

Las conexiones deben estar en capacidad de resistir tanto tensiones a tracción, como momentos flectores que se caracterizan por restringir el grado de libertad rotacional; para tales fines, se considera fundamental trabajar con conexiones rígidas en la unión viga – columna, que garantizan resistir mayores cargas sin cambiar las dimensiones de la sección transversal de los elementos (Camacho & Páez 2002).

Al igual que en las maderas, el cálculo de las uniones entre los elementos es quizás el factor más crítico en cualquier estructura. Para la guadua dicho problema se agudiza si se tiene en cuenta que, debido a la orientación de las fibras, paralelas al elemento, se permiten mayores desplazamientos cuando se generan tensiones en ellos.

Aunado a lo anterior, debe tomarse en cuenta que tradicionalmente y aún en nuestros tiempos, desde pequeñas hasta medianas estructuras, se realizan uniones que requieren la perforación de los elementos o cortes, que dependiendo de la distancia hacia los bordes o de la presencia o no de nudos, influyen directamente en la resistencia de los elementos cuando son sometidos a esfuerzos cortantes o de tracción.

La manera más usual para realizar uniones con guadua es con cuerdas, clavos, o con uniones entre elementos, que requieren el corte en sus extremos recibiendo nombres como cortes de bisel y boca de pescado, entre otros.

La ventaja de este tipo de uniones es su economía y la sencillez que éstas requieren para hacerse; sin embargo, éstas no permiten aplicar grandes cargas, lo que limita su uso en muchas estructuras ya que la resistencia a esfuerzos cortantes es baja (figuras 36 y 37).

A partir del desarrollo en el uso del material, se han propuesto varios tipos de uniones, usando pasadores longitudinales y transversales con varilla roscada de $\frac{1}{2}$ " y mortero en relación 1:3, la cual fue evaluada por Garzón & Varina (1996), y cuyos resultados demostraron que este tipo de unión resiste cargas por el orden de los 3000 kg (30 kN),

ha sido un modelo a seguir para el desarrollo de nuevos prototipos; además, este modelo puede ser utilizado en pequeñas y medianas estructuras agropecuarias por su confiabilidad y bajos costos (figura 38).

Peña & Rodríguez (1997), estudiaron la posibilidad de una unión consistente en sistema de conectores, conformados por una lámina circular perforada a la que se le introduce un pasador de 1/2" y puntillas de 1" de longitud y 1/8" de diámetro (ver figura 39 y tabla 21), cuyos resultados muestran que por cada par de conectores instalados sobre la guadua, se aumenta la resistencia en 100 kg, aproximadamente.

Este tipo de unión presenta la ventaja de reducir costos, por el no uso de mortero, además de que la carga que este sistema genera en las estructuras es más baja; sin embargo, la construcción de estos sistemas de acople aunque trae sus ventajas al incrementar la resistencia.

Tabla 21. Resultados encontrados por Peña & Rodríguez (1997), en sistemas conectores para GAK

Tipo de Unión	Carga Máxima Kg
1 pasador de 12,7 mm de diámetro	1815
1 pasador de 12,7 mm de diámetro platina calibre 18 y 50mm de diámetro 4 puntillas a 90°	3770
1 pasador de 12,7 mm de diámetro platina calibre 18 y 50mm de diámetro 6 puntillas a 68°	4080
1 pasador de 12,7 mm de diámetro platina calibre 18 y 50mm de diámetro 8 puntillas a 45°	4748

