

# Resistencia de una conexión empernada solicitada a cizalladura doble paralela a la fibra para estructuras de guadua angustifolia

*Bolted joint strength under parallel to grain double shear in guadua angustifolia structures*

## **FABIÁN AUGUSTO LAMUS BÁEZ**

Ingeniero civil, magíster en Ingeniería - Estructuras, doctor en Ingeniería - Ciencia y Tecnología de Materiales, docente de la Universidad de La Salle. Bogotá, Colombia. Contacto: [falamus@unisalle.edu.co](mailto:falamus@unisalle.edu.co)

## **MAYRA ALEJANDRA PLAZAS BERNAL**

Ingeniera civil, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. Contacto: [maplazasb@correo.udistrital.edu.co](mailto:maplazasb@correo.udistrital.edu.co)

## **PATRICIA LUNA TAMAYO**

Ingeniera civil, magíster en Estructuras, candidato a doctor en Ingeniería Civil, docente de la Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. Contacto: [plunat@unal.edu.co](mailto:plunat@unal.edu.co)

Fecha de recepción: 29 de julio de 2013

Clasificación del artículo: investigación

Fecha de aceptación: 15 de agosto de 2014

Financiamiento: Universidad de La Salle

DOI: <http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.1.a03>

**Palabras clave:** materiales de construcción, Guadua angustifolia, conexión empernada, cizalladura doble.

**Keywords:** Building materials, Guadua angustifolia, bolted joint, double shear

## **RESUMEN**

En una conexión empernada de estructuras que usan *Guadua angustifolia* como material principal de soporte, la resistencia a la cizalladura doble paralela a la fibra puede verse influenciada por una amplia lista de parámetros, entre ellos la resistencia al aplastamiento, la resistencia al corte paralelo a la fibra de la pared del canuto y el área de contacto entre los elementos que conforman

la conexión. En este documento se presentan los resultados experimentales para la resistencia a la cizalladura doble paralela a la fibra, cuando el elemento se encuentra solicitado a compresión, con diferentes diámetros de culmo. Por otra parte, se estudia la influencia del diámetro del perno y el espesor de la pared del culmo en la resistencia de la conexión. Los ensayos fueron realizados sobre especímenes de guadua rolliza con diámetros variables entre los siete y catorce centímetros en

los que se emplearon pernos de 3/8, 1/2 y 3/4". La guadua ensayada provenía de las cercanías de Armenia en Colombia. Se encontró que la resistencia a la cizalladura paralela a la fibra es proporcionada en gran medida por la resistencia de la guadua a la compresión paralela a la fibra.

## ABSTRACT

In a bolted joint structure using *Guadua Angustifolia* Kunth as a main support material, the strength under double shear parallel to the grain could be influenced by an extensive list of parameters including parallel to grain crushing strength, parallel to grain shear strength of the

wall and the contact area between elements in the joint. This paper presents experimental results for double shear strength parallel to grain, when the element is loaded under compression, for different culm diameters. Moreover, we studied the influence of the bolt diameter and culm thickness in the joint resistance. The tests were conducted on specimens of *Guadua angustifolia* with variable diameters between seven and fourteen centimeter where bolts of 3/8, 1/2 and 3/4" diameter were used. The Guadua tested came from the outskirts of Armenia in Colombia. It was found that the the major amount of the double shear strength parallel to grain in the joint is provided by parallel to fiber crushing resistance of the Guadua.

\* \* \*

## INTRODUCCIÓN

En Colombia, a partir de la entrada en vigencia del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010), la *Guadua angustifolia* ha sido reconocida como material principal para la construcción del sistema de resistencia sísmica de edificaciones. Por otra parte, se conoce que una de las principales dificultades en el diseño de una estructura de *Guadua angustifolia* consiste en la selección y el diseño de las conexiones (Lamus y Takeuchi, 2002), puesto que si bien es cierto que se han desarrollado algunas investigaciones que exploran el comportamiento mecánico de determinados tipos de uniones (Camacho y Páez, 2002; Clavijo y Trujillo, 2000; Lamus, 2008; Prieto, 2004), aún no se cuenta con la información suficiente con respecto a la relación entre la resistencia de dichas conexiones y los parámetros de los elementos que las conforman, tales como su geometría y las propiedades mecánicas de los materiales.

En el reglamento NSR-10 se han especificado algunos valores máximos para la resistencia de las

conexiones empernadas y aunque se trata de un primer acercamiento al problema, es claro que se requiere un mayor estudio para llegar a tener unos parámetros de diseño que le permitan al ingeniero estructural predecir la resistencia de estas conexiones, a partir de las condiciones geométricas y las características mecánicas de los culmos de guadua y los pernos de acero.

