

ANÁLISIS DE PATOLOGÍA ESTRUCTURAL EN PUENTE DE GUADUA
ANGUSTIFOLIA KUNTH

CASO DE ESTUDIO PUENTE JENNY GARZON CALLE 80

JENNIFER PARRA RAMIREZ

JUAN GABRIEL PRECIADO MORENO



UNIVERSIDAD
La Gran Colombia

UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA

FACULTAD DE ARQUITECTURA

TECNOLOGIA EN CONSTRUCCIONES ARQUITECTONICAS

BOGOTÁ - COLOMBIA

05/12/2018

ANÁLISIS DE PATOLOGÍA ESTRUCTURAL EN PUENTE DE GUADUA

ANGUSTIFOLIA KUNTH

CASO DE ESTUDIO PUENTE JENNY GARZON CALLE 80

JENNIFER PARRA RAMIREZ

JUAN GABRIEL PRECIADO MORENO

Monografía de Grado para optar al título de Tecnólogo en Construcciones Arquitectónicas

Arq. Nelson Ricardo Cifuentes Villalobos

Coordinador PTCA

Arq. Walter Barreto

Docente de Proyecto

UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA

FACULTAD DE ARQUITECTURA

TECNOLOGIA EN CONSTRUCCIONES ARQUITECTONICAS

BOGOTA – COLOMBIA

05/12/2018

Tabla de contenido

Tabla de contenido	1
Índice de figuras	3
Índice de Tablas	4
Resumen	5
Abstract	6
Introducción	7
Objetivo General	8
Objetivos Específicos	8
Planteamiento del problema	9
Aspectos Metodológicos	10
Marco Referencial	13
Antecedentes del estudio de caso	13
Antecedentes de la calidad de la materia prima	14
Marco Legal	16
Esfuerzos admisibles de la guadua	19
Propiedades Mecánicas	20
Análisis Sistemas estructurales	23
Elementos de uniones rígidos y articulados	28
Cronología de 6 ejemplos relevantes.	29

Análisis de la información.....	30
Análisis y discusión de resultados.....	31
Lesión prematura en el puente	34
Movimiento de apoyos	36
Cargas de servicio	36
Sistemas de piso	37
Conclusiones	38
Referencias	40
ANEXOS.....	41

Índice de figuras

Figura 1 planta general del puente de guadua sobre la calle 80	11
Figura 2 Procedimiento metodologico de la investigacion	13
Figura 3 vista costado occidental desde el tramo norte.....	15
Figura 4 perforaciones para inyectar el inmunizante	17
Figura 5 tipos de corte.....	36
Figura 6 tipos de uniones	19
Figura 7 esfuerzos	20
Figura 8 curvatura natural del bambu.	23
Figura 9 estructura principal y estructura de soporte	26
Figura 10 planimetria del puente.....	27
Figura 11 estructura de cubierta arcos y tirantes.....	27
Figura 12 planimetria corte transversal.....	28
Figura 13 union boca de pescado y zunchos o abrazaderas	29
Figura 14 elementos continuos en arcos principales.....	34
Figura 15 elementos articulados.....	35
Figura 16 puente sostenido por apoyos temporales y con teja de barro.....	35
Figura 17 falla estructural por flexo/compresion	36
Figura 18 deformaciones en el puente.....	37
Figura 19 demolicion piso del puente	38
Figura 20 propuesta para proponer el piso origila del puente	38

Índice de Tablas

Tabla 1 esfuerzos admisibles de la guadua	21
Tabla 2 clasificacion estructuras según Ritter.....	25
Tabla 3 uniones del puente.....	30
Tabla 4 cronologia de los puentes en bambu guadua.....	31
Tabla 5 tipos de las lesiones.....	362

Resumen

Este trabajo investigativo surge a partir de la hipótesis “Los sobre esfuerzos en una edificación de guadua se pueden corregir antes de hacer uso y así evita la afectación a la protección por diseño”. La estructura del puente peatonal de la calle 80 Jenny Garzón está conformada en su mayor parte por elementos en guadua siendo un material susceptible a ataque por la acción del medio ambiente pero el material fue tratado en obra, el material fue inmunizado con soluciones químicas que reducen su vulnerabilidad ante el ataque de xilófagos y atmosféricos esto para preservar el puente, sin embargo se presentó una lesión prematura ya que no hubo empatía la geometría estructural con el diseño original ocasionando esfuerzos que no estaban contemplados. Con base a la observación realizada en la primera visita al puente, a pesar que no se hallaron agentes patológicos en el material natural que deteriore el puente como hongos, insectos o fotodegradación, si se observa cómo se dio solución al problema geométrico-estructural. Teniendo en cuenta lo anterior se propuso hacer una labor investigativa documental en la cual el presente documento se realizó para identificar la lesión y analizarla, para posteriormente llegar a unas conclusiones y datos que demuestren la hipótesis. Por medio de la investigación se llegó a aportar datos numéricos de los esfuerzos admisibles de la guadua, con base a la norma NSR-10 capítulo G Madera y Guadua, datos del IDU y previos estudios.

PALABRAS CLAVE: *Guadua, Patología estructural, geometría, puentes en bambú, flexo-compresión, sobre esfuerzos mecánicos.*

Abstract

This research work arises from the hypothesis "The over efforts in a building of guadua can be corrected before use and thus avoid the impact on protection by design." The structure of the pedestrian bridge of 80 Jenny Garzón Street is composed mostly of elements in guadua being a material susceptible to attack by the action of the environment but the material was treated on site, the material was immunized with chemical solutions that reduce its vulnerability to the attack of xylophages and atmospheric this to preserve the bridge, however there was a premature injury since there was no empathy the structural geometry with the original design causing efforts that were not contemplated. Based on the observation made in the first visit to the bridge, although no pathological agents were found in the natural material that deteriorates the bridge as fungi, insects or photodegradation, if we observe how the geometric-structural problem was solved. Taking into account the above, it was proposed to do a documentary research work in which the present document was made to identify the lesion and analyze it, in order to later arrive at conclusions and data that demonstrate the hypothesis. Through the research, it was possible to provide numerical data on the admissible efforts of guadua, based on the NSR-10 G Wood and Guadua chapter, IDU data and previous studies.

