

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO
MECÁNICO DE UNIONES DE GUADUA
ANGUSTIFOLIA KUNTH (GAK)-
POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD (PEBD).**

**EVALUATION OF THE MECANIC
BEHAVIOR OF ANGUSTIFOLIA
KUNTH GUADUA UNIONS (GAK)-
LOW DENSITY POLYETHYLENE
(PEBD)**

**AVALIAÇÃO DO
COMPORTAMENTO
MECÂNICO DOS
SINDICATOS
ANGUSTIFOLIA KUNTH
GUADUA (GAK)-BAIXA
DENSIDADE ETILENO
POLY (PEBD)**

Juan Rodrigo Salamanca Sarmiento
Magíster en Gestión en la Industria de los
Hidrocarburos, Universidad de Viña del
Mar, Chile,
juan.salamanca@usantoto.edu.co

Luis Fernando Acosta Joya
Magister (C) en Energías Renovables,
Universidad Unini, Puerto Rico,
luis.acosta@usantoto.edu.co,

Fabián Leonardo Higuera Sanchez
Maestría (C) en Metalurgia y Ciencia de
los Materiales, UPTC, Tunja,
fabian.higuera@usantoto.edu.co

Nicolás David Pamplona Burgos
Universidad Santo Tomás, Tunja, Ingeniería
Mecánica (E),
nicolas.pamplona.@usantoto.edu.co

John Alexander Torres Tique
Universidad Santo Tomás, Tunja,
Ingeniería Mecánica (E),
john.torres@usantoto.edu.co

Fecha de Recepción: 17 de noviembre de 2019
Fecha aprobación: 06 de marzo de 2020

Resumen

El presente trabajo, describe la construcción y evaluación mecánica de uniones Guadua-Polímero, en la construcción de estructuras (50-80 kg), para este objetivo, se definieron inicialmente los tipos de uniones más comunes en una estructura de mobiliario básico. Las uniones seleccionadas: Unión recta, Unión en ángulo recto (90°), y unión en Y (120°), se construyeron para aplicarles el sistema de carga, tomando datos de peso, diámetros y flexión. Adicional a esto se realizó corte transversal de las juntas, para evaluar la morfología de las juntas. Luego del análisis de los datos se encontró que la combinación de los materiales Guadua-Polímero en una unión, son una alternativa real en la construcción y diseño de nuevos elementos de mobiliario básico.

Palabras clave— Guadua angustifolia Kunt, propiedades mecánicas, propiedades físicas, PEBD, Culmo, bambú

Abstract

This work, describing the construction and mechanical evaluation of Guadua-Polymer joints, in the construction of structures (50-80 kg), for this purpose, the most common types of joints were initially defined in a basic furniture structure. The selected joints: Straight Join, Right Angle Join (90o), and Y-Join (120o), were built to apply the loading system to them, taking weight, diameter and bending data. In addition to this, cross-sections of the joints were performed, to evaluate the morphology of the joints. After the analysis of the data it was found that the combination of

Guadua-Polymer materials in a bond, are a real alternative in the construction and design of new basic furniture elements.

Keywords— Guadua angustifolia Kunt, mechanical properties, physical properties, PEBD, Culmo, Bambu

Resumo

Este trabalho, descrevendo a construção e avaliação mecânica das juntas Guadua-Polímero, na construção de estruturas (50-80 kg), para este fim, os tipos mais comuns de articulações foram inicialmente definidos em uma estrutura de mobiliário básico. As juntas selecionadas: Straight Join, Right Angle Join (90o) e Y-Join (120o), foram construídas para aplicar o sistema de carregamento a elas, levando dados de peso, diâmetro e dobra. Além disso, foram realizadas seções transversais das articulações, para avaliar a morfologia das articulações. Após a análise dos dados constatou-se que a combinação de materiais Guadua-Polímero em uma ligação, são uma alternativa real na construção e design de novos elementos móveis básicos.

Palavras-chave— Guadua angustifolia Kunt, propriedades mecânicas, propriedades físicas, PEBD, Culmo, Bambu.

Introducción

El uso de la guadua en la sociedad involucra aspectos económicos, de empleo, sociales y de desarrollo [1], que afectan la propagación de la guadua y los procesos productivos, como el empleo de la guadua con materiales

de bajo costo, para construcción de estructuras de producción en la industria del café [2]. También es importante la preparación de la guadua antes de entrar en un proceso. El caso del secado de la guadua, requiere diversas operaciones como uso de invernadero, cámaras y secado con ventilación [3], o el almacenamiento con el estudio de varios métodos para conservación de la guadua, encontrando al método de inmersión como el más efectivo [4].

Por lo anterior es importante conocer las propiedades físicas y mecánicas de este material, como en México que se evaluaron tipos de guadua mostrando similitud en propiedades [5], o la evaluación de propiedades mecánicas de la Guadua amplexifolia para uso estructural [6]. También en Colombia se han hecho diversos estudios, desde aquellos que se presentan como referencias de propiedades mecánicas de GAK de Colombia, para posteriores estudios [7] o estudios específicos como la resistencia a compresión de GAK para muestras de guadua de Pitalito, Huila, logrando valores bastante superiores con materiales de humedad mayor a 80% [8].