En este documento se presentan los resultados relacionados con la influencia del espesor de la pared del canuto y el diámetro del perno en la resistencia a cizalladura doble paralela a la fibra, en una conexión empernada. Estos resultados hacen parte de un proyecto macro que tiene como objetivo estudiar el comportamiento estructural de edificaciones construidas con *Guadua angustifolia* usando conexiones empernadas.

## MATERIALES

La *Guadua angustifolia* usada en esta investigación provenía del Quindío (Colombia), y de acuerdo con el proveedor, su edad en el momento

del corte oscilaba entre los 4 y los 5 años. Para la obtención de los especímenes se aprovechó el culmo de guadua desde la cepa hasta la sobrebasa, obteniéndose diámetros entre 7 y 14 cm. Para la obtención de los especímenes de ensayo se procuró que existiera una distribución lo más uniforme posible de diámetros dentro de la muestra, tanto para los ensayos de caracterización como para los ensayos sobre las probetas de las conexiones.

En una primera etapa de caracterización se realizaron ensayos de compresión y cortante paralelo a la fibra con base en el procedimiento establecido en la norma NTC5525 (Icontec, 2007), siendo determinado el contenido de humedad para todas las muestras en el momento de la falla. En la tabla 1 se presentan los resultados para la resistencia a compresión paralela a la fibra, la resistencia a cortante paralelo a la fibra y el contenido de humedad. Por otra parte, para la conexión se usaron pernos de varilla roscada elaborada con acero SAE1020, usando diámetros de 3/8, 1/2 y 3/4".

## METODOLOGÍA

Para determinar la resistencia de la conexión empernada a cizalladura doble se realizaron ensayos (Plazas, 2013) sobre 120 especímenes agrupados en cuatro rangos de diámetro, de acuerdo con la tabla 2.

La forma de los especímenes de las conexiones consistía en un canuto cerrado con sus dos nudos adyacentes y con una extensión longitudinal adicional entre 20 y 50 mm en ambos sentidos, como se ilustra en la figura 1. A una distancia  $L_{SP}$  igual a 150 mm medida desde el extremo superior del culmo se realizó una perforación perpendicular a su eje, de manera que se pudiera colocar un perno atravesando las dos paredes. Durante la medición de los especímenes se registró tanto la longitud entre nudos  $L_N$  como la distancia  $L_{NP}$  entre el agujero del perno y el nudo comprimido (figura 1 a) y b)).

**Tabla 1.** Resultados de los ensayos de caracterización de la Guadua angustifolia

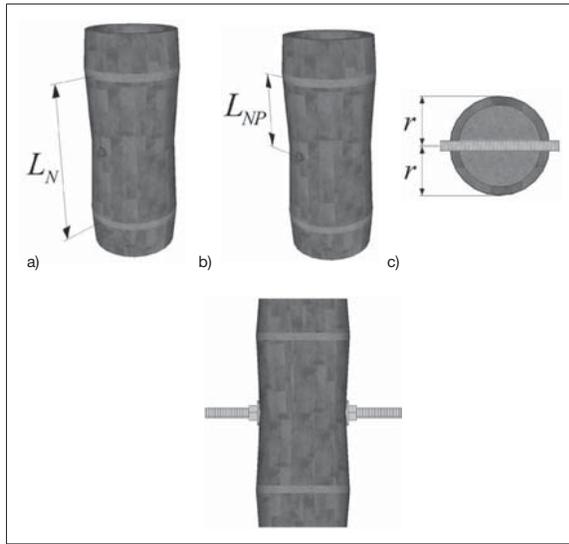
Propiedad	Mínimo	Máximo	Promedio	Desv. Est.
Resistencia a la compresión paralela [MPa]	33,62	53,84	44,18	7,26
Resistencia al corte paralelo [MPa]	3,39	9,75	6,99	2,14
Contenido de humedad [%]	6,98	20,69	9,92	2,74

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 2.** Distribución de especímenes por intervalos de diámetros

Intervalo	Diámetro promedio mm		Cantidad	Porcentaje
	Mínimo	Máximo		%
1	70	100	30	25
2	100	110	30	25
3	110	130	30	25
4	130	150	30	25
TOTAL			120	100

Fuente: elaboración propia.



**Figura 1.** Espécimen de conexión ensayado a cizalladura doble. **(a)** Longitud entre nudos, **(b)** Distancia del perno al nudo, **(c)** Forma de la probeta

Fuente: elaboración propia.

Para cada rango de diámetro del culmo se ensayaron 10 probetas de conexiones elaboradas para cada uno de los tres diámetros de perno seleccionados (3/8, 1/2 y 3/4”). Las perforaciones se realizaron con una holgura de 1/16”, de acuerdo con lo especificado en el reglamento NSR-10.