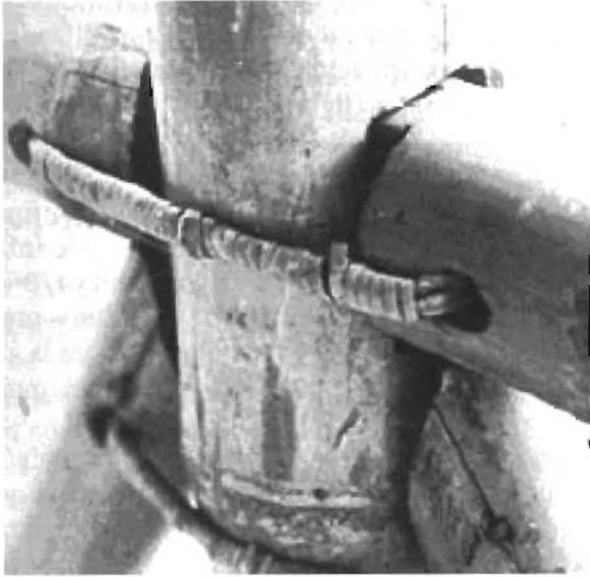


Figura 36. Unión tradicional con lazo en estructuras con guadua

Fuente: Hidalgo (2003)



Figura 37. Unión con bisel o boca de pescado en estructuras con guadua

Foto. Eugenia González C. 2009

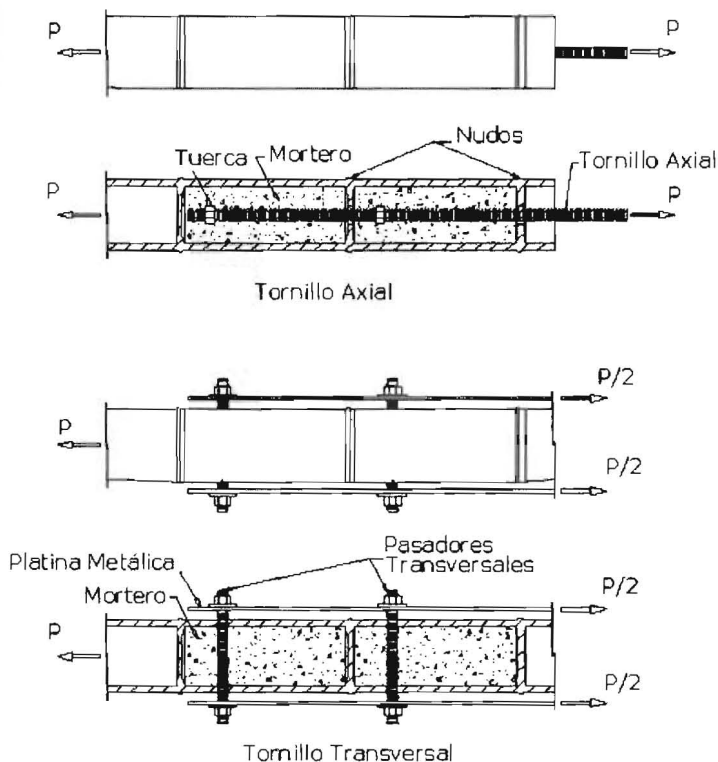


Figura 38. Unión para construcciones en guadua.
Fuente: Garzón & Varina (1996)

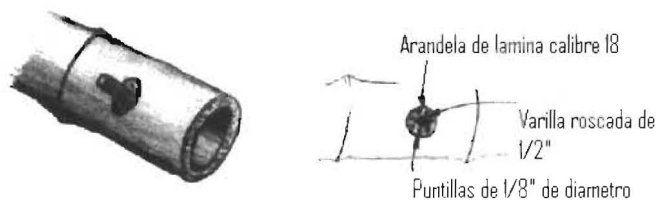


Figura 39. Unión diseñada por Peña & Rodríguez (1997)
Fuente: Peña y Rodríguez (1997)

Por otra parte, Clavijo & Trujillo (2000), realizaron ensayos en uniones en guadua, con el fin de conocer el comportamiento de la guadua ante una fuerza de corte o rasgamiento longitudinal producida por tornillos y puntillas, considerando además variables como la afectación de la distancia al borde, el diámetro, la separación entre elementos conectores, el papel del nudo, del espesor de las paredes y del contenido de humedad.