Teniendo en cuenta lo anterior, se encuentra que el uso de la guadua en la construcción exige estudios por partes como varas o porciones de guadua cortadas a lo largo, para usarlos como refuerzo de acuerdo a edad, altura y espesor que determinan la tensión y flexibilidad [9], o según la estructura interna de la guadua que altera las propiedades, que disminuyen de afuera hacia adentro en la estructura [10]. Sin embargo, para construcciones con guadua, la resistencia puede variar de acuerdo a los elementos de unión y su tamaño, con

respecto a las dimensiones de la guadua empleada [11]. También según la estructura existe variación en propiedades como la dureza Brinell de la guadua, que disminuye con la humedad y de afuera hacia adentro [12], o la resistencia a la tracción de varios tipos de GAK, que varía poco con diferentes diámetros de guadua [13].

Luego de evaluar la guadua se quiere aplicar ésta a estructuras cimentadas con concreto [14], o el uso de la guadua laminada como alternativa en la construcción de estructuras, formando paneles y tabillas, con resultados igual o mejores respecto a las maderas estructurales [15].

Teniendo en cuenta los pegantes o aglomerantes en los compuestos laminados, se encuentran propiedades muy superiores a la misma guadua y a perfiles de madera estructural, que hace a la guadua una alternativa de desarrollo en la construcción [16]. De esta forma se pueden evaluar elementos constitutivos de estructuras como un puente peatonal, incluyendo material de relleno de la guadua [17]. Sin embargo, se encontró que, al comparar el comportamiento de uniones con relleno de polímero a cambio de mortero, los valores del polímero son todavía menores, y genera costos mayores en la construcción [18].

El trabajo desarrollado consistió en la construcción de tres tipos de uniones y la posterior evaluación mecánica de los arreglos en GAK-PEBD, para generar cálculos de resistencia que se contrastan con datos de cada material que finalmente presentan resultados prometedores para futuras aplicaciones.

Materiales

Los elementos empleados corresponden a muestras de material de Guadua (GAK) y Poli Etileno de Baja Densidad (PEBD) para inyección. Ambos materiales, fueron sometidos a una preparación antes de conformar las uniones establecidas para este estudio.

El material estructural empleado en este trabajo corresponde a Guadua Angustifolia Kunth (GAK), recolectada en varios cultivos del área rural de Chiquinquirá, mientras que el Poli Etileno de Baja Densidad (PEBD), se compró con tratamiento previo, para eliminar operaciones de limpieza y triturado.

A. Guadua

Los cortes GAK se obtuvieron en áreas de cultivos con más de cinco años de edad, para permitir el secado de las varas, las muestras se almacenaron horizontalmente para evitar el curvado de la guadua.

El material específico para desarrollar el estudio es la Guadua Angustifolia Kunth. Para la elaboración de las uniones a estudiar se seleccionaron cuarenta muestras con un diámetro promedio de 3,7 cm., y posteriormente se dividieron en tres tramos cada una, con longitudes de 50 cm, teniendo en cuenta la parte de basa aprovechable.

De acuerdo a la procedencia y altura de las muestras elegidas para las pruebas, se siguió un protocolo para el corte, identificación y la preparación de las probetas como se describe a continuación:

1. Selección: Varas con diámetros aproximados de 3,7 cm. (1, ½").

2. Marcado: Se designa una letra por el cultivo (A, B, C) y un consecutivo de dos cifras.

3. Corte: Se realizaron cortes a cada vara de 2 m como mínimo.

4. Almacenado: Las muestras fueron puestas horizontalmente en estantes y fijadas para evitar torceduras a causa del secado.

5. Corte de Probetas: Las varas fueron cortadas por los entrenudos en partes de 50 cm de longitud.

B. Polietileno de Baja Densidad

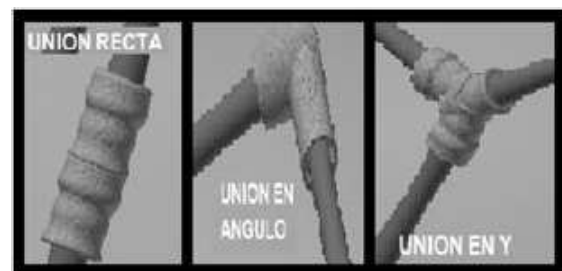
El PEBD reciclado fue suministrado por una empresa que recolecta envases de bebidas, lo clasifica, limpia y reduce de tamaño, simplificando operaciones de beneficio del material reciclable y logrando resistencias y adherencia bastante altas al endurecer.

Metodología

A. Diseño de las juntas a evaluar

Se realizó el diseño de las muestras en programa CAD Inventor, posteriormente se construyeron las juntas con la guadua y el polímero fundido en una extrusora. La temperatura trabajada fue de 180°-195°C y el conformado de las uniones se hizo de forma manual. (Figura 1).

Fig.1: Diseño de las juntas a trabajar.



Fuente: Los Autores

Para la construcción se tuvieron en cuenta aspectos, tanto de la guadua como del plástico así:

-Las varas de guadua se cortaron por el entrenudo, buscando que haya por lo menos cinco (5) centímetros de profundidad en los extremos.