Los ensayos se llevaron a cabo en el laboratorio de mecánica de materiales de la Universidad de La Salle, usando una máquina universal servo controlada, en la que se implementó un montaje diseñado para el proyecto (figura 2c). Para apoyar los extremos de las varillas se usaron pletinas con una perforación ajustada al diámetro de cada perno (figura 2 b) y d)). La varilla se fijó al culmo de guadua empleando a cada lado un conjunto de una tuerca y dos arandelas: la primera de Neolite con un espesor de 4 mm y la segunda metálica (figura 2a). Finalmente, se usaron tuercas y arandelas para fijar la probeta al montaje (figura 2 b) y d)).

El control del ensayo se hizo por deformación y se usó una velocidad de 1,5 mm/min. Luego de que se presentara la falla en la conexión, se continuó con el ensayo hasta alcanzar un desplazamiento total de 25 mm, o hasta que la conexión perdiera el 50% de la carga pico.

## RESULTADOS

Para establecer la influencia del diámetro del perno y el espesor de la pared en la resistencia a cizalladura doble, para cada espécimen se calculó el esfuerzo promedio actuante a compresión  $\sigma_c$  aplicado por el perno sobre la pared de la guadua, usando la ecuación (1).

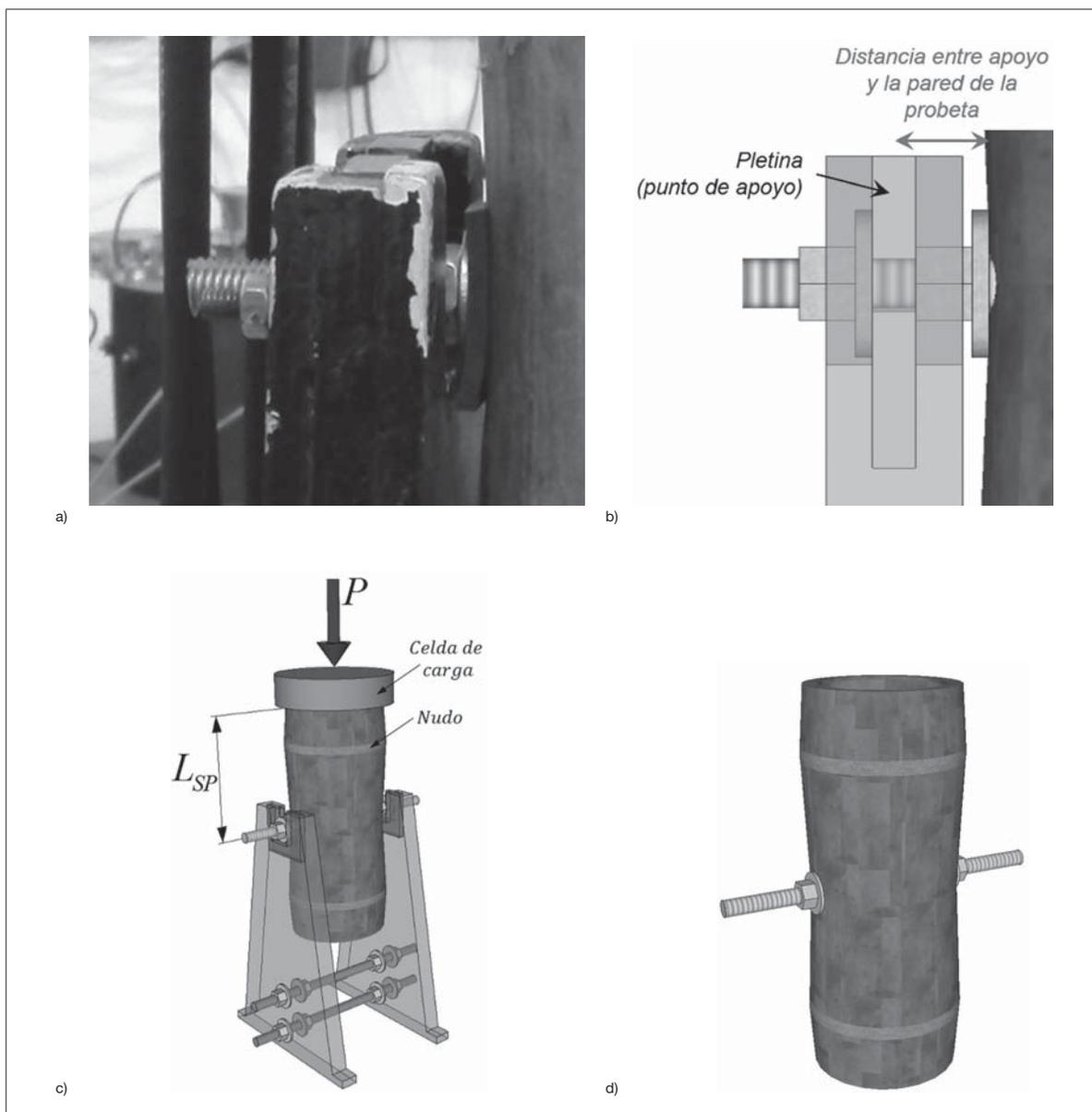
$$\sigma_c = \frac{P}{A_c} \quad (1)$$

La carga máxima  $P$  obtenida en cada ensayo se relaciona con el área a compresión  $A_c$ , calculada usando la ecuación (2), como la proyección longitudinal de la zona de contacto entre el perno y la pared del culmo. En este caso, se considera que la transferencia de carga se realiza solo en la dirección paralela al culmo, tal como se ilustra en la figura 3.