Estos autores proponen dos tipos de uniones a tracción:

Unión tipo abrazadera: esta clase de unión consta de un anillo de acero u otro metal que abraza la guadua y se adhiere a ésta con tornillos, teniendo cuidado de no ubicarlos colinealmente en sentido longitudinal, ya que contribuye a que el rasgamiento se de con mayor facilidad.

Este tipo de unión consiste en una lámina formada en frío, calibre 22, de 4 centímetros de ancho utilizando 12 tornillos de 6,35 mm (1/4") y un pasador de 1,58 cm (5/8"), y presenta una resistencia última promedio de 10500 kg (10,5 kN), pero su gran defecto de acuerdo con los autores es que sufre grandes deformaciones antes de fallar, sumado a las dificultades de construcción de las abrazaderas (figura 40).

Clavijo & Trujillo (2000), propusieron una ecuación que se ajusta al comportamiento de este tipo de unión obtenida con un factor de seguridad de 3, donde recomiendan utilizar este modelo de unión para cargas menores de 2000 kg con desplazamientos menores a 0,5 cm.

$$P \approx 5000 + 2200 * D e - 2400 * D i \quad (42)$$

Donde:

P: carga final de falla (kg).

De: diámetro externo (cm).

Di: diámetro interno (cm).

Unión con mortero: esta unión consiste en tomar un entrenudo de la probeta y pretaladrar 18 orificios de manera que no queden colineales, ni vertical ni horizontalmente. Luego se introducen 18 varillas lisas de 1/4" en cada orificio y posteriormente se taladran dos orificios de 5/8" para atravesar el pasador y un orificio de 1 1/4" para introducir el mortero al interior del entrenudo. Este tipo de unión presenta una resistencia última promedio de 6565 kg (6,56 kN), pero de igual manera a la unión tipo abrazadera, presenta dificultades en su construcción (figura 41).

De igual manera, la ecuación encontrada por Clavijo & Trujillo (2000) que mejor se ajusta al comportamiento de este tipo de unión, se obtiene con un factor de seguridad de tres:

$$P \approx -600 + 2400 * De - 2500 * Di \quad (43)$$

Donde:

P: carga final de falla (kg).

De: diámetro externo (cm).

Di: diámetro interno (cm).

Existen otros tipos de uniones o conectores para estructuras espaciales, como las desarrolladas en la Universidad de Aachen en Alemania o por Shoei Yoh en Japón reportado por Obermann & Laude (2004), que contribuyen a alivianar las estructuras y permitir una utilización de los elementos sin necesidad de realizar cortes que alteren su composición estructural. Algunos prototipos de uniones del tipo Yoh, se han desarrollado en el país, como en el SENA "Centro de industria instrumentación y control de procesos" Dos Quebradas – Risaralda de Dos Quebradas en Pereira (ver figura 42).

Obermann & Laude (2004), desarrollaron un trabajo de investigación consistente en el diseño, construcción y evaluación de un prototipo de conector o unión, con el objetivo de analizar la viabilidad de uso del bambú en estructuras espaciales. La unión consistió en introducir un tubo de acero A36, con un diámetro de 9 cm y una longitud de

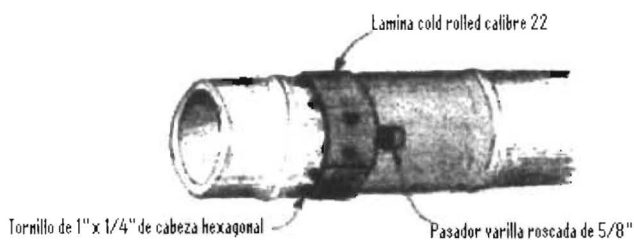


Figura 40. Detalle de la unión tipo abrazadera diseñada por Clavijo & Trujillo (2000)

Fuente: Clavijo & Trujillo (2000)



Unión con mortero



Posición de varillas lisas

Figura 41. Unión con mortero

Fuente: Clavijo & Trujillo (2000)



Figura 42. Detalle de uniones con tornillos

Foto. Eugenia González C. 2009

30 cm, con una forma cónica que permite realizar la unión guadua-elemento con una esfera de acero. El tubo y la guadua se perforan para instalar en ellos pasadores de 3/8", obteniéndose así un sistema combinado que se da a conocer en las figuras 43 y 44.