-En algunos casos se perforó la pared del nudo de guadua para garantizar un mejor agarre del Polímero fundido.

-Las muestras de guadua se cortaron de 50 cm.

-Todas las uniones corresponden a una medida angular así: Unión recta: 180°; Unión en L: 90° y Unión en Y: 120°.

Fig.2: Conformación interna de las juntas



Fuente: Los Autores.

-A las uniones en L y en Y se les incrustó un pedazo de pared longitudinal de la guadua como refuerzo, para garantizar el ángulo durante el conformado de la junta. Para las uniones rectas no se incluyó refuerzo ya que no presento complicaciones en el conformado. (Fig. 2).

-El recubrimiento de PEBD, se aplicó con la misma consistencia tanto dentro como fuera de la guadua de forma manual, expandiendo hasta 7 cm., a lado y lado de la junta.

B. Construcción y estructura de las juntas.

Para la construcción de las juntas se empleó una extrusora de mono husillo, de diámetro 1" y producción aproximada de 10 kilos /hora.

Las uniones se realizaron, rellenando la

guadua con polímero fundido de forma manual (Figura 3), adicionalmente se insertó un vástago de pared de guadua en la mitad de las uniones en "L" y en "Y", para ayudar en la conformación angular.

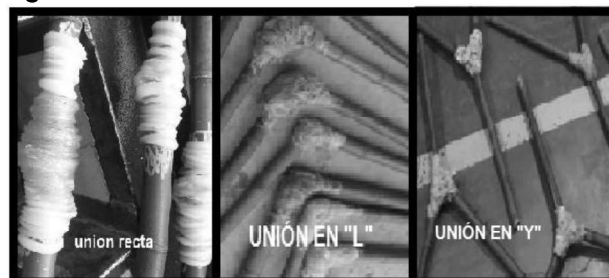
Fig.3: Relleno con polímero fundido, Inserto de vástago en junta, Armado y alineado de la junta



Fuente: Los Autores

Posteriormente se armó la junta y se recubrió el área de la unión con polímero fundido, a lado y lado de la junta.

Fig. 4: Uniones terminadas



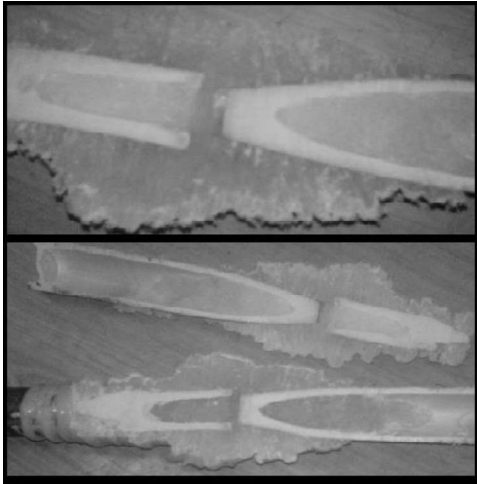
Fuente Los Autores

Luego de recubrir las uniones con el polímero, las probetas fueron dispuestas para enfriar cuidando que no se deformaran, Unión recta, unión en L y unión en Y (Figura 4).

C. Morfología de la interfase GAK-PEBD.

De las muestras construidas, se cortó una de cada clase para revisar internamente la integridad del conjunto GAK-PEBD, se encontró, que tanto por fuera como por dentro la unión desarrolló una gran cohesión, que a simple vista no se detalla de forma total.

Fig.5 Detalle de corte de unión recta

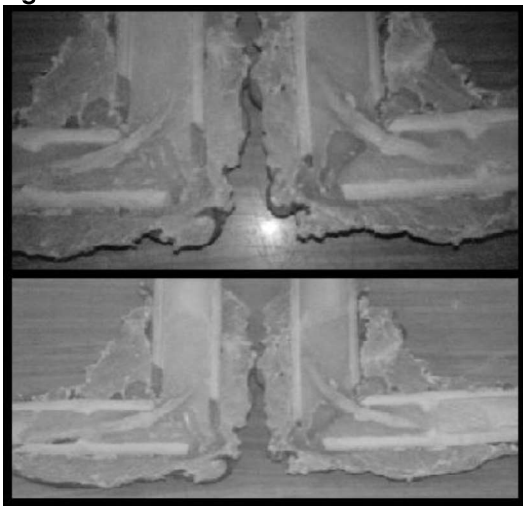


Fuente: Los Autores

Se puede apreciar la unión recta en la figura 5, destacando que las partes presentan un fuerte agarre entre los materiales. Igualmente presentan rigidez en la parte externa, haciendo más débil la parte lateral a la unión.

En la figura 6 se puede observar la morfología interna de la unión en L, en la guadua se detallan las cámaras llenas de polímero, el cual une y rodea todo el conjunto de guadua, de igual manera se observa el vástago de madera, que se incrusto en la construcción.

Fig.6: Detalle del corte de unión en L.



Fuente: Los Autores

D- Cálculo de la resistencia de la unión GAK-PEBD.

Mediante los datos característicos de los dos materiales y las medidas de las uniones, se realizó el cálculo de carga mínima que puede resistir cada junta. Para evaluar la resistencia de la unión con los materiales trabajados, se partió de los datos iniciales.