$$A_c = 2 t d_p \quad (2)$$

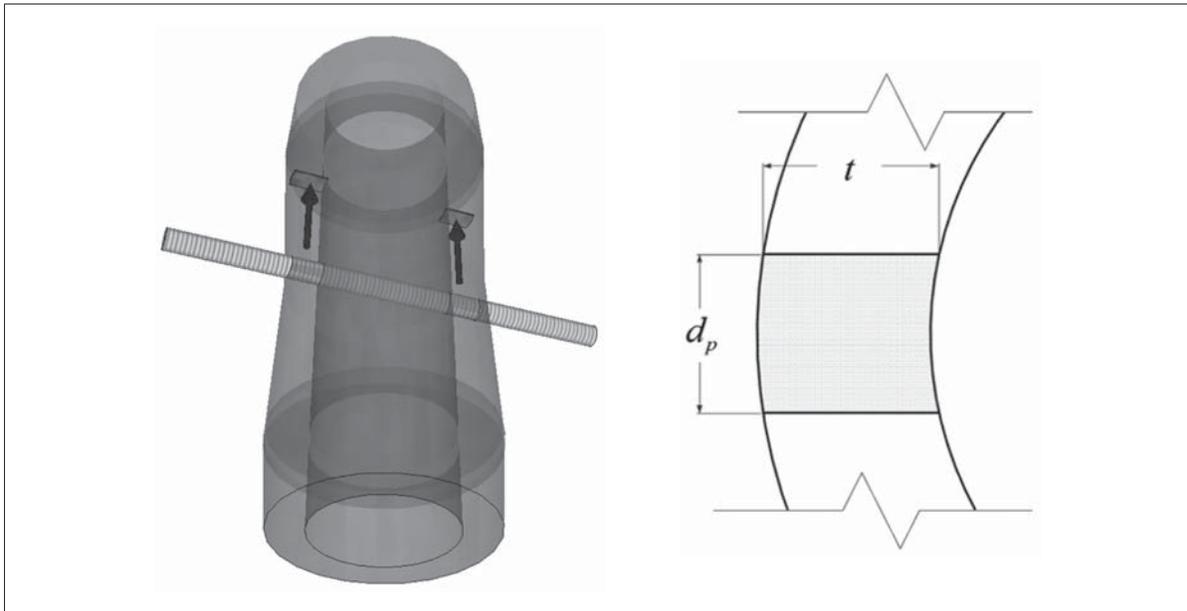
Donde  $t$  es el espesor promedio de la pared del culmo y  $d_p$  es el diámetro del perno.

En la figura 4 se presentan los valores de carga máxima en función del área a compresión para todos los especímenes. Se han trazado las líneas de tendencia para los tres grupos de diámetros de perno trabajados. El mayor valor de la pendiente, obtenido para los especímenes elaborados con pernos de 3/8”, implica una mayor resistencia a nivel de esfuerzos. La pendiente disminuye a medida que se incrementa el diámetro del perno usado.



