada es de un diámetro menor ya que el espacio de separación entre las partes de la abrazadera es más corto en la parte superior que en la inferior.

La prueba no se llevó al límite de rotura debido a que la guadua se fracturo y provoco que la prensa se descargara, la deformación ocasionó que el tornillo arrastrara el material de lámina sin ocasionar desprendimiento o cizalladura

Tercera prueba

Figura 28 Prueba prototipo tres
Fuente propia: Elaboración propia

La tercera prueba arrojo una resistencia de dos toneladas en donde se observa deformación en la articulación, se utilizó el mismo principio de instalación después del nudo para evitar que la guadua se desplazara; el diámetro de esta guadua es mayor al anterior y el material sigue comportándose bien en lo que se refiere a adaptación al contorno de la pared de la probeta.

Hay un desplazamiento de la lámina de la abrazadera en la sección que esta fija, además la guadua cargada desplazo la abrazadera paralela a la que esta fija, es una observación que no se registra en las anteriores pruebas ya que en esas la parte de la unión cargada giraba y la parte inferior buscaba tocar la abrazadera fija.

Segunda sesión

Para la realización de la segunda prueba se modificó el tipo de lámina de la abrazadera utilizando un tubo cold rolled estructural calibre .80 décimas. Esta lámina tiene una concentración mayor de carbono lo cual la hace más rígida y resistente.

Primera prueba

Figura 29 Primera prueba, segunda sesión
Fuente: Elaboración propia

Se realizó teniendo en cuenta el método anterior de prueba donde se une una abrazadera a la prensa y se carga la otra sección para provocar el corte en la articulación, en esta primera prueba se obtuvo una carga de 8.5 toneladas, presento una deformación en el tornillo de la articulación y una deformación en la bisagra que desplazo la mitad de la abrazadera hacia un costado y hacia abajo, los tornillos de fijación utilizados en la abrazadera sufrieron una leve deformación debido a que la platina es más rígida, concluyendo con este ensayo la resistencia con respecto a la prueba anterior aumento en un 68 % .

Segunda prueba

Figura 30 Segunda prueba, segunda sesión
Fuente: Elaboración propia

Figura 31 Deformación bisagra, segunda sesión
Fuente: Elaboración propia

Se desarrolló utilizando el mismo método de ensayo de las pruebas anteriores, alcanzando una resistencia de 10 toneladas, se presentaron deformaciones en la bisagra en donde hubo desprendimiento del sistema de rotación de la abrazadera, las tuercas de la articulación quedaron más juntas y la deformación del tornillo fue muy leve aunque en la fotografía no se evidencia muy bien ya que fue imposible soltar las tuercas de la articulación, los tornillos que unen la abrazadera se deformaron a tal punto que impidió desprenderlo de las tuercas, la guadua no sufrió ningún tipo de deformación ni ruptura, con este ensayo la resistencia con respecto a la prueba anterior aumento en un 80 % .