Longitud de volado: 40 cm.

Diámetro promedio de la guadua: 3,7 cm.

Espesor de la pared: 6 mm.

El esfuerzo antes de la ruptura (δr) se determina por medio de la ecuación 1.

$$\delta r = (M * c)/I \quad (1)$$

De donde se reemplaza.

$$M = (F * L)/I \quad (2)$$

$$c = d/2 \quad (3)$$

Al desarrollar la ecuación se obtiene.

$$\delta r = (32 * F * L * d)/\pi(d^4-(d-2t)^4) \quad (4)$$

M: Modulo de elasticidad

F: Fuerza

C: centroide

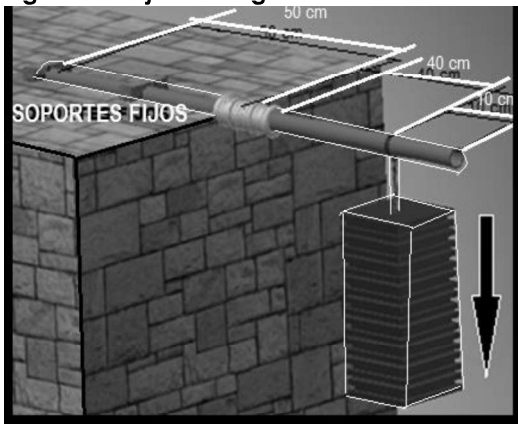
I: Momento de inercia

Teniendo en cuenta el tiempo de secado que se le dio a la guadua, se toma como valor de humedad promedio de 10 a 12% [19]. Y según La NSR-10 en su Título G.12-3, en este estado la guadua presenta condiciones que la hacen más resistente a los esfuerzos que se le aplican.

Partiendo de los datos de las propiedades mecánicas de la guadua se tiene el Módulo de Elasticidad promedio de 15,04 a 19 MPa, se aplica la ecuación (4) para hallar la carga

máxima para el diámetro de 37 mm, esta corresponde a 37,5 kg

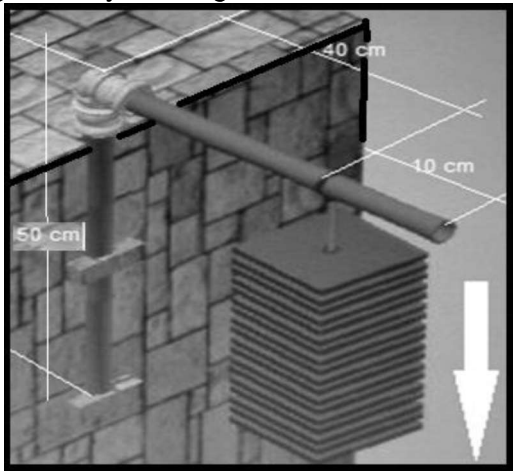
Fig.5: Montaje de carga de unión recta.



Fuente: Los Autores

Esta carga se emplea como referencia para realizar los ensayos a las probetas construidas, con los montajes indicados: Unión recta (Figura 5), Unión en L (Figura 6) y Unión en Y (Figura 7).

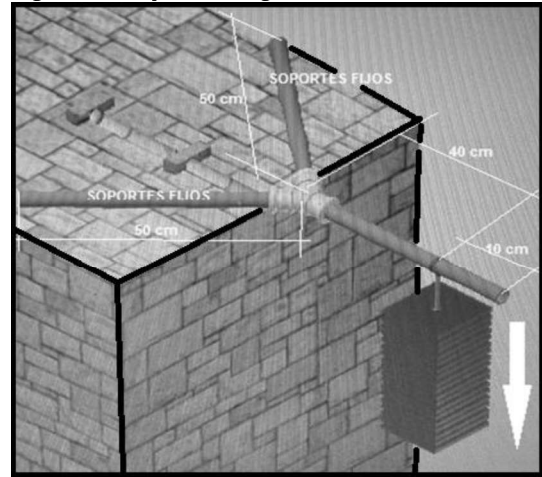
Fig.6 Montaje de carga de unión en L



Fuente: Los Autores

Los montajes replicaron los puntos de apoyo y carga, para hacer reproducibles los resultados.

Fig.7: Montaje de carga de unión en Y



Fuente: Los Autores

E. Aplicación de cargas a las juntas.

Las probetas fueron acondicionadas en un sistema de carga en laboratorio, de forma que se pueda replicar cualquier ensayo.

El montaje para las cargas se realizó en un banco de pruebas, con mecanismos de fijación en horizontal y vertical, de forma que no se afectó la integridad de la guadua, y una porta pesas de 60 cm de largo. Para la carga se emplearon pesas certificadas de 1 kg, 2 kg, y 4 kg (Figura 8).