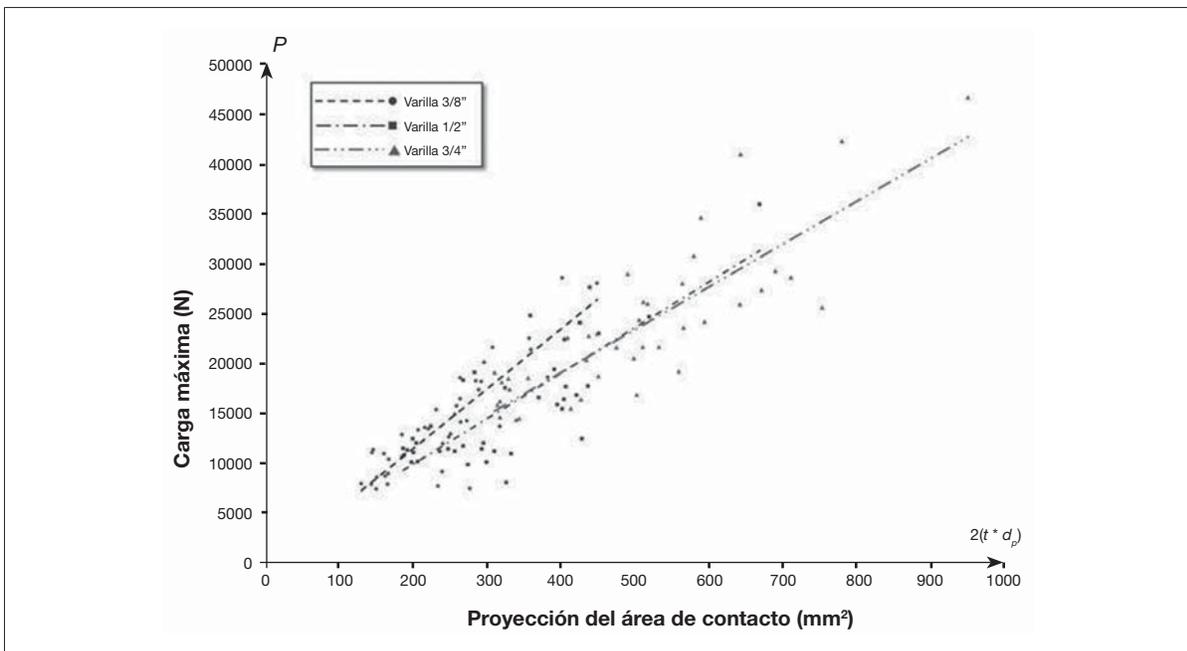
**Figura 2.** Montaje empleado para el ensayo de cizalladura doble producida por carga paralela al culmo. **a)** Detalle del apoyo, **b)** Esquema del apoyo, **c)** Esquema del montaje, **d)** Esquema de la probeta

Fuente: elaboración propia.



**Figura 3.** Proyección de la zona de contacto entre el perno y la pared del culmo para el cálculo de la fuerza de compresión

Fuente: elaboración propia.



**Figura 4.** Carga máxima en función del área a compresión para diferentes diámetros de perno

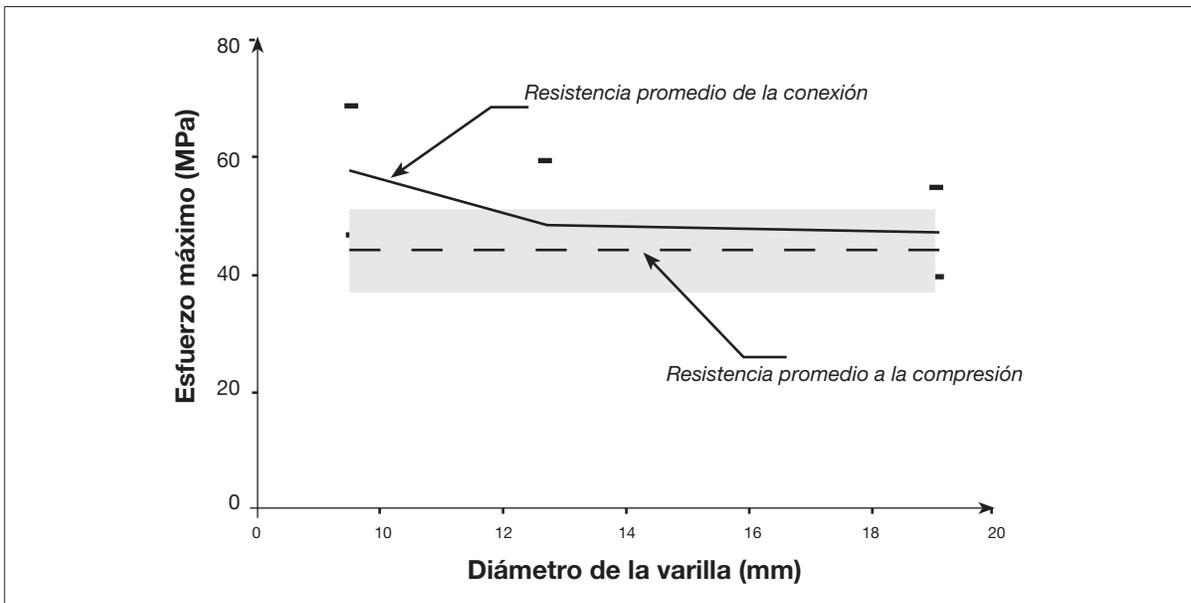
Fuente: elaboración propia.

En la figura 5 se presenta el valor del promedio de los esfuerzos máximos a compresión y la desviación estándar para cada uno de los diámetros de perno. La resistencia decrece con el diámetro del perno; sin embargo, con pernos de mayor diámetro el valor tiende a estabilizarse alrededor del valor para la resistencia a la compresión determinado a partir de los ensayos de caracterización. La zona sombreada representa el intervalo de esfuerzo igual a una desviación estándar por encima y por debajo de la resistencia a la compresión paralela a la fibra. Las líneas punteadas corresponden al máximo y al mínimo valor de dicha resistencia, obtenidos en los ensayos de caracterización.