KEY WORDS: *Guadua, Structural pathology, geometry, bamboo bridges, flexo-compression, mechanical stress*

Introducción

La *Guadua angustifolia Kunth*, es un material natural muy resistente y utilizado en construcciones sismo-resistentes ya que tiene muy buenas cualidades físicas y se caracteriza por su resistencia y durabilidad siendo una especie certificada para su uso estructural por la norma NSR 2010 Título G Capítulo 12.

Para comprobar la hipótesis en este proyecto se realizó una recopilación de la literatura relevante, se realizaron tomas de diferentes datos de estudios previos aproximadamente de 4 archivos documentos públicos de la ciudad de Bogotá como los son: Instituto de Desarrollo Urbano (*IDU*), Alcaldía Mayor de Bogotá D.C y documentos de entidades privadas que también intervinieron en el proyecto como lo son: C.E.G.G. ingeniería, R&M Construcciones de Interventoría Ltda., Salazar Ferro Ingenieros S.A, adicional a esto se realizó una visita de campo, toma de fotografías, diagramas y análisis de la estructura mediante una maqueta. (Fotos de la maqueta en los anexos).

El caso de estudio se basó en la importancia del material como fuente de construcción pero no siempre es el material el causante de daños, fallas o deterioros en una edificación es por esto que se mostró en este trabajo investigativo como otro factor afecto la resistencia y durabilidad del material. Como es el caso del Puente de Guadua Jenny Garzón en Bogotá donde se evidencio una falla estructural en su ejecución que gracias al personal calificado que intervino en su construcción se percataron y dieron una solución inmediata que funciono hasta la fecha, 15 años después de su construcción y que aparentemente después de la visita que se realizó no se evidencio fallas. Se ofrece un contenido amplio sobre un tema específico, así como también información relevante hecha por otros autores

Objetivo General

Analizar con la documentación obtenida y la visita de campo la lesión prematura estructural que se presentó en el Puente de Guadua Jenny Garzón en la calle 80 y como se llegó a intervenir para alargar su durabilidad y preservación.

Objetivos Específicos

1. Recopilar la literatura relevante acerca del comportamiento estructural de la guadua aplicado al estudio de caso a investigar.
2. Explicar los componentes del puente frente a diferentes parámetros como: partes de la estructura, cubierta, apoyos, uniones y ejemplos relevantes esto para entender la intervención mecánica ante esfuerzos de compresión y flexión del Puente.
3. Determinar las características estructurales mostrando como y donde fue que ocurrió la lesión prematura.
4. Organizar la información encontrada con tablas, figuras y a una maqueta para evidenciar la falla encontrada y como se intervino.

Planteamiento del problema

En Colombia, se ha abordado el Bambú *Guadua angustifolia Kunth* en la construcción de puentes peatonales, como es el ejemplo de: Los puentes Pasto y Pereira diseñados por *Stamm*, Los puentes Bogotá y Guangdong diseñados por *Vélez*, construidos exitosamente ya que hasta el momento desde su construcción no se han evidenciado ningún tipo de patologías o fallas. Sin embargo, no todas las obras ejecutadas en este material transmiten confianza y seguridad por los resultados que se evidencia después de su construcción y en algunos casos después de estar en uso, como por ejemplo casos puntuales: el puente de guadua de Medellín ubicado en la zona de Santo Domingo Savio junto al Parque Biblioteca España y el puente del municipio de Nariño ubicado en la vereda Puente Linda, ya que presentaron anomalías estructurales al no contar con los debidos procesos constructivos que requiere la guadua para su correcto funcionamiento mecánico y físico.

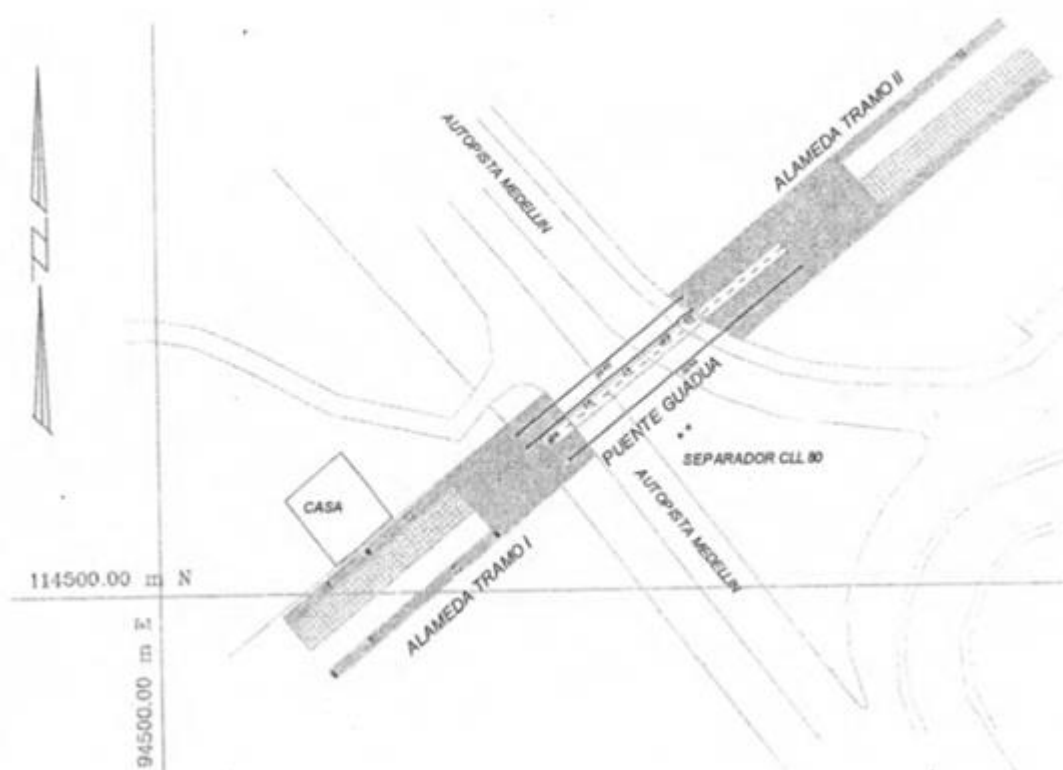
Como es el caso de estudio el Puente de Guadua Jenny Garzón su diseño arquitectónico fue como Simón Vélez lo planteo pero en el momento de su ejecución se presentaron fallas en su geometría estructural lo cual se generó esfuerzos perpendiculares que no se contemplaron en su diseño, esto hizo que los apoyos sufrieran visiblemente desplazamientos y que se incrementara aún más las tensiones. Salazar F. (2003).