Fig.8: Carga para unión en L



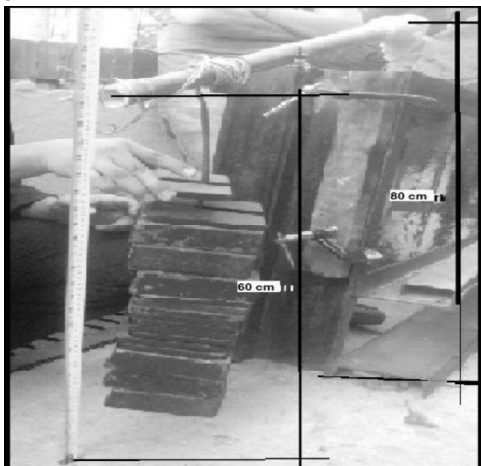
Fuente: Los Autores

F. Evaluación física de la flexión de las juntas GUADUA-POLÍMERO

La resistencia y flexión de las uniones estudiadas se ven afectadas por las respectivas resistencias de los componentes. De acuerdo a las muestras obtenidas, se encontró en las probetas una gran rigidez y resistencia a los esfuerzos que puede superar los valores de los componentes por separado.

Durante los ensayos la guadua presento una flexión promedio de 20 cm (20% longitud de las muestras) antes de la ruptura de la unión. (Figura 9).

Fig.9: Medición física de la flexión durante la carga



Fuente: Los Autores

Otro aspecto que incide en las propiedades mecánicas del conjunto es la adherencia entre la guadua y el polímero, que se puede ver afectada, debido a la baja temperatura del polímero durante el conformado y la humedad de la superficie de la guadua, ya sea por la naturaleza de la guadua o por agentes externos.

Todas las juntas se dispusieron de forma horizontal, y se les aplicó carga creciente en el extremo a 40 cm de la unión.

Resultados

Los resultados obtenidos en cada una de las pruebas se tabularon y graficaron como sigue:

A. Resultados Probetas Lineales

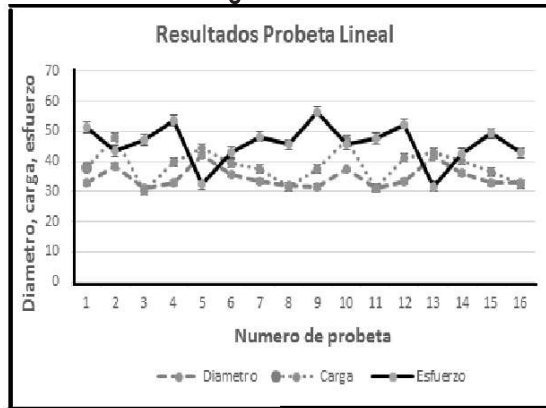
Tabla 1: Diámetro, carga y esfuerzo de ruptura de unión recta.

PROBETA LINEAL				
Nº	Diámetro (mm)	Carga (kg)	Esfuerzo o de ruptura	Sitio de Ruptura
1	32,8	38	51,3	Unión
2	38,4	48	43,6	Unión
3	30,9	30	47,2	Guadua
4	32,9	40	53,6	Unión
5	42,05	44,5	32,3	Unión
6	35,7	39,5	43,0	Unión
7	33,4	37,5	48,3	Guadua
8	31,9	31,5	45,7	Unión
9	31,4	37,5	56,6	Guadua
10	37,3	47	45,9	Guadua
11	31,2	31	47,6	Unión
12	33,5	41	52,4	Unión
13	41,8	43	31,7	Guadua
14	36,2	40,5	42,6	Unión
15	32,8	36,5	49,3	Unión
16	33,1	32,5	42,9	Unión
	34,7094	38,63	45,872	Promedios

Fuente: Los autores

La tabla 1 muestra los resultados de carga y esfuerzo de ruptura de las uniones rectas. En ellas se obtuvo un valor promedio de diámetro de: 34,7 cm, carga promedio de 38,63 kg antes de la falla y esfuerzo de ruptura promedio de 45,8 MPa. La dispersión de los datos de esfuerzo es de 27 unidades.

Figura 10: Grafica de carga de unión recta.



Fuente: Los Autores.

La figura 10 presenta la graficación de los datos de las uniones lineales, se resalta la línea gruesa correspondiente al cálculo de esfuerzo de ruptura que presenta gran variación a causa de la dispersión de los datos obtenidos.

También se presenta la curva punteada correspondiente a los valores de carga de falla (kg) de cada probeta, y la curva inferior, correspondiente a los diámetros (cm), de cada probeta.

B. Resultado de las Probetas en L

Tabla 2: Carga y punto de falla de unión en L

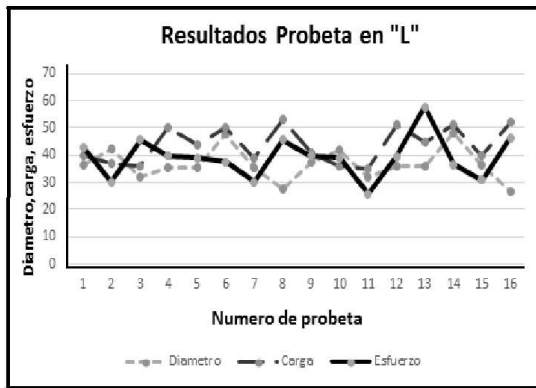
PROBETA EN "L"				
Nº	Diametro (mm)	Carga (kg)	Esfuerzo o de ruptura	Sitio de Ruptura
1	36,5	40	42,9	Guadua
2	42,4	37	30,2	Unión
3	32,2	36	45,6	Guadua
4	35,2	50	39,7	Unión
5	35,6	44	39,0	Guadua
6	47,5	50	37,6	Guadua
7	35,3	39	30,2	Guadua
8	27,8	53	45,6	Unión
9	37,2	41	39,7	Guadua
10	41,8	36	39,0	Unión
11	31,8	35	25,7	Guadua
12	35,9	51	39,6	Unión
13	36,1	45	57,7	Guadua
14	48,2	51	36,6	Guadua
15	36,2	40	30,8	Guadua
16	26,8	52	46,5	Unión
	36,6563	43,75	39,145	Promedios