Diagrama comparativo

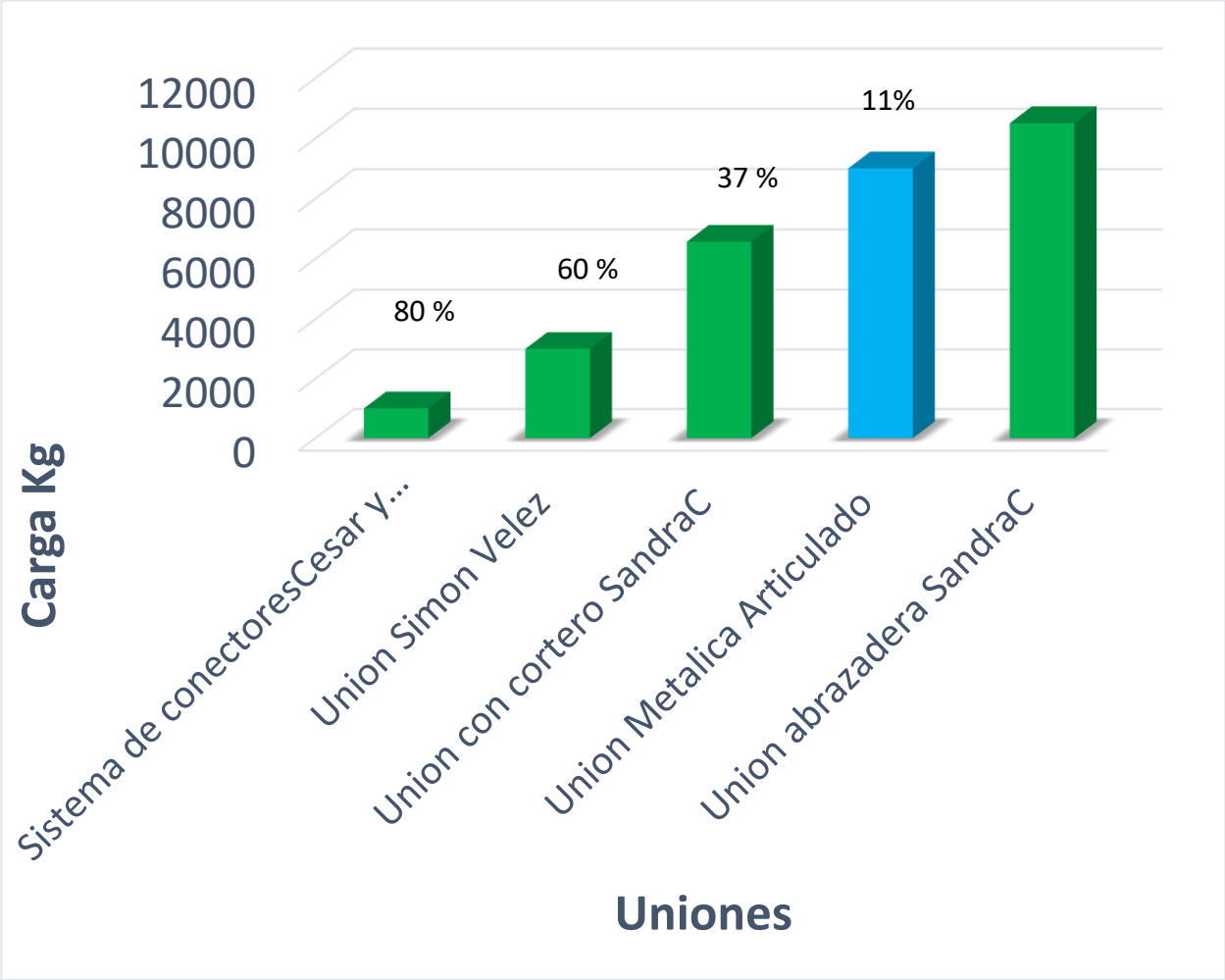

Figura 32. Diagrama comparativo
Fuente: Elaboración propia

La unión metálica presenta un aumento en la resistencia con respecto a las tres primeras investigaciones, superando en un 80% a la unión de sistemas de conectores ,60% a la de Simón Vélez, 37% unión con mortero Sandra Clavijo, con respecto a la unión con abrazadera demostró una resistencia menor en un 11 %.

Prueba de ensamble

Figura 33 Prueba de ensamble
Fuente: Elaboración Propia

En la prueba de ensamble se construyó una cercha sencilla, en donde se utilizaron 5 uniones , en primer lugar se realizó un proceso de selección de la guadua que consistía en buscar los diámetros de sección trasversal que estuvieran en un rango de 10 a 12.5 cm , posteriormente se tomaron medidas de la base y de la guadua central de la cercha para realizar el corte , se ensamblaron , luego se tomaron las medidas de la pendiente se cortaron las guaduas y se instalaron para completar la fabricación de la cercha , al realizar esta prueba por primera vez hubieron inconvenientes en la ubicación de los ángulos lo que ocasionó pérdidas de tiempo en el ensamble y ubicación de las guadua, el proceso de ensamble tuvo una duración de 45 minutos aproximadamente.

Conclusiones

Realizadas las pruebas a los tres primeros prototipos se concluye que la unión evita que la guadua falle por corte paralelo a la fibra, soportando una carga de dos toneladas, no alcanzo la resistencia propuesta por la unión tipo Simón Vélez 3000 kg que es la que está normalizada (boca de pescado), cabe anotar que no se llevó la probeta hasta el punto de rotura, debido a que la maquina utilizada para la prueba se descargó luego de que la articulación se deformara.

Debido a la deformación que sufrió la articulación en las tres primeras pruebas, se concluye que el calibre de la lámina que compone la abrazadera (cal 11 o .80 décimas) puede aumentarse a cal 10 o cambiar el material para garantizar una mayor resistencia a la deformación que se provoca en la abrazadera donde se ajusta el tornillo de la articulación.

Las tres pruebas posteriores en donde se utilizó lámina de tubo estructural cal 11 o .80 décimas arrojaron unos resultados mucho más favorables para la unión, en la primera prueba alcanzo las ocho toneladas, la segunda cuatro toneladas y la tercera 10 toneladas, lo que determina un incremento de resistencia del 100% con respecto al material de la primera prueba.

En el desarrollo de la segunda prueba se observó una deformación en la articulación y en las bisagras de la abrazadera, en esta ocasión el material se cargó hasta el punto de descargue de la maquina pues debido a que la prensa es manual no permite una carga constante hasta que se produzca la ruptura.