Por esta razón llegamos a preguntarnos ¿por qué se originó una lesión prematura en la estructura principal del puente Jenny Garzón en Bogotá?

Aspectos Metodológicos

El método usado en este proyecto fue el estudio de caso del Puente de Guadua Jenny Garzón ubicado en la calle 80 en la localidad de Engativá en Bogotá capital del departamento de Cundinamarca localizado en la zona central del país, como se muestra en la figura 1.

Figura 1 planta general puente de guadua sobre la calle 80



Fuente: archivos del instituto de desarrollo urbano de Bogotá

Este estudio de caso se lleva a cabo en primera medida una investigación de un fenómeno presentado en el que se buscó dar respuesta a cómo y por qué ocurrió, se permitió estudiar un tema determinado lo cual fue una lesión prematura en una estructura de guadua, se estudió este fenómeno desde una perspectiva lo cual fue a grandes rasgos el concepto de la ingeniería civil, luego se exploró en forma más profunda y se obtuvo un conocimiento más amplio sobre este fenómeno lo cual permitió una recolección de información basada en el estado del arte sobre medidas de carácter estructural, esta metodología se basa en la documentación en cuanto a sistemas estructurales previos de la *Guadua Angustifolia Kunt* como puentes construidos en este material natural, centrándonos puntualmente en la lesión prematura presentada en el puente en su ejecución. Tomando en cuenta lo anterior la investigación llegamos analizar cuál fue el trabajo de campo lo cual se recopiló diferentes fotografías, se procedió a definir el entendimiento de cada autor expresado y el análisis del trabajo de campo y finalmente se organizó y analizó la información recopilada que permitió generar una clasificación de las conclusiones y la discusión de los resultados.

Yin, (1989) propone la guía de los procedimientos que deben realizarse durante la fase de

Obtención de la evidencia y contiene los siguientes elementos: Semblanza del estudio de caso; antecedentes del proyecto, tópicos por investigar, proposiciones teóricas por confirmar, literatura relevante. Preguntas del estudio de caso; están destinadas al investigador y están destinadas a garantizar que se obtenga la evidencia que se requiere para contrastar las posiciones teóricas del estudio. Procedimientos a ser realizados; definir mecanismos. Guía del reporte del estudio de caso: permite hacer una revisión continua de la literatura relevante (figura 2).

Figura 2 procedimiento metodológico de la investigación



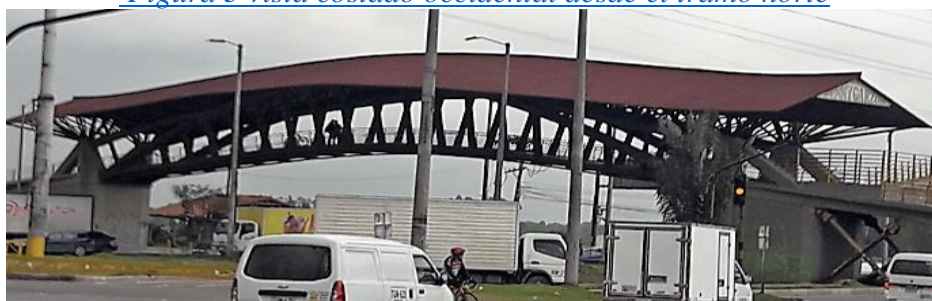
Fuente: el método de estudio de caso P. Martínez

Marco Referencial

Antecedentes del estudio de caso

El desarrollo del proyecto puente en guadua de la Alameda Florida Juan Amarillo comprende 3 tramos: Tramo uno, inicia en la calle 80 (autopista Medellín) hasta el parque la florida en la longitud de 2.800 mts. Tramo dos, que inicia en la calle 80 (autopista Medellín) hasta el barrio Lisboa en una longitud de 1.500 mts. Tramo tres, que inicia en la calle 80 (autopista Medellín) hasta el Rio Juan Amarillo en una longitud de 1.300 mts. El tramo uno está ubicado en el costado izquierdo de la autopista Medellín en sentido oriente occidente y los tramos dos y tres en el costado derecho, hecho que genera la necesidad de construir un elemento que permia la comunicación directa de los tramos cruzando la autopsita transversalmente, para brindad la continuidad en el proyecto y seguridad a los usuarios de la Alameda. Según lo anterior y dada la importancia de este punto geográfico de ingreso a la ciudad Capital del país; el IDU acogió la propuesta realizada por la firma Bambú de Colombia S.A, interesados en promover la guadua en Colombia como alternativa de construcción e ingeniería lo cual fue donar a la Ciudad de Bogotá un puente peatonal (figura 3), adicionalmente el diseño y construcción del puente se realizó por la persona con más experiencia en el país en el manejo de los elementos naturales de construcción como es la guadua, el Arquitecto Simón Vélez. (IDU Puente guadua, 2002, p. 2)

Figura 3 vista costado occidental desde el tramo norte



Fuente: elaboración propia

Antecedentes de la calidad de la materia prima

En nuestro caso de estudio en este documento, La *GaK* como material principal en la estructura del puente calle 80 Jenny Garzón hace parte del proceso en la construcción ya que es un material natural y se es necesario genera todo un contexto de formación para su utilización. Partiendo de su génesis de donde se cultivó, su tratamiento, variables in situ y su proceso de transformación para su utilización. Parte del ente que suministro el material natural y construyó la estructura general, esta empresa con representación legal del arquitecto Simón Vélez, llamado *Bamboo Colombia S.A.* Donde desempeñó actividades como el secado, la inmunización, cortes, estructuras, ensambles, y uniones. Contó con interventoría en todos los procesos controlados garantizando la óptima calidad y estabilidad de obra. Su actividad era que cumpliera con todos los estándares en cuanto a normas y procesos. Partiendo que el material viniera de las fincas de la zona cafetera y que contará con los permisos necesarios y certificados de calidad. Estas fincas ubicadas en Pereira como la hacienda San Jorge, Hacienda Berloni, Hacienda Gavilanes fueron los puntos de inicio de los guaduales que formaron parte del proyecto puente de guadua calle 80 Jenny Garzón. *IDU, laboratorio de materiales puente de guadua, (2003)*