Fuente: Los Autores,

La tabla 2 presenta los datos de carga de las uniones en "L", que presenta un valor de diámetro promedio de: 36,7 mm, una carga promedio de 43,75 kg antes de la falla y un esfuerzo de ruptura promedio de 39,1. La dispersión de esfuerzo de ruptura es de 15 unidades.

Los valores de falla de esta unión son superiores al valor hallado por formula de esfuerzo de ruptura y las uniones presentan mejor conformado dando más estabilidad a esta unión comparada con uniones de madera y pegamentos químicos.

Figura 11: Grafica de carga de unión en L



Fuente: Los Autores

En la figura 11 la línea continua corresponde a valores de esfuerzo de ruptura de cada probeta, y la línea de trazos muestra los datos de carga antes de la ruptura y la línea punteada presenta los diámetros en milímetros, los valores son parecidos, solo se dan dos muestras con dispersión atípica de datos.

B. Resultados de Probetas en Y

Tabla 3: Diámetro, carga y esfuerzo de ruptura de unión en Y

PROBETA EN "Y"				
Nº	Diámetro (mm)	Carga (kg)	Esfuerzo de ruptura	Sitio de Ruptura
1	36,5	45	37,6	Guadua
2	39,7	42	33,2	Guadua
3	36	45	38,4	Unión
4	38,3	48	35,0	Guadua
5	45,1	53	27,7	Guadua
6	43,7	49	28,9	Guadua
7	39	44	34,1	Unión
8	41,3	43	31,4	Guadua
9	37,2	46	36,6	Guadua
10	32,4	37	45,1	Guadua
11	33,9	36	42,1	Guadua
12	37,9	39	35,6	Unión
13	36,1	42	38,2	Guadua
14	46,1	56	26,8	Guadua
15	40,6	50	32,1	Guadua
16	33,4	38	43,0	Guadua
	38,575	44,56	35,36	Promedios

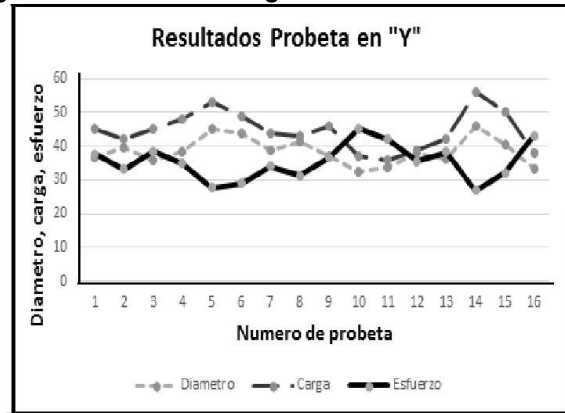
Fuente: Los Autores

En la tabla 3 se presentan los datos de las uniones en Y, con un valor de diámetro

promedio de: 38,57 mm, y una carga promedio de 44,56 kg antes de la falla y esfuerzo de ruptura promedio de 35,36 MPa, con una dispersión de datos de 16 unidades.

En la figura 12 se grafican los valores máximos y mínimos de carga y esfuerzo de ruptura según su diámetro.

Figura 12: Grafica de carga de unión en Y



Fuente: Los Autores

En la figura 12, la línea continua se refiere a valores de esfuerzo de ruptura de cada probeta (MPa), la línea de trazos corresponde a los valores de carga (kg) antes de la ruptura de cada probeta y la línea punteada corresponde a los diámetros (mm) de cada probeta. Estos valores presentan la relación entre diámetro, carga y esfuerzo de ruptura, como el resultado más homogéneo del estudio.

Análisis de resultados

De acuerdo a los resultados de carga y esfuerzo de ruptura obtenidos, se puede concluir que el comportamiento mecánico de las uniones GAK-PEBD es adecuado para ser utilizado en diseños de estructuras y mobiliario, con el adicional de superar los tiempos de uso con respecto a las técnicas de construcción comunes.

Teniendo en cuenta que no se puede comparar el material compuesto GAK-PEBD, con un material como el concreto, pero que presenta excelentes propiedades de rigidez resistencia, así como bajo peso, esta combinación se puede emplear en el desarrollo de nuevos productos estructurales [20], igualmente estos productos se pueden mejorar involucrando agentes adhesivos o pegantes [21].