La figura 6 relaciona la carga máxima para cada espécimen con el espesor de la pared del culmo, para cada grupo de especímenes elaborados con el mismo diámetro de perno.

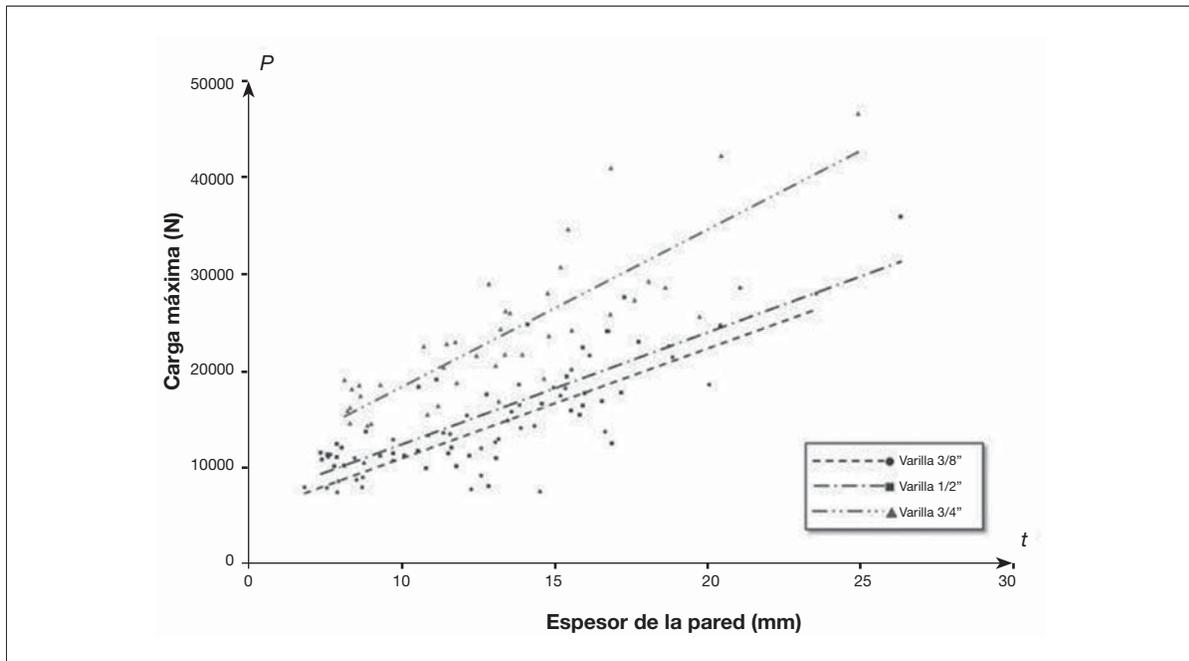
En la figura 7 se presentan los resultados de resistencia en función del diámetro exterior del canuto  $D_e$ , agrupados por diámetro del perno, con el fin de establecer una comparación con los valores propuestos por el reglamento NSR-10. En el reglamento NSR-10 no se encuentran disponibles valores para conexiones con pernos de 3/4", en su lugar se presentan los valores establecidos para pernos de 5/8".

De acuerdo con la figura 7, existe una correlación entre la resistencia a la cizalladura y el diámetro del culmo; sin embargo, el incremento de la resistencia que se presenta como función del diámetro, en realidad se encuentra relacionado con la tendencia a presentarse mayores espesores en culmos de mayor diámetro, como se muestra en la figura 8.