El suministro se hizo en varios tramos empezando desde el 2002 con el primer descargue 240 guaduas de 1221 guaduas de 9 metros cada una y diámetros de 9 a 15 cm, la guadua que se suministró en algunos descargues venía verde el cual hubo demoras en el proceso, el secado fue al aire libre apilando la guadua horizontalmente cuidando que no estuviera en contacto con el suelo ya que podría propagar ataque por agentes abióticos a la guadua, es necesario cortarlas y dejarlas promedio de 15 días, después del secado se genera un tratamiento de preservación contra insectos y hongos, en cuanto diseño por protección se genera una inmersión en unos

tanque construidos in situ, la guadua se perforan los canutos (Figura 4) con el objeto de penetrar el inmunizante, estos tanques se hace un llenado con ACPM y otro químico llamado Koateq no referenciado esta inmersión se hace por 5 días que pueda penetrar todas las paredes de cada guadua. (informe final de interventoria, 2003, p. 15).

Figura 4 perforaciones para inyectar el inmunizante



Fuente: elaboración propia

Marco Legal

Los siguientes documentos normativos referenciados son indispensables para la aplicación de este documento investigativo:

Norma Sismo Resistente NSR-10 Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente: - Capítulo G.12 — “Estructuras de Guadua”, establece los requisitos y procedimientos para el cálculo de estructuras en guadua. Para citar algunos aspectos generales sobre las estructuras podemos citar textual:

“deben ser diseñados, contruidos y empalmados para resistir los esfuerzos producidos por las combinaciones de las cargas de servicio y limitaciones de deflexión...”

“El diseño estructural debe reflejar todas las posibles cargas actuantes sobre la estructura durante las etapas de construcción y servicio; además de las condiciones ambientales que puedan genera cambios en las suposiciones de diseño o que pueden afectar la integridad de otros componentes estructurales...”

“Los elementos se consideraran homogéneos y lineales para el cálculo de los esfuerzos producidos por las cargas aplicadas...”

NTC 5407 “Uniones de estructuras de *Guadua A.K*”, Establecer los requisitos mínimos que se deben seguir para la elaboración de uniones en la construcción de sistemas estructurales utilizando *Guadua A.K*. Los requisitos establecidos en esta norma aplican específicamente para construcciones cuyo elemento estructural primario es la *Guadua A. K*.

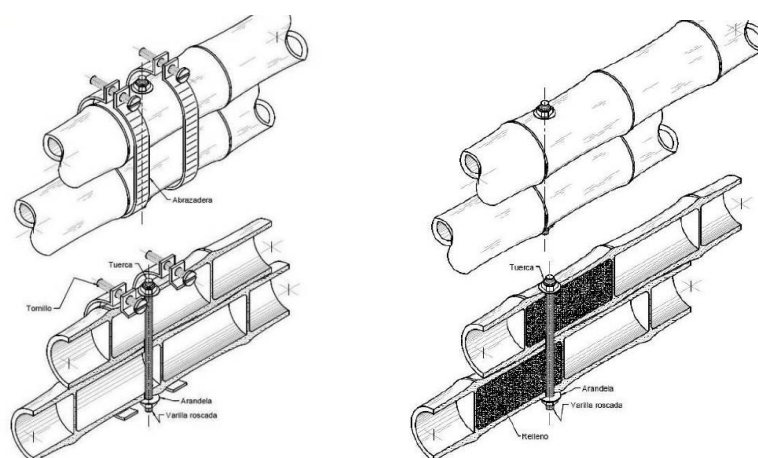
La misma norma establece los tipos de corte y distancias hasta el tabique. Los cuales son utilizados en el Puente de Guadua Bogotá. Estos tres cortes son, recto, boca, flauta y el esquema dado por la norma (figura 3). Para las uniones en general se pueden citar dos tipos de unión. Las uniones con abrazadera o Zunchos y las uniones pernadas (Figura 4).

[Figura 5 tipos de corte](#)



Fuente: NSR 10 Norma Sismo resistente capítulo G12

[Figura 6 tipos de uniones](#)



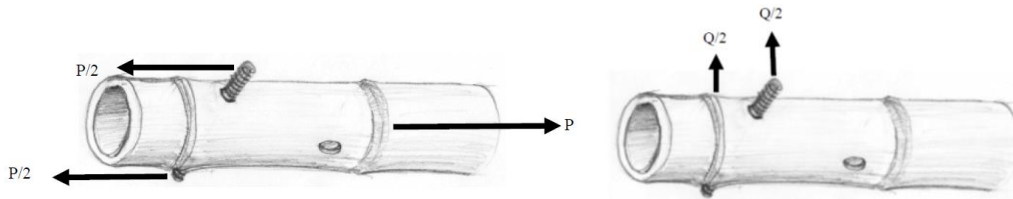
Uniones zunchadas

Uniones pernadas

Fuente: NSR 10 Norma Sismoresistente, capítulo G12

Para el cálculo de las uniones se determinan esfuerzos admisibles basados en experimentación y normalizados. Los dos esfuerzos básicos son tracción paralela y perpendicular a la fibra y dirección de la fibra (figura 5).

Figura 7 esfuerzos



Fuente: NSR 10 Norma Sismoresistente, capítulo G12

“Sobre el diseño la normativa es explícita en el tema de durabilidad en relación a los factores que la afecta “Cargas sobre ellas, Condiciones ambientales, cómo variaciones de humedad y cambios térmicos, a que estarán expuestas en su estado de servicio. Deformaciones y desplazamientos que afecten a la apariencia o al uso de la estructura, o causen perjuicio a las terminaciones o a los elementos no estructurales. Daños, incluyendo fisuración, que afecten negativamente a la apariencia, la durabilidad o funcionalidad de la estructura.”

Esfuerzos admisibles de la guadua.