Este tipo de estructura se convierte en una excelente oportunidad de diseñar y construir sistemas con grandes luces y con muy poco material, donde los autores recomiendan, además, no utilizar valores cuya fuerza máxima tanto a tracción como a compresión superen los 30kN; sin embargo, dada la complejidad en el desarrollo de las uniones, es necesario llegar al punto de semi-industrialización de los procesos, con el fin de que los costos para la construcción de dichas piezas de acero, no sean tan altos.

Este tipo de uniones que trabaja bien a esfuerzos de tracción y que soporta cargas de hasta 30 KN, se considera importante tenerlas en cuenta en estructuras como cobertizos, donde las cargas generadas por acción del viento son importantes en la estructura; sin embargo, es necesario llegar a generar prototipos de cobertizos como modelos a seguir para el desarrollo de estructuras con materiales alternativos, en este caso la guadua.

En los tipos de conectores en pórticos, como los descritos por Camacho & Páez (2002), la conexión transfiere los momentos flectores de la viga a la columna mediante una fuerza de tracción en el pasador y en los alambres, tal como se observa en las figuras 45 y 46. Se consideran conexiones apropiadas para el desarrollo de pequeñas estructuras agropecuarias de un solo nivel, como algunos depósitos o caballerizas, entre otras.

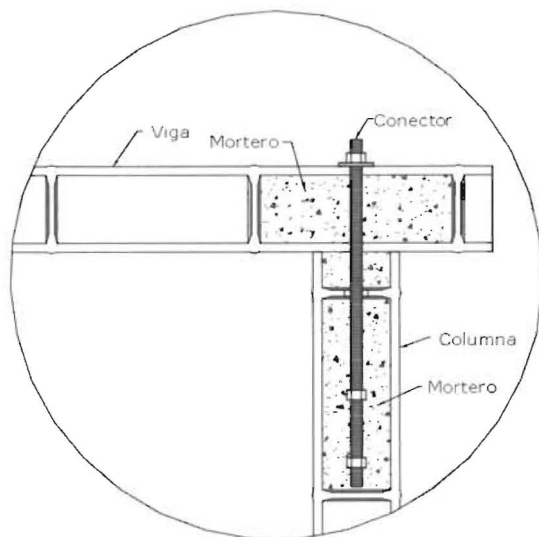


Figura 43. Prototipo de unión desarrollado por Obermann & Laude (2004)
Foto. Eugenia González C. 2009



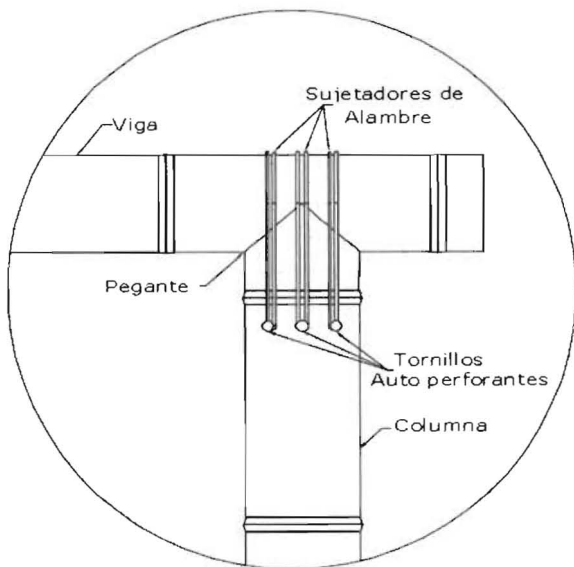
Figura 44. Estructura espacial en guadua existente en la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, desarrollada por Obermann & Laude (2004)
Foto. Eugenia González C. 2009

