



NUEVAS REALIDADES PARA LA EDUCACIÓN EN INGENIERÍA:  
CURRÍCULO, TECNOLOGÍA, MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO

13 - 16  
DE SEPTIEMBRE

2022

CARTAGENA DE INDIAS,  
COLOMBIA



# Inyección de compuesto polimérico para el reforzamiento en las uniones de guadua como sustitución del mortero evaluando su resistencia a la tracción

**Haidee Yulady Jaramillo, Andrea Juliana Rincón Delgado, Diego Fernando Navarro Ortiz**

**Universidad Francisco de Paula Santander  
Ocaña, Colombia**

## Resumen

Este proyecto consiste en la realización de conexiones en T a partir de canutos de guadua angustifolia Kunth, enfocando la investigación en determinar el comportamiento de las mismas sometidas a esfuerzos de tensión, cambiando la inyección con mortero tal como lo propone la NSR-10 capítulo G-12, por una mezcla de material plástico RPET (polietileno tereftalato reciclado) y PS (poliestireno). Se propone este estudio en la medida que, la guadua como material de ingeniería, es empleada en diferentes tipos de construcción destinadas a viviendas, puentes, estructuras de soporte, entre otros. No obstante, en Colombia la investigación e información disponible que se tiene acerca de la resistencia admisible a tracción que ofrece este elemento con fines estructurales, puede considerarse deficiente comparadas con los beneficios que ofrece dicho material. Por lo tanto, se desarrolla una investigación con un enfoque cuantitativo de tipo experimental, en la cual se realizó una dosificación de mezclas modelo para la matriz polimérica de inyección; se tomaron especímenes propios del departamento Norte de Santander; y se realizaron los ensayos de esfuerzo a tracción a las muestras, para lo cual se alcanzaron resistencias de tensión actuante ( $f_t$ ) entre 1.74 MPa y 3.20 MPa, que comparado con el esfuerzo admisible a tensión modificado ( $F'_t$ ) que bajo coeficientes de modificación de duración de carga y de temperatura arroja un valor de 16,20 MPa; lo que indica un resultado positivo dado que se cumple con el criterio que  $f_t \leq F'_t$  expuesto en el Reglamento NSR-10, capítulo G-12 Estructuras en Guadua.

**Palabras clave:** Guadua angustifolia Kunth; compuestos poliméricos; resistencia a la tensión

## Abstract

*This project consists of making T-connections from Kunth guadua angustifolia joints, focusing the research on determining their behavior under tensile stresses, changing the injection with mortar as proposed by NSR-10-chapter G-12, for a mixture of RPET (recycled polyethylene terephthalate) and PS (polystyrene) plastic material. This study is proposed to the extent that guadua as an engineering material is used in different types of construction for homes, bridges, support structures, among others. However, in Colombia the available research and information about the admissible tensile strength offered by this element for structural purposes can be considered deficient compared to the benefits offered by said material. Therefore, an investigation is developed with a quantitative approach of an experimental type, in which a dosage of model mixtures for the injection polymeric matrix was carried out; specimens from the department of Norte de Santander were taken; and the tensile stress tests were carried out on the samples, for which acting tensile strengths ( $f_t$ ) between 1.74 MPa and 3.20 MPa were reached, which compared to the modified allowable tensile stress ( $F't$ ) that under coefficients of Modification of load duration and temperature yielded a value of 16.20 MPa; which indicates a positive result given that the criterion that  $f_t \leq F't$  set forth in Regulation NSR-10, chapter G-12 Structures in Guadua is met.*

**Keywords:** Bamboo *Guadua angustifolia* Kunth; polymeric compounds; tensile strength

## 1. Introducción

El uso de la guadua angustifolia, nativa de Colombia, se ha caracterizado por sus extraordinarias características físico-mecánicas, su resistencia a la tensión, compresión, y sumado a la gran flexibilidad que presenta, la convierten en un material especialmente interesante para la bioconstrucción, siendo catalogada además como el acero vegetal. En el caso puntual de las uniones en dicho material, la normativa NSR-10 en su capítulo G.12 – Estructuras de guadua – especifica que se hace necesario rellenar los canutos de la conexión con una mezcla de mortero de cemento, pero, explorando nuevas posibilidades, dentro de la investigación se propuso la inyección de materiales plásticos como elementos alternativos sustituyentes del mortero, evaluando su resistencia admisible a tensión.