La norma NSR-10 hace parte esencial de la investigación ya que nos delimita los esfuerzos requeridos de las guadas es referente para tener en cuenta los esfuerzos admisibles que debe resistir las *Guaduas Angustifolia Kunth*, cuando su uso es estructural

Tabla 1 esfuerzos admisibles de la guadua,

Tabla G.12.7-1
Esfuerzos admisibles F_i (MPa), CH=12%

F_b Flexión	F_t Tracción	F_c Compresión	F_{p^*} Compresión \perp	F_v Corte
15	18	14	1.4	1.2

|| = compresión paralela al eje longitudinal.

\perp = compresión perpendicular al eje longitudinal.

*La resistencia a la compresión perpendicular está calculada para entrenudos rellenos con mortero de cemento.

Fuente: titulo-g-nsr-100.pdf

Propiedades Mecánicas

La *guadua angustifolia kunt*, entre todos los bambúes americano sobresale esta especie siendo una de las 20 mejores del mundo por sus propiedades físico-mecánicas, su gran tamaño y por su comprobada utilización en la industria de la construcción, están determinadas por un numero de variables entre las que se encuentran: la edad, el suelo, la ubicación geográfica, la humedad relativa, la temperatura y el nivel de precipitación, entre otras lo que produce una altísima variabilidad. Sus propiedades mecánicas varían según su sentido y plano considerado Presenta cambio de sus dimensiones debido a la expansión térmica y cambio de volumen a causa de la humedad (González L. O., 2006). Las fibras de la guadua están densamente distribuidas en la región superficial externa y escasamente distribuidas en la región superficial interna. Las propiedades mecánicas del bambú, y por lo tanto de la guadua, están íntimamente relacionadas con su estructura y la densidad de las fibras que la conforman (Amada & Untao, 2001).

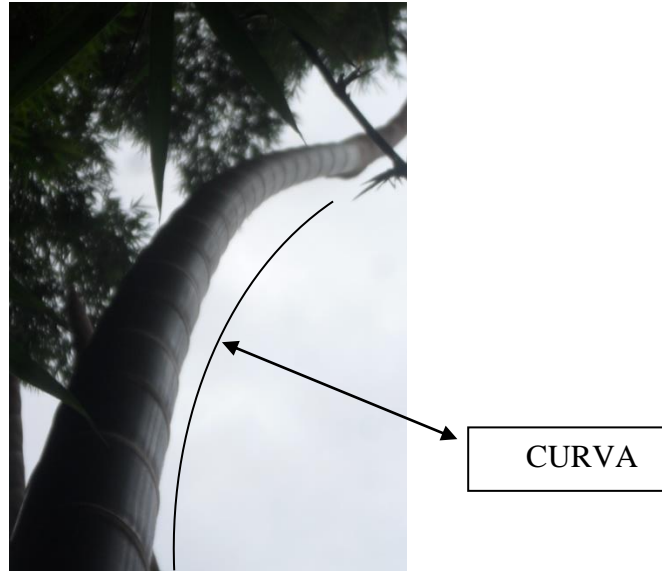
La resistencia media a la tracción sin nudo se ha encontrado por encima de los 150 MPa, mientras que con nudo se ha encontrado una resistencia a la tracción de cerca de 90 MPa. La pared externa posee mejores características mecánicas dado que tiene incrustaciones de sílice, lignina y cutina que la hacen más dura y cuenta con una mayor cantidad de fibras en la parte externa de la guadua que en la parte interna (Takeuchi, 2004). Como consecuencia de su sección transversal circular anillada en estado natural, y por tanto su alta inercia con respecto a su área, al someterse a flexión no presenta con facilidad pandeo flexotorsional y exhibe una alta resistencia a la torsión. La debilidad mecánica del material se observa en su resistencia en el sentido perpendicular, lo que limita a su vez la resistencia a la compresión en columnas cortas. Por esta misma razón la resistencia al corte paralelo a las fibras es baja (Takeuchi, 2004).

Stamm, J. (2001) Quien construyó puentes en bambú, se refiere a la complejidad de la normalización basado en su experiencia práctica” Bambúes rectos casi no se encuentran y es una pérdida de tiempo pedir un camión con guadua recta y diámetros uniformes. Pero si se puede pedir una gama de especificaciones con rangos de curvatura, sobre madurez, rangos de diámetros y varias longitudes. La calidad de la selección depende del proveedor. En Colombia e Indonesia ya se puede escoger entre una media docena de empresas con buena capacidad y calidad de producción instalada”.

En Colombia se han construido puentes en bambú no vehiculares con luces libres entre apoyos de hasta 45 metros. En los últimos diez años se destacan tres diseñadores con más de doce obras construidas. Se resaltan en el cuadro seis casos desde 2001 hasta 2009 donde la característica principal es la utilización de elementos curvos, básicamente dos arcos o dos retículas planas unidos por elementos rectos.

Las especies de bambú grandes, no se pueden deformar con calor a diferencia de las especies pequeñas. A partir de flexionar o pandear por compresión el bambú guadua se logra una curva rebajada, y la carga que se debe aplicar es alta, causando tensiones previas. Así que la curvatura de los elementos es natural, (figura 6) se da durante el crecimiento y es causada por plantaciones sobre pobladas donde se compite por la luz solar, como se muestra en la imagen según *Barreto, W. (2011)*.

[Figura 8 curvatura natural del bambú.](#)



Fuente: Tesina sistemas estructurales W. Barreto

Análisis Sistemas estructurales

Se han desarrollado varios sistemas estructurales para puentes en materiales como concreto, acero piedra y madera entre otros. Tomando como base la clasificación de dos referencias específicas Ritter (1990) y O'Connor (2000) para madera podemos hablar entonces de 6 tipos de sistemas estructurales vigas, reticulados, arcos, colgantes, placas y atirantados. Esta clasificación está dada por la disposición y modo de trabajo de los elementos de la estructura principal. Los esquemas siguientes ilustran las tipologías, (Tabla 4)

Tabla 2 Clasificación estructuras según Ritter

TIPOLOGIA ESTRUCTURAS DE PUENTES	
VIGAS	
RETICULADOS	
ARCOS	
ATIRANTADOS COLGANTES	
POSTE Y REY REINA	

Fuente: elaboración propia

La clasificación anterior es para la estructura principal en puentes, que transmite las cargas del tráfico a la estructura de soporte. La estructura de arcos es la más usada para puentes de guadua.