Figura 45. Conector para GAK



Fuente: Camacho & Páez (2002)

Figura 46. Conector boca de pescado y amarre en alambre

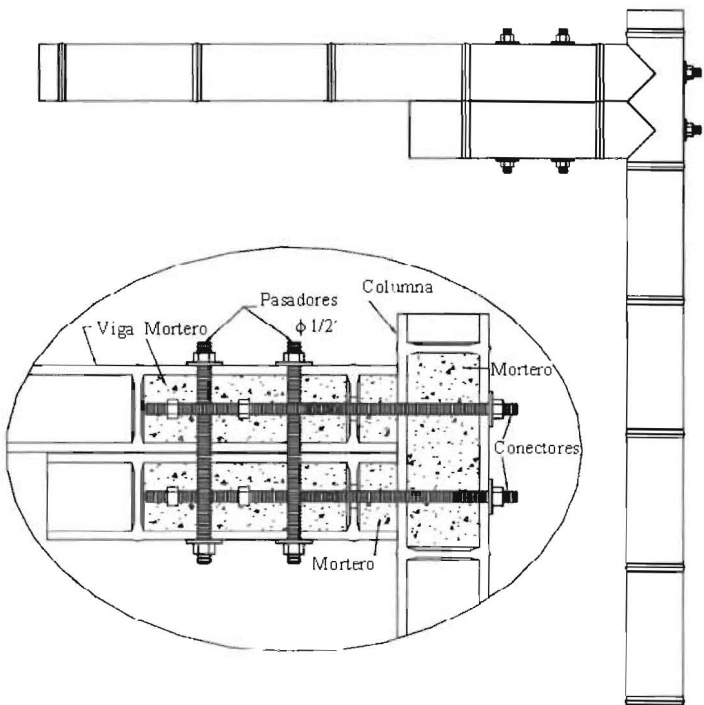


Fuente: Camacho & Páez (2002)

Los conectores o uniones con alambre en la intersección viga y columna, para estructuras agropecuarias, pueden ser utilizados en aquellas cuyas condiciones de humedad son bajas, dado que los efectos de corrosión que se puede presentar en el material, pueden causar posiblemente la falla del sistema; caso contrario sucede con otros diseños en donde el núcleo central de unión viga columna, como es el pasador en varilla, viene interno a la guadua.

Los conectores ECFM-1 y ECFM-3 desarrollados por Camacho & Páez (2002), y que se ilustran en las figuras 47 y 48 respectivamente, presentan una similitud en el comportamiento, y alcanzan cargas del orden de 1,04 y 1,40 kN respectivamente.

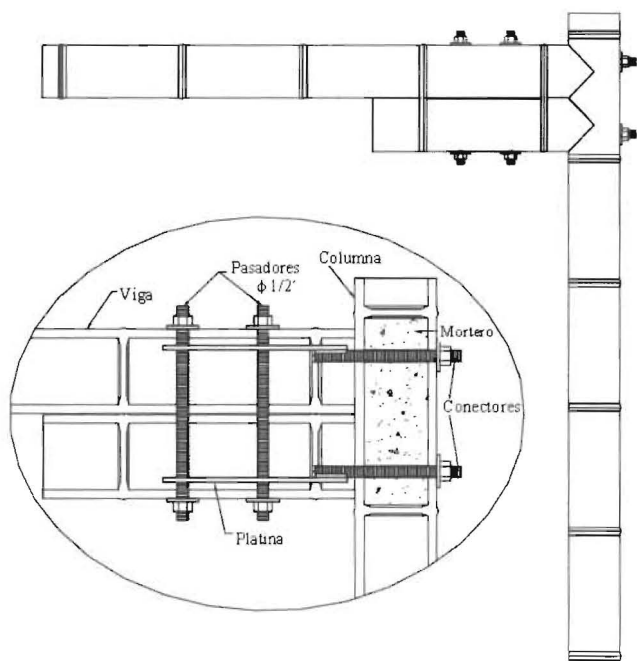
Figura 47. Conector ECFM-1 desarrollado por Camacho Camacho & Páez (2002)



Fuente: Camacho & Páez (2002)

Los conectores de las figuras 47 y 48, pueden ser utilizados en estructuras agropecuarias donde los momentos y cortantes son más altos, como es el caso de beneficios de café; sin embargo, para definir cuál tipo de unión usar, es imprescindible un análisis estructural completo.