En esta medida, la reutilización de desechos plásticos como RPET y PS, entran a jugar un papel importante, pues dentro de un enfoque sostenible, se busca generar un mayor aprovechamiento de estos residuos, pues la cantidad de material que va a parar a un relleno sanitario o vertedero es considerable respecto a la cantidad que se recicla.

Al hablar de la dinámica de reciclaje del plástico en el mundo, son muchos los países que han avanzado en este campo logrando la recuperación y reutilización para la elaboración de nuevos productos. Según reportes de las industrias de reciclaje, los países que lideran estos procesos son Japón, Suiza, Alemania, Estados Unidos, México, Argentina y Brasil mejorando a lo largo del tiempo los procesos de acopio, aprovechamiento e innovación en nuevas tecnologías para el reciclaje. (Ortega Leyva, 2011).



Actualmente el consumo de plástico en Colombia es de 24 kg por persona, lo que genera un volumen de desechos plásticos aproximados de 1.250.000 toneladas (Greenpeace, 2018). El país deja de recibir alrededor de 2 billones de pesos por no reciclar los residuos plásticos, cifra dada por Juan Gutiérrez presidente de EkoRed; sin embargo, se ha venido trabajando en su aprovechamiento. (Pastori, 2019).

Por otra parte, acerca del tema de la guadua, en Colombia existen alrededor de 55.000 Has de cultivos de guadua, que actualmente sobresale no solo en el plano ambiental, sino que es reconocida como una alternativa sostenible en áreas como la construcción, producción de fibras, entre otros. Jorge Montoya, presidente de Fedeguadua asegura que de un 95 a 97% de los cultivos de guadua en Colombia “nadie los ha sembrado, son naturales, no requieren mantenimiento y han crecido por características de suelo y clima de las regiones”. (Faruk Simmonds, 2018). En el país, los departamentos con mayor variedad de bosques de bambú son Norte de Santander, Cundinamarca, Cauca, Valle del Cauca, Antioquia, Huila, Nariño y Quindío. (Espinosa Pérez, 2004).

En 2004, Takeuchi (Takeuchi, 2004), tras ensayos y análisis realizados a la Guadua angustifolia Kunth mostró las bondadosas cualidades estructurales de esta, sustentada en sus fuertes fibras longitudinales, de gran tamaño, con altura hasta de 30 m y diámetros hasta de 22 cm; relación resistencia/peso con estimaciones de resistencia a la compresión que oscilan entre 350 kg/cm<sup>2</sup> y 500 kg/cm<sup>2</sup>, y gran ductilidad.

Años más tarde, dada a la importancia que fue tomando la guadua en el país, y gracias al conocimiento de sus propiedades físicas y mecánicas y de la solución propuesta por Simón Vélez al rellenar los canutos con mortero y empleo de tuercas y arandelas; se lograron significativos avances de la materia en cuestión.

En el proyecto bajo el nombre *Determinación de la capacidad de fuerza a tensión en las uniones de estructuras donde el elemento resistente principal es el bambú guadua (angustifolia Kunth), utilizando polipropileno de alta resistencia (PPR) como material de relleno*, Vargas y Niño (Vargas Barrera & Niño Fonseca, 2016), ensayaron probetas con acero de refuerzo de 3/8” que al ser sometidas a tensión con dicho relleno en los canutos alcanzaron un esfuerzo promedio de tensión perpendicular a las fibras de 1,37 MPa.