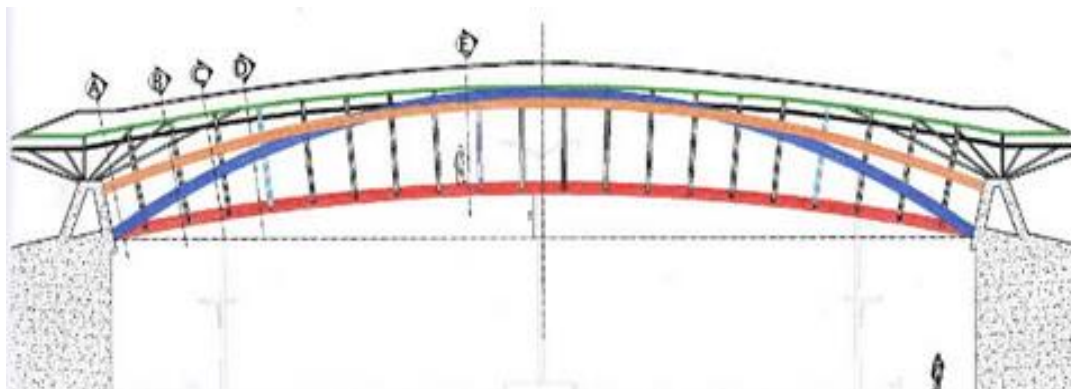
Tomando como base la clasificación de dos referencias específicas Ritter (1990) y O'Connor (2000) en los puentes se identifican a dos sistemas que se pueden combinar entre las diferentes tipologías, como lo son (Superstructure y substructure son los términos usados por Ritter) la estructura principal y la de soporte. En el caso de un sistema reticulado se pueden presentar tres casos, según donde se ubique la estructura principal, inferior medio o superior. El puente de guadua Jenny Garzón tiene tres sistemas estructurales (figura 7 y 8), se basa en tres arcos paralelos a cada costado, que están unidos entre sí por medio de unos postes o péndolas, el arco produce fuerzas de empuje horizontales aunque solo hay carga vertical, generando uno empujes horizontales en los estribos, según los cálculos, fue en esta parte que causo daños en el puente generando pandeos laterales es decir flexo-compresión por esfuerzos innecesarios.

[Figura 9 Estructura principal y estructura de soporte](#)



Fuente: elaboración propia.

[Figura 10 Planimetría del puente](#)

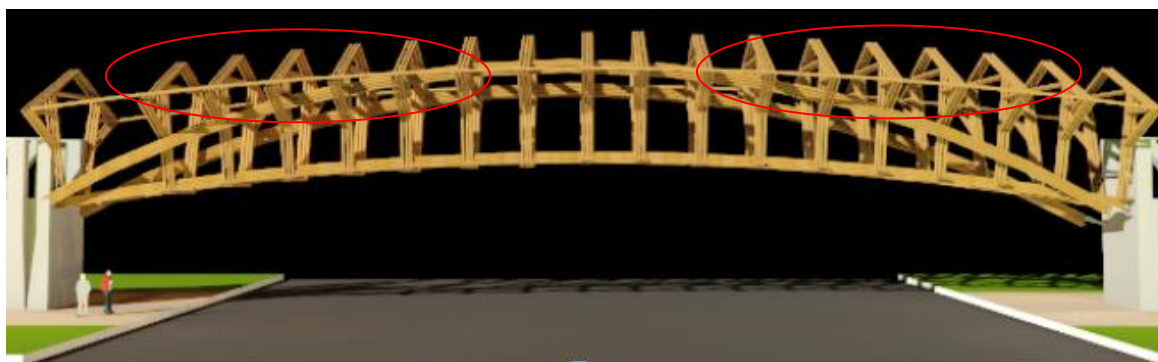


Fuente: conferencia Fernán Díaz

Adicional a esto encontramos una subestructura conformada por estribos de soporte y tirantes que permite la unión entre de arco superior y la cubierta (figura 9).

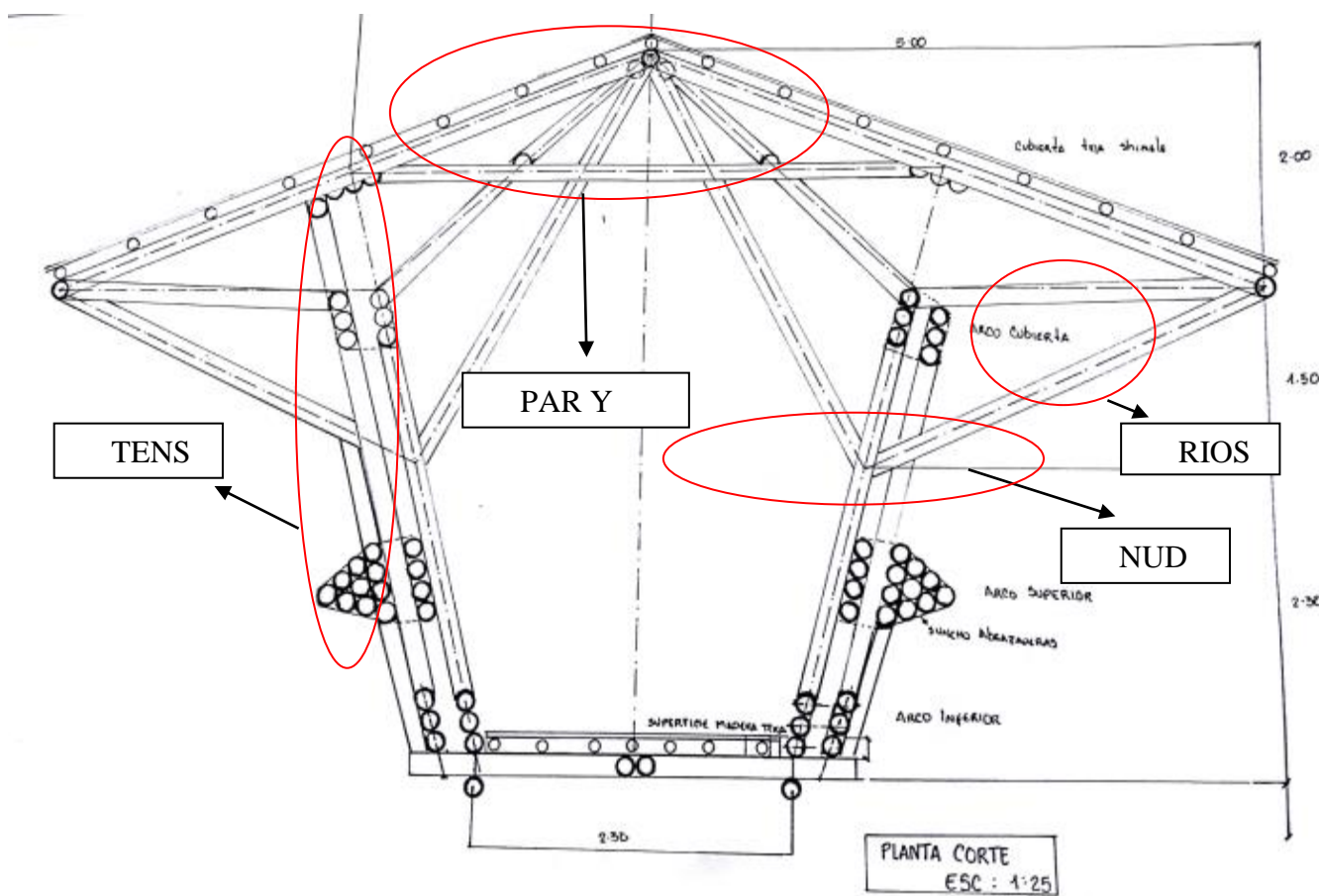
El sistema de cubierta es un par de vigas inclinadas generando empujes laterales, los tirantes horizontales restringen los empujes, encontramos riostras, nudos rígidos, tensores. El sistema se asemeja al par y nudillo usado en la obra de Simón Vélez y heredado de la arquitectura de la zona cafetera (figura 10).