Figura 48. Conector ECMF-3 desarrollado por Camacho & Páez (2002)



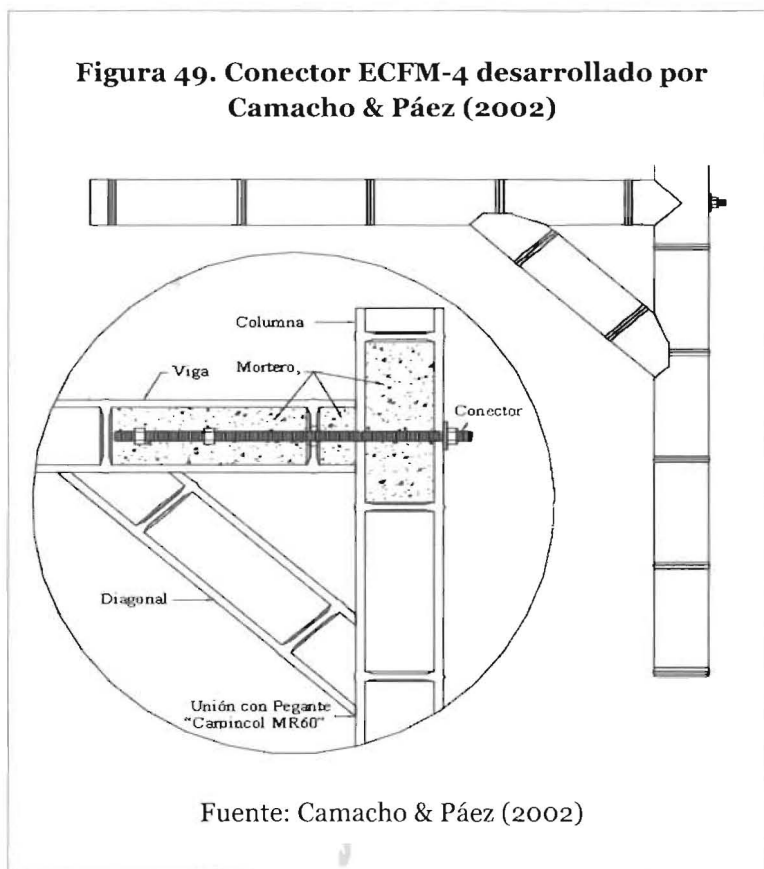
Fuente: Camacho & Páez (2002)

Otros tipos de uniones analizadas también por Camacho & Páez (2002), pero cuyos modelos se han venido desarrollando en algunas estructuras en el país, es la ECFM-4, la cual se presenta en la figura 49.

Este tipo de uniones se recomienda en estructuras agropecuarias, principalmente en aquellas donde las cargas de vientos por succión son altas, y generan momentos flectores considerables en el diseño, como son el caso de co-

bertizos, secadores, estructuras para realizar procesos de compostación, viveros, entre otras. Este tipo de conectores pueden resistir cargas hasta 1,39 kN que, comparadas con las ECFM-1 y 3, se consideran aceptables; solo que éstas presentan mayores deflexiones, que pueden sin embargo ser controladas en este tipo de estructuras mencionadas con antelación.

Figura 49. Conector ECFM-4 desarrollado por Camacho & Páez (2002)



Fuente: Camacho & Páez (2002)

La figura 50, muestra algunas estructuras agropecuarias propias del sector, donde el uso de la guadua es importante y las uniones juegan un papel fundamental.