Por otra parte, en la monografía titulada *Determinar la capacidad de fuerza a tensión en los entrecodos de estructuras en guadua angustifolia Kunth, utilizando polipropileno de alta resistencia (PP) como material de relleno para conexiones con perno*, (González Bonilla & Villamarín González, 2017), González y Bonilla en los ensayos aplicados a las probetas, obtuvieron que el esfuerzo a tensión para conexiones en varilla No.3 fue de 5477 N y 7279 N para conexiones en varilla No.4, valores menores que lo expuesto en la NSR10 cap. G-12. Las fallas considerables ocurrieron en la varilla inicialmente, luego la guadua, y finalmente el relleno no presentó falla visible. Los investigadores concluyeron que el relleno empleado no mostró adhesión con la guadua, ni con la varilla; siendo así que, el relleno no originó una contribución importante a la conexión, ocasionando que la varilla generara mayor esfuerzo en la misma.



Entendiendo dentro de un contexto general la utilización de la Guadua angustifolia, y por su parte la industria y reciclaje del plástico, apartes importantes en el desarrollo de esta investigación; de manera particular se resalta que para la ejecución del proyecto se obtuvieron los culmos de Guadua angustifolia Kunth del departamento Norte de Santander, a partir de los cuales se elaboraron las probetas ortogonales que fueron sometidas al ensayo de tensión paralela a las fibras, evaluando su comportamiento y desempeño.

## 2. Metodología

La presente investigación tiene por objetivo la determinación de la resistencia a la tracción en uniones de guadua con inyección de compuestos poliméricos como sustituyentes del mortero. Para el desarrollo de esta investigación se empleó una metodología de tipo experimental con un enfoque cuantitativo, en donde las variables de estudio fueron la variabilidad de relleno (materiales plásticos y mortero) de las uniones, y la resistencia admisible a tensión obtenida.

### 2.1 Etapas de la investigación

#### 2.1.1 Diseño del compuesto polimérico para la inyección de los canutos de la guadua

Dado que para establecer un diseño de mezcla con materiales plásticos no existe una normativa o guía para definirla, se ha tomado de manera experimental una dosificación modelo, con el fin de buscar un diseño adecuado que garantice una resistencia óptima a tracción en las uniones. En este aparte, es importante resaltar que la dosificación trabajada en el proyecto fue tomada de anteriores investigaciones realizadas por estudiantes de la Universidad con el apoyo de la MsC. Haidee Yulady Jaramillo, quien brindó esta información.

En la Tabla 1 se muestra con detalle la dosificación, en donde se precisan las cantidades de materiales plásticos – polietileno tereftalato reciclado (RPET) y poliestireno (PS) – así como la cantidad de estireno (agente diluyente), resina (agente aglutinante) y MEK peróxido (agente acelerante / endurecedor).

**Tabla 1.** Dosificación modelo para emplear en las uniones de guadua

<b>Materiales</b>	RPET + PS	Resina	Estireno	MEK peróxido
<b>Unidades</b>	gramos (gr)	gramos (gr)	gramos (gr)	gramos (gr)
<b>Dosificación modelo</b>	730	1000	100	10

#### 2.1.2 Elaboración de las uniones en guadua e inyección con material de relleno correspondiente

Para el proceso de elaboración de las conexiones en guadua inicialmente se seleccionaron los especímenes; en seguida, según como lo indica la NTC 5407 “Uniones de estructuras con Guadua angustifolia Kunth” se procedió a realizar un corte especial tipo boca de pescado para el acople entre los elementos para la formación de las uniones ortogonales; para el reforzamiento de las mismas se empleó varilla roscada número 4 bajo un sistema en conjunto entre la varilla, tubo



galvanizado, tuercas y arandelas, realizando el ensamble total correspondiente; y finalmente se aplicó la inyección de compuestos poliméricos en la unión.

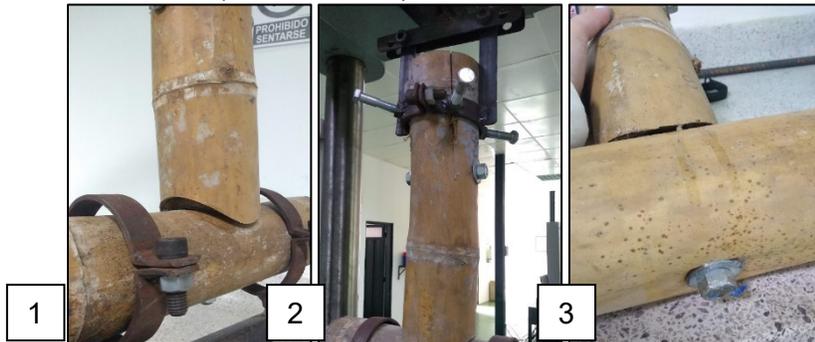
### 2.1.3 Ensayos de resistencia a tensión