[Figura 11 estructura de cubierta arcos y tirantes.](#)



Fuente: elaboración propia.

Figura 12 planimetrías corte transversal



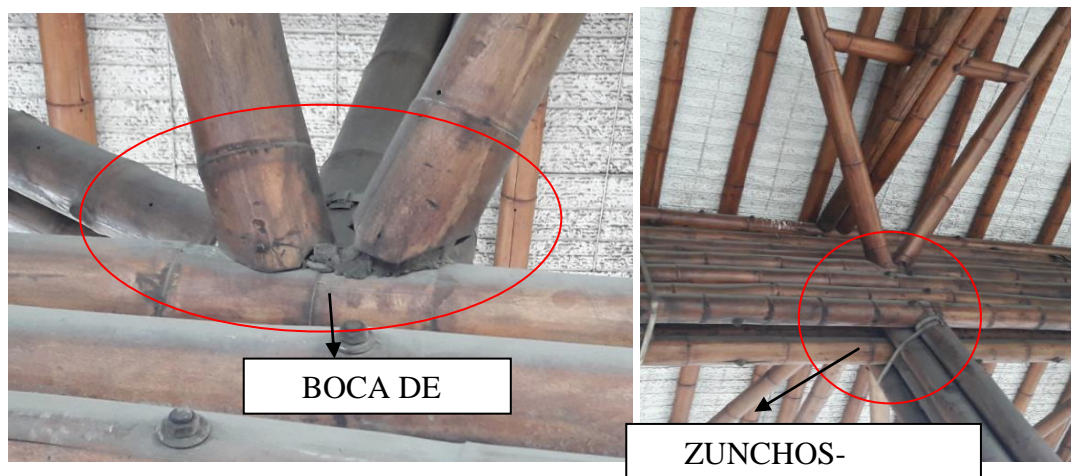
Fuente: elaboración propia.

Por otro punto las uniones ya sean articuladas o nudos rígidos de la estructura formando monolíticamente una estructura estable, estas uniones se subdividen dependiendo de la influencia del nudo.

Las uniones de las vigas en la cubierta tienen los cortes establecidos según la norma NRS 10, corte boca de pescado, genera más puntos de contacto entre los dos tubulares y comparado con un corte recto el corte para la unión se hace cerca del tabique del canuto que es la pared interna que amarra el conjunto de fibras que componen el elemento.

Adicionalmente se pone un “zuncho” o abrazadera metálicas en la punta para restringir la deformación por pandeo. Los grupos de guaduas se amarran con cintas metálicas. (Figura 11).






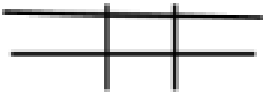


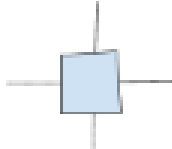
Figura 13 Unión boca de pescado y zunchos o abrazaderas,



Fuente: elaboración propia

Elementos de uniones rígidos y articulados

Tabla 3 uniones del puente

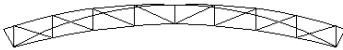



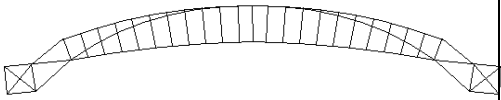

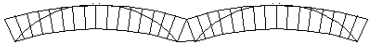

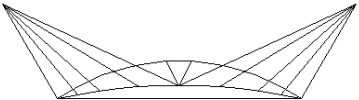

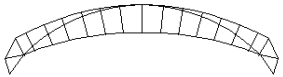

foto	tipo de unión	esfuerzo y/o observaciones
	<p>bala o copa de bronce</p>  <p>columna de soporte</p>	<p>este tipo de unión está ubicada en los dos puntos extremos torres de concreto, descansa la cubierta en la columnas de concreto, su esfuerzo comprende a la compresión y es tipo ramificado</p>
	<p>arandelas de bronce</p>  <p>columna y viga de soporte</p>	<p>este tipo de unión está ubicada en los extremos torres de concreto, son elementos anclados a la estructura de concreto y embebidos a sección de la guadua se instala abrazaderas metálicas para evitar deformaciones</p>
	<p>abrazadera metálica</p>  <p>estructura en guadua</p>	<p>este tipo de unión está ubicado en la mayor parte de la estructura ya que este elemento amarra y contrae los elementos estructurales,</p> 
	<p>guadua a guadua perpendicular</p> 	<p>este tipo de unión está ubicado en cuatro paraleles importantes casi a los extremos donde el esfuerzo de flexo compresión influye drásticamente</p>

Fuente: elaboración propia

Cronología de 6 ejemplos relevantes.