Los resultados obtenidos en las uniones rectas son cercanos a los datos calculados, y presentan dispersión en cinco medidas. Lo anterior se puede atribuir al conformado del PEBD en la junta, teniendo en cuenta que fue una operación manual, susceptible de variar en cantidad de material y compactado de la unión, también se puede atribuir esta variación a la combinación de propiedades mecánicas de los dos materiales involucrados.

Los valores más bajos obtenidos en cada grupo de uniones, se consideraron construcciones defectuosas, a pesar de esto los valores se mantuvieron y generan una disminución en los valores promedios de cada grupo.

Por último, este grupo de uniones presenta un esfuerzo de ruptura, que se debe a la proporcionalidad del desarrollo de la fórmula presentada, Diámetros menores-Esfuerzos mayores.

Para las uniones en "L" Los valores obtenidos de diámetro, carga y esfuerzo de ruptura presentan menor dispersión y son superiores a los valores de la unión recta, esto se puede explicar por un mejor conformado de la unión y la inclusión del refuerzo de guadua, que no se le hizo a la unión recta.

Este grupo presenta en los tres aspectos valores intermedios de las tres juntas, y los valores de mayor dispersión corresponde al 30% de las muestras como en los otros grupos.

Aparte de la proporcionalidad de los cálculos en las uniones en "L" y en "Y", se aprecian datos más consolidados lo que se puede relacionar con la mayor cantidad de polímero aplicado a estas uniones.

La unión en "Y" dio los valores más altos, superando el valor de referencia de elasticidad, Este resultado, puede obedecer a la conformación de la junta, que posee mayor masa, por tener un brazo adicional, igualmente el resultado de mayor esfuerzo de este tipo de uniones puede obedecer a un mejor conformado teniendo en cuenta que fueron las últimas uniones hechas y con las que se corrigieron errores en la manufactura de las uniones.

De esta forma, se presenta una combinación interesante en su comportamiento mecánico, para el diseño de diversas estructuras que simplificaran los procesos productivos tanto en la industria de las estructuras, como en la del mobiliario básico.

Comparando los resultados con las referencias citadas, se encuentra que además de coincidir, fortalecen el desarrollo de nuevos materiales a base de GAK-PEBD.

Conclusiones

Partiendo de valores característicos de la Guadua Angustifolia Kunt y las propiedades mecánicas del PEBD [22], se definieron los datos a buscar con los ensayos de carga a las uniones definidas. Lo anterior de acuerdo a la evaluación de cada componente y posterior

combinación de propiedades. Como resultados del estudio se encontró que:

-Las uniones más comunes dentro de una estructura son tres: Unión recta, unión en "L" y unión en "Y".

-La unión que soporta mayor carga en una estructura, es la unión recta, por tener menos elementos y menos masa. La unión que presenta mayor resistencia es la unión en Y.

-El uso de polímero como alternativa a las uniones de madera presenta facilidad de conformado y mejor acabado.

-El conformado de las uniones con el relleno de la guadua y recubrimiento de la unión, da unas propiedades mecánicas superiores a las de los componentes por separado.

-El proceso de manufactura se puede mejorar empleando moldes para las uniones e incorporando un sistema de inyección, de esta forma se eliminan las uniones defectuosas generadas en el conformado manual.

-Los mecanismos de unión de la madera comunes (puntilla, tornillo, pegamento, fibras de amarre), no garantizan una duración grande, teniendo problemas de degradación con el tiempo.

-El reemplazo de formas de unión de la madera, por uniones GAK-PEBD, presentara con el tiempo mayores usos y aprovechamiento, por la facilidad de conformado.

-Las uniones estudiadas, presentan mejor funcionamiento y duración al conformarse con GAK-PEBD.

-Aunque se estudió el comportamiento de las uniones, se concluye, que la base de todo el estudio es la funcionalidad para las uniones presentada por el polímero.

-Los mecanismos de unión, varían de acuerdo a la cantidad de humedad de la guadua, que para el estudio se consideró el valor más común de humedad de 12% [19].

Como conclusión general, se encontró que el conformado de los tres tipos de unión, con el uso de GAK-PEBD, supero los pronósticos calculados para las estructuras, convirtiéndose en una alternativa real para la fabricación de estructuras a base de madera, guadua, y metales livianos.

Lo anterior de acuerdo a que los valores obtenidos por carga se presentan superiores a los datos obtenidos en los trabajos referenciados.

Agradecimientos

El presente documento se generó dentro del desarrollo del proyecto de investigación "Diseño y Construcción de Chasis Para Vehículo de Tracción Humana, con Material Compuesto de Reciclaje", patrocinado por la Universidad Santo Tomás de Tunja.

Agradecemos a las directivas de la Universidad por su apoyo al desarrollo de este Proyecto de Investigación y sus respectivos productos.

Referencias bibliográficas

- [1]. López Castaño, J. D. (2016). Diseño de estructuras ligeras en bambú/guadua con amarres para la arquitectura contemporánea, efímera y rural. 2016, Tesis de pregrado, Universidad Católica de Manizales, Caldas Colombia.