Luego del proceso de curado, y después de transcurridos 15 días, se realizaron los ensayos para determinar la resistencia a la tensión de acuerdo a la NTC 5525 "Determinación de las propiedades físicas y mecánicas de los culmos de bambú. Métodos de ensayo"

## 3. Resultados y discusión

Una vez realizados los ensayos a tensión, se evidencio en las probetas fallas tales como desprendimiento entre el elemento vertical y horizontal (1), agrietamiento superficial paralelo a la fibra en el elemento vertical (2), y aplastamiento en la zona inferior donde se encontraba el refuerzo longitudinal (3) identificadas claramente en la Figura 2.

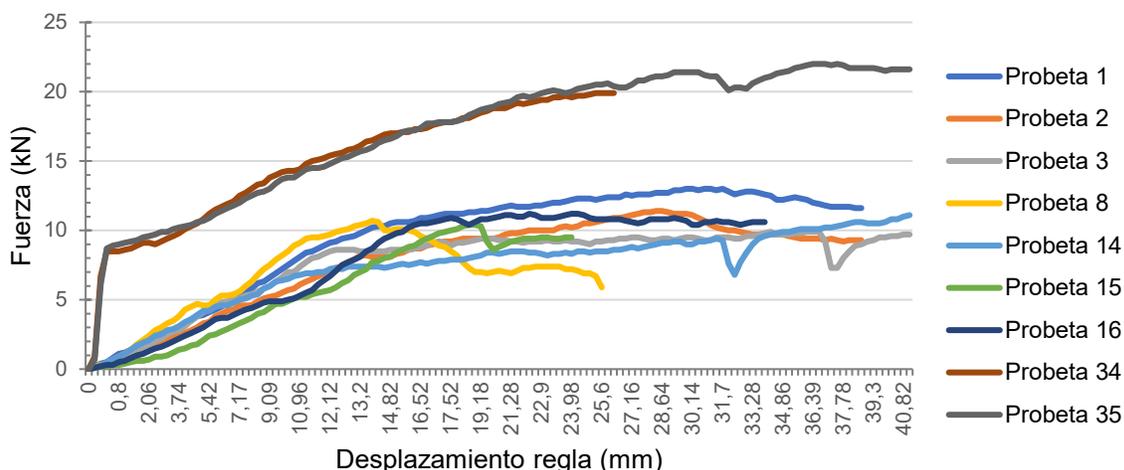
**Figura 1.** Fallas evidenciadas en las probetas de ensayo



De igual manera, se presenta en la Figura 3 una superposición de las gráficas dadas luego de los ensayos de fuerza vs desplazamiento de la regla de las uniones con relleno de materiales plásticos visualizando así su comportamiento. Las cargas se eligieron en el momento antes de observar cambios de pendientes notoria lo que indicaba que la unión había empezado a fallar.

**Figura 2.** Superposición gráficas fuerza vs desplazamiento de la regla de los ensayos a tensión





### 3.1 Esfuerzo admisible a tensión modificado ( $F't$ )

Tras la realización de los ensayos, se procedió a determinar los esfuerzos admisibles a tensión. En primer lugar, se calculó el esfuerzo admisible a tensión modificado según la fórmula G.12.7-3 de la NSR-10 Cap. G-12 que, bajo los coeficientes de duración de carga permanente a tracción con un valor de 0,90, y un coeficiente de modificación por temperatura ( $T \leq 37^\circ\text{C}$ ) a tracción de 1,0 se obtuvo un esfuerzo de 16,20 MPa.