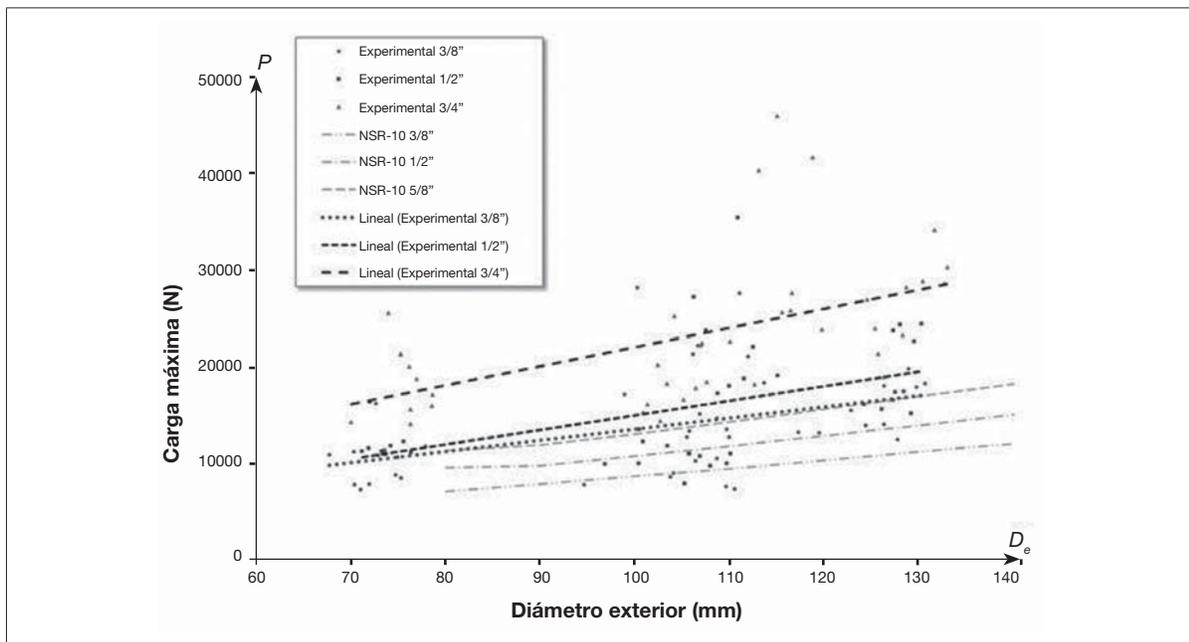
**Figura 5.** Resistencia a la cizalladura doble en función del diámetro del perno

Fuente: elaboración propia.



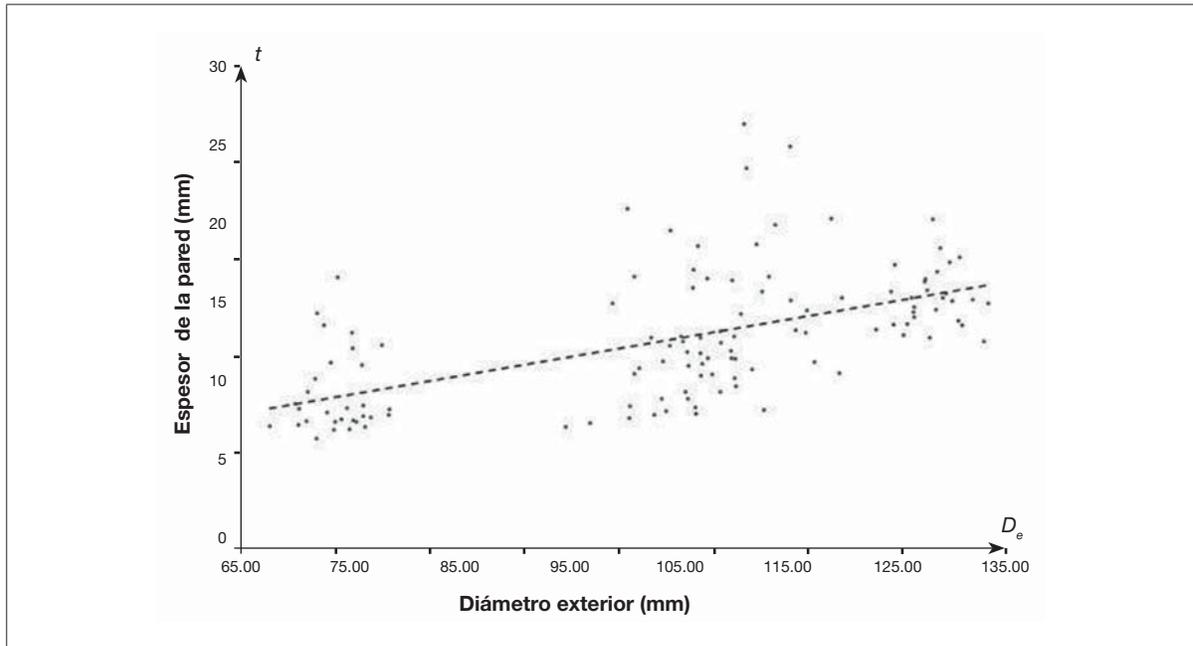
**Figura 6.** Resistencia a la cizalladura doble en función del diámetro del perno y del espesor de la pared del canuto

Fuente: elaboración propia.