En el proceso de instalación para el desarrollo de las pruebas se observó que en dos probetas se deslizaba la guadua cuando se aplicaba la carga, esto debido a que no se ajustaron completamente las abrazaderas al contorno de la guadua y provocó una deformación más notoria en la lámina de la abrazadera, en conclusión; la fijación debe realizarse con extrema precisión y cuidado para garantizar el buen funcionamiento de la unión.

Con respecto a la observación de los casos encontrados de estructuras con corte paralelo se evidencia una patología igual en la perforación realizada para la inyección de concreto; con respecto a eso se concluye que el problema no es solo la perforación para incrustar el perno si no que cualquier tipo de perforación realizada en la zona de unión entre la guadua.

Se superó la resistencia alcanzada por las uniones de Simón Vélez, Sandra Clavijo, en cuanto a instalación la unión permite una facilidad de ensamble y evita el uso de herramientas eléctricas lo cual hace de esta una opción muy buena para el desarrollo de proyectos en corto tiempo y en lugares donde no se cuente con el servicio de energía eléctrica.

En la realización de la prueba de ensamble se construyó una cercha sencilla, encontrando inconveniente en la fijación de la abrazadera provocadas por que la longitud de los tornillos era muy corta y en algunos casos apenas y mantenían junta la abrazadera, en conclusión, al no contar con diámetros de guadua uniformes o seleccionados los tornillos de fijación deben tener una longitud mayor a 1,5 ``.

En cuanto al montaje la propuesta permite un mantenimiento más rápido y limpio donde se puede fácilmente soltar la abrazadera y cambiar la guadua que este en mal estado, una gran cualidad teniendo en cuenta que la guadua es un material vegetal que tiende a perder sus propiedades mecánicas por las inclemencias del clima o plagas que deterioran el material.

Recomendaciones

Primera medida se recomienda ajustar muy bien los tornillos que sujetan la guadua a la abrazadera para evitar que la guadua se resbale en el momento de cargar la estructura; esto también ayudara a que disminuyan las deformaciones en la sección donde se une la articulación.

Se recomienda que la soldadura sea aplicada por expertos que garanticen la efectividad y calidad del cordón esto con el fin de evitar desprendimiento de la articulación por baja calidad en la fabricación.

Utilizar la herramienta adecuada para el ajuste de los tornillos con el fin de garantizar su optima fijación se recomienda la siguientes: llaves, rache, copas; este tipo de herramientas permiten realizar con una mayor facilidad y calidad el ajuste de las tuercas y tornillo.

Mejora la calidad de la bisagra en cuanto a tipo de material para evitar que se deforme al aplicarle carga.

Realizar repetitivas veces el proceso de instalación para aumentar la experticia del instalador y aumentar los rendimientos de ensamble.

Los tornillos de fijación de la abrazadera deben tener una longitud mayor a 1.5`` para facilitar la unión entre las dos partes y aumentan la longitud para guaduas de mayor diámetro.

Referencia Bibliográfica

- Camacho, V, &, Páez, I. (2002). Estudio de conexiones en guadua solicitadas a momento flector.

  (Tesis de pregrado). Universidad Nacional, Santa Fe Bogotá, Colombia.

- Takeuchi, C. (septiembre DE 2004). Comportamiento estructural de la guadua angustifolia Uniones en guadua. Ingeniería e investigación. (24). p.3-7.

- Nolivos, J, &, Yacelga, J. (mayo 2010). Estudio de conexiones entre elementos estructurales de caña guadua sometidos a carga axial (tesis de pregrado) Escuela politécnica nacional. Quito, Ecuador.

- Álvarez, E. (2012). Comportamiento de las conexiones en los elementos de bambú para estructuras ligeras. El caso de las especies del trópico de vera cruz (tesis doctoral). Universidad politécnica de Madrid, España.

- Barreto, W. (JUNIO 2017). Estudio técnico y logístico para el desarrollo de bambú (guadua angustifolia kunth) de sección transversal triangular (modificada) para fabricar vigas laminadas en Colombia (tesis de magister en construcción en madera). Universidad del Bio Bio. Concepción. Chile.

- Lamus, F, Plazas, M., Luna, P. (Enero - marzo 2015). Resistencia de una conexión empernada solicitada a cizalladura doble paralela a la fibra para estructuras de guadua angustifolia. TECNURA. (19) .1-62.

- López, L, &, Trujillo, D. (mayo 16 de 2002) Diseño de uniones y elementos en estructuras de guadua. Seminario taller avances en investigación sobre guadua. Congreso llevado a cabo en Pereira, Colombia.

- 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