### 3.2 Esfuerzo de tensión actuante ( $f_t$ ).

Por su parte se calcularon los esfuerzos a tensión actuante en las uniones con relleno de materiales plásticos y a su vez de las uniones con relleno de mortero para establecer un comparativo entre ambas. En las Tablas 2 y 3 se presentan los resultados de las mismas, para lo cual se tuvieron en cuenta las ecuaciones G.12.8-1 y G.12.9-1 de la NSR-10, capítulo G-12 Estructuras en Guadua.

**Tabla 1.** Cálculo del esfuerzo a tensión actuante en las uniones con matriz polimérica

N° de Probeta	N° de Refuerzo	Diámetro (mm)	Espesor (mm)	Área neta ( $\text{mm}^2$ )	Fuerza T (N)	Esfuerzo de tensión actuante $f_t$ (MPa)
1	4	100,00	14,00	3782,48	10200	2,697
2	4	100,40	15,22	4072,89	8200	2,013
3	4	99,87	17,00	4425,84	8600	1,943
8	4	95,50	17,94	4371,29	10700	2,448
14	4	100,20	15,59	4143,98	7200	1,737
15	4	101,70	11,35	3221,62	10300	3,197
16	4	99,22	18,78	4745,89	10900	2,297
34	4	91,00	16,85	3925,19	8500	2,165
35	4	92,48	15,81	3808,09	8700	2,285



**Tabla 2.** Cálculo del esfuerzo a tensión actuante en las uniones con relleno de mortero

N° de Probeta	N° de Refuerzo	Diámetro (mm)	Espesor (mm)	Área neta (mm <sup>2</sup> )	Fuerza T (N)	Esfuerzo de tensión actuante $f_t$ (MPa)
6	4	99,70	18,50	4719,30	9000	1,907
11	4	91,86	13,29	3280,44	8100	2,469
12	4	89,53	13,99	3320,05	9000	2,711
13	4	99,72	19,02	4822,07	8900	1,846
21	4	97,12	13,48	3542,04	11800	3,331
22	4	97,50	15,11	3911,01	9900	2,531
23	4	90,57	12,19	3001,64	9100	3,032
24	4	91,92	13,40	3305,48	9100	2,753
25	4	100,85	12,91	3566,67	9800	2,748

De los datos presentados en la Tabla 2, para uniones con relleno de materiales plásticos se establece una variación de carga entre 7200 – 10900 N, con un esfuerzo de tensión mínimo de 1,74MPa y máximo de 3,20MPa; por su parte, de la Tabla 3, para uniones con relleno de mortero se observa una variación de carga entre 8100 – 11800 N, con un esfuerzo de tensión mínimo de 1,85MPa y máximo de 3,33MPa.

Comparando el esfuerzo admisible de tensión modificado con los esfuerzos actuantes en ambos tipos de uniones, se cumple el criterio según lo dispuesto en la NSR-10, fórmula G.12.9-1 que  $f_t \leq F'_t$  independientemente de la variabilidad del relleno, en esta medida, es importante aclarar que es decisión del ingeniero estructural, teniendo en cuenta las cargas, uso y condiciones ambientales del proyecto, evaluar este factor según la resistencia especificada en los diseños.

Por su parte, se resalta que la unión con inyección de compuestos poliméricos presenta valores similares a las uniones con relleno de mortero por lo que, el uso de elementos estratégicos alternativos como el uso de materiales plásticos, pueden llegar a ser viables como sustituyentes del mortero.

#### 4. Conclusiones

Se logró la realización de una dosificación modelo de manera experimental, precisando las cantidades de plástico RPET más PS, resina, estireno y MEK peróxido, optimizando el relleno alternativo empleado en las uniones de estructuras en guadua, contribuyendo además con la reutilización de desechos plásticos y por consiguiente aportando al cuidado del medio ambiente.

A partir de los resultados se observó que, las conexiones con relleno de mortero fueron las que arrojaron mayores resistencias admisibles a esfuerzos de tensión, sin embargo, es importante precisar que las uniones con relleno de materiales plásticos obtuvieron resistencias similares a estas, por lo cual, pueden llegar a ser óptimas a partir del uso de tales materiales alternativos, buscando además la promoción de la bioconstrucción.