- [2]. Marín Restrepo, Marlio, Diseño de Estructura con Guadua Angustifolia para el Secado del Café y Cacao en Colombia, 2015, Tesis de pregrado, Universidad Militar Nueva Granada, Facultad de Estudios a Distancia-FAEDIS, Programa de Ingeniería Civil, Bogotá Colombia.
- [3]. Montoya, J. A., Orozco, C. A. (2005). Secado Solar y Convencional de la Guadua Angustifolia. *Scientia et Technica*, 1(27). 2005, XI, abril, Universidad Tecnológica de Pereira, Risaralda Colombia
- [4]. Arango, J. A. M. (2008). Evaluación de métodos para la preservación de la Guadua Angustifolia Kunth. *Scientia et Technica*, 1(38).
- [5]. Ordóñez-Candelaria, V. R., Bárcenas-Pazos, G. M. (2014). Propiedades físicas y mecánicas de tres especies de guaduas mexicanas (Guadua aculeata, Guadua amplexifolia y Guadua velutina). *Madera y bosques*, 20(2), 111-125. Madera y bosques, 2014, Instituto de Ecología, A.C. Red de Ambiente y Sustentabilidad,
- [6]. Sánchez Medrano, M. T., Espuna Mújica, J. A., Roux Gutiérrez, R. S. (2016). El bambú como elemento estructural: la especie Guadua Amplexifolia. *Nova scientia*, 8(17), 657-677, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Universidad Autónoma de Tamaulipas; Tampico
- [7]. Luna, P, Lozano, J, Takeuchi, C. (2014). Determinación experimental de valores característicos de resistencia para Guadua Angustifolia. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 16(1), 77-92.
- [8]. Takeuchi, Caori; Duarte Toro, Mauricio; Erazo, Wilson. (2013) Análisis Comparativo en Muestras de Guadua Angustifolia Kunth Solicitadas a Compresión Paralela a la Fibra. *Ingeniería y Región*, [S.l.], v. 10, p. 117-124, dec. 2013. ISSN 2216-1325.
- [9]. Moreno Montoya, L. E., Osorio Serna, L. R., & Trujillo De los Ríos, E. E. (2006). Estudio de las propiedades mecánicas de haces de fibra de Guadua angustifolia. *Ingeniería y desarrollo*, (20).
- [10]. Osorio, J. A., Vélez, J., & Ciro, H. J. (2007). Estructura interna de la guadua y su incidencia en las propiedades mecánicas. *Dyna*, 74(153).
- [11]. Lamus Báez, F. A., Plazas Bernal, M. A., & Luna Tamayo, P. (2015). Bolted joint strength under parallel to grain double shear in guadua angustifolia structures. *Tecnura*, 19(43), 52-62.
- [12]. Arango, J. A. M., González, H. Á., & Sánchez, J. R. B. (2007). Dureza Brinell y la influencia de la humedad relativa del ambiente, de la edad y la altura a lo largo del tramo en la especie de bambú guadua angustifolia kunth. *Scientia et Technica*, 13(34), 619-624.
- [13]. Takeuchi, Caori., Duarte, M., Alarcón, J. E., & Olarte, J. F. (2014). Estudio multifactorial de resistencia ultima a

- tensión paralela a la fibra en muestras de guadua angustifolia Kunth. Ingeniería y Región, (11), 85-90.
- [14]. Báez, F. A. L., Pardo, S. A., & Castellanos, N. T. (2014). Rigidez de una conexión de columnar-cimentación para estructuras de Guadua angustifolia Kunth. *Épsilon*, (22), 39-53.
- [15]. López, L. F., & Correal, J. F. (2009). Estudio exploratorio de los laminados de bambú Guadua angustifolia como material estructural. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 11(3), 171-182.
- [16]. Correal, J. F., Echeverry, J. S., Ramírez, F., & Yamín, L. E. (2014). Experimental evaluation of physical and mechanical properties of glued laminated Guadua angustifolia Kunth. *Construction and Building Materials*, 73, 105-112.
- [17]. Montoya González, D. (2016). Estudio de la composición y las propiedades mecánicas de los elementos de unión elaborados en guadua para estructuras poliédricas de puentes y otras aplicaciones, Tesis de pregrado, Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.
- [18]. González L, Villamarín N, 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, 2017, Tesis de pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.
- [19]. Brand R, Ruiz D, Castillo N, Caracterización física y mecánica de la Guadua rolliza de la especie Angustifolia Kunth mediante procesamiento digital de imágenes, 2015, Tesis de Pregrado, Universidad Militar Nueva Granada, Facultad de Ingeniería Civil, Bogotá.
- [20]. Lázaro León, Karen Catherine, Gonzáles Mora, Héctor E., Cárdenas Oscanoa, Aldo J., & Gago Campusano, Javier. (2016). Evaluación de las propiedades físicas de material compuesto elaborado con bambú (Guadua angustifolia Kunth) y polipropileno. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 7(38), 79-94.
- [21]. Luna, Patricia, Olarte, Ana Milena, & Takeuchi, Caori. (2014). Theoretical and experimental analysis of structural joints of glued laminated pressed bamboo guadua for a housing project. *DYNA*, 81(184), 110-114.
- [22]. Rojas Alvarado Javier Mauricio, Análisis de las propiedades mecánicas de la guadua Angustifolia mediante técnicas estadísticas y redes neuronales, 2013, Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola, Bogotá, Colombia