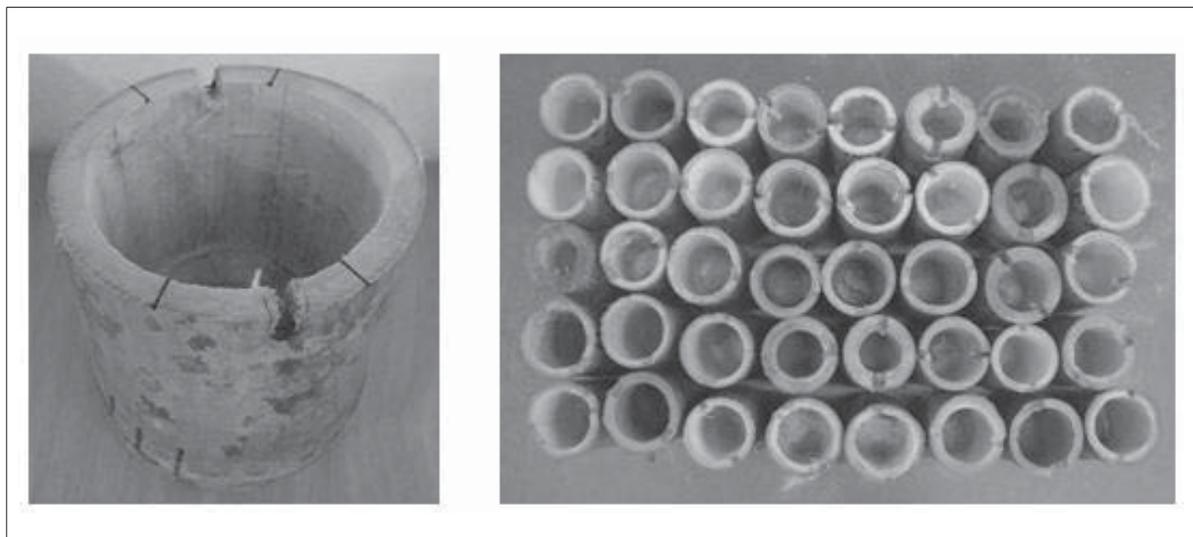
**Figura 7.** Resistencia a la cizalladura doble en función del diámetro del perno y del diámetro exterior del canuto

Fuente: elaboración propia.



**Figura 8.** Espesor de la pared del culmo en función del diámetro exterior

Fuente: elaboración propia.



**Figura 9.** Diferentes espesores de pared en canutos de diámetro similar

Fuente: elaboración propia.

La alta dispersión de los resultados obtenidos experimentalmente se debe en gran parte a que para canutos con diámetros similares se puede tener un amplio rango de espesores de la pared, como se muestra en la figura 9.

## CONCLUSIONES

La resistencia de una conexión empernada en *Guadua angustifolia*, solicitada a cizalladura doble paralela a la fibra, está directamente relacionada con la resistencia a la compresión paralela a la fibra y el área de contacto entre el perno y la pared del canuto de guadua.

La resistencia de las conexiones empernadas ensayadas en este trabajo presenta coeficientes de variación del 20% en promedio para los tres diámetros de perno empleados en la conexión.

Las conexiones desarrolladas con pernos de menor diámetro tienden a presentar una mayor resistencia por unidad de área de contacto. Sin embargo, la variación del máximo esfuerzo en función del diámetro del perno indica que este no es el único parámetro que interviene en la resistencia mecánica de la conexión.

La influencia del diámetro externo del culmo en la resistencia mecánica de la conexión está directamente relacionada con la tendencia de la guadua a presentar mayores espesores de pared cuando sus diámetros exteriores son mayores.

Los valores de resistencia a la cizalladura doble paralela a la fibra para una conexión empernada presentados en el reglamento NSR-10 corresponden a una correlación que presenta grandes dispersiones. Por esta razón, pueden ser demasiado conservadores.

Se recomienda modificar los valores establecidos en la tabla G.12.11-2 del reglamento NSR-10 para la resistencia de la conexión a cargas paralelas a la fibra, y establecer un procedimiento de cálculo de la resistencia que dependa directamente del espesor de la pared en lugar del diámetro externo del culmo.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la Universidad de La Salle por facilitar las instalaciones del laboratorio de mecánica estructural para la realización del programa experimental de esta investigación.

## REFERENCIAS

- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10*, Bogotá.
- Camacho Páez, H. (2002). *Estudio de conexiones en guadua solicitada a momento flector* (trabajo de grado). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Clavijo, S. y Trujillo, D. (2000). *Evaluación de uniones a tracción en guadua* (trabajo de grado). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec) (2007). *Norma Técnica Colombiana 5525 Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la Guadua Angustifolia Kunth*. Bogotá: Icontec.
- Lamus, F. (2008). *Calificación de una conexión viga-columna resistente a momento en Gua-*

# investigación |

*dua angustifolia* (tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Lamus, F. y Takeuchi, C. (2009). Determinación de la rigidez de un tipo de conexión viga-columna en *Guadua angustifolia*. *Epsilon*, 13, 193-204.

Plazas, M. (2013). *Estudio sobre la influencia del diámetro del perno en la resistencia*

*al corte paralelo a la fibra en conexiones pernadas de Guadua angustifolia* (trabajo de grado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá.

Prieto, R. (2004). *Optimización de unión en guadua ante fuerza sísmica* (tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.