Finalmente, se estableció una comparación entre las probetas según su variabilidad de relleno, para lo cual se obtuvo que las uniones inyectadas con plástico presentaron un esfuerzo admisible



a tensión promedio de 2,31 MPa, pero no mayor respecto a las uniones con mortero que arrojaron resistencias promedio de 2,59 MPa, lo cual indica que la sustitución de mortero por elementos plásticos arroja resistencias a tensión muy cercanas, por lo que se logra innovar con el uso de estos materiales, y a su vez generar un aporte importante y nuevo conocimiento respecto a las conexiones en guadua.

## 5. Referencias

- Aristizábal, W. (22 de marzo de 2016). *Arme Ideas en Guadua. Producción y Construcción sostenible*. Obtenido de Generalidades de la guadua *Angustifolia Kunth*: <https://agb.com.co/generalidades-de-la-guadua-angustifolia-kunth/>
- Espinosa Pérez, D. C. (marzo de 2004). *La cadena de la guadua en Colombia*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Bogotá, Colombia.
- Faruk Simmonds, I. (27 de junio de 2018). En Colombia existen actualmente 55.000 hectáreas de guadua. *AGRONEGOCIOS*. Obtenido de <https://www.agronegocios.co/agricultura/en-colombia-existen-actualmente-55000-hectareas-de-guadua-2742947>
- González Bonilla, L. Y., & Villamarín González, N. V. (8 de junio de 2017). *Determinar la capacidad de fuerza a tensión en los entrenudos de estructuras en guadua angustifolia Kunth, utilizando polipropileno de alta resistencia (PP) como material de relleno para conexiones con perno (Monografía de pregrado)*. Bogotá, Colombia. Obtenido de <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/6156/1/Gonz%C3%A1lezBonillaLeidyYohana2017.pdf>
- Greenpeace (2018). *Colombia, mejor sin plásticos. La contaminación plástica en Colombia y el mundo*. Greenpeace, 6-7.
- Ortega Leyva, M. N. (2011). El reciclaje de PET está en su mejor momento. *Tecnología del plástico Edición 4 - Vol 26*, 12-15.
- Osorio S, J. A., Ciro V, H. J., & Vélez, J. M. (2005). Efectos de algunos parámetros físicos y geométricos en la resistencia de diseño a flexión de la guadua *Angustifolia Kunth*. *Dyna*, 37-44.
- Pastori, D. (10 de junio de 2019). *Colombia pierde \$2 billones anuales por no reciclar desechos plásticos*. Obtenido de El Heraldo: <https://www.elheraldo.co/economia/colombia-pierde-2-billones-anuales-por-no-reciclar-desechos-plasticos-640305>
- Takeuchi, C. (2004). *Comportamiento estructural de la guadua*. En: Universidad Tecnológica de Pereira. *Memorias Simposio Internacional Guadua, septiembre 27-octubre 2*. 214-227. Pereira, Colombia.
- Vargas Barrera, D. C., & Niño Fonseca, D. P. (30 de noviembre de 2016). *Determinación de la capacidad de fuerza a tensión en las uniones de estructuras donde el elemento resistente principal es el bambú guadua angustifolia Kunth, utilizando polipropileno de alta resistencia (PPR) como material de relleno. Monografía pregrado*. Obtenido de <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/6150/1/VARGAS%20CAROLINA%20NI%C3%91O%20PATRICIA%202017.pdf>

## Sobre los autores

- **Haidee Yulady Jaramillo:** Constructora, Magister y especialista en construcción. Investigadora y docente titular. [hyjaramillo@ufpso.edu.co](mailto:hyjaramillo@ufpso.edu.co)



- **Andrea Juliana Rincón Delgado:** Estudiante del 10 semestre de Ingeniería Civil. [ajrinccond@ufpso.edu.co](mailto:ajrinccond@ufpso.edu.co)
- **Diego Fernando Navarro Ortiz:** Estudiante del 10 semestre de Ingeniería Civil. [dfnavarro@ufpso.edu.co](mailto:dfnavarro@ufpso.edu.co)

---

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2022 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)