En la siguiente tabla se resumen el nombre, fecha, longitud libre esquema de funcionamiento y fotografía de seis ejemplos. (w. Barreto, tesina sistemas estructurales de puentes en bambú en Colombia, 2011, p. 15)

Tabla 4 Cronología de los puentes en bambú Guadua.

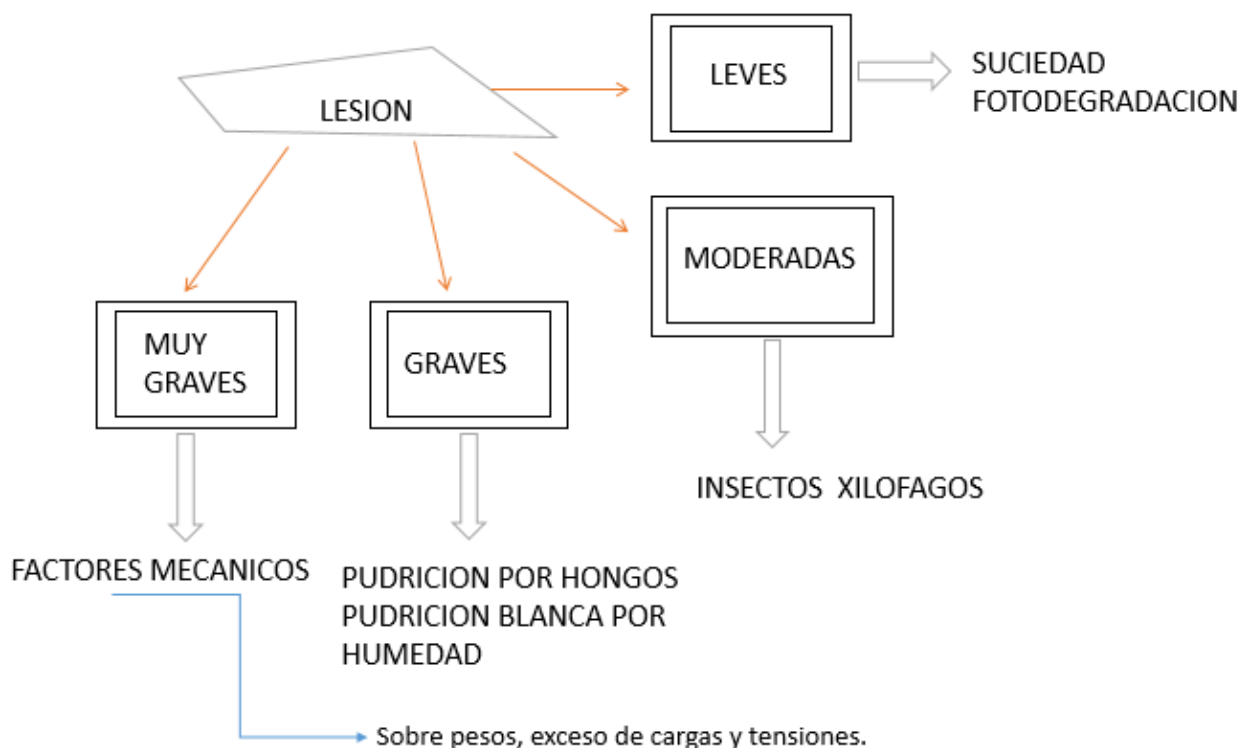
Nombre	año	Luz	Esquema	Imagen
Pereira	2001	40		
Pasto	2002	20		
Bogotá	2003	45		
Manabí	2004	20		
Cúcuta	2007	30		
Guangdong	2009	25		

Fuente: Dibujos W. Barreto. (2011) Imágenes Ecobamboo (2003) . Eduardo Salas. Fundeguadua.

Análisis de la información.

Se recogió la información más relevante sobre el comportamiento de la guadua como material para la construcción, se encontró información técnica sobre este material especialmente acerca de sus propiedades mecánicas, así mismo información técnica del puente de guadua Jenny Garzón. Partimos del punto de entender cuales son niveles de una lesión en una edificación de guadua (Tabla 7), ubicando el estudio de caso en el último nivel siendo muy grave por factores mecánicos y lesiones prematuras a causa de sobre esfuerzos.

Tabla 5 niveles de las lesiones,



Fuente: elaboración propia

Análisis y discusión de resultados

El puente se construyó inicialmente sin riostras entre el arco superior y el arco de cubierta, con toda la carga de la teja y del piso de concreto sobre el tablero, se realizó una modelación matemática tomando como base este primer prototipo construido y comparándolo con un modelo de puente con riostras entre el arco superior y el arco de cubierta, sin teja de barro y sin el piso de concreto, adicional a esto para verificar el comportamiento real de las conexiones, se analizó la estructura con dos modelos definidos; nudos rígidos es decir que las conexiones entre múltiples guaduas funcionan como uniones de elementos continuos que transmiten momento y torsión en sus extremos a los elementos con los que se conectan, y con nudos flexibles, es decir con elementos articulados en sus extremos.

Para el cálculo de capacidades a esfuerzos se utilizó el método de las tensiones admisibles.

Cargas: Los diferentes modelos de estudio se sometieron a cargas por: *El peso propio* de la estructura se calculó automáticamente a través de algoritmos, el peso calculado para la estructura del puente peatonal de guadua fue de 10,2767 toneladas, no se tuvo en cuenta el peso que aporta el relleno de los cañutos, ni el peso de los tornillos, tuercas y arandelas. *Carga permanente* del puente está constituida por el peso de los elementos no estructurales de la cubierta y los que constituyen la superficie de tránsito del tablero. Y por último se utilizó la carga especificada por el IDU para puentes peatonales, siendo de 458,87 kilos.

Al analizar los resultados de los diferentes modelos se notó que:

- la estructura es sensible al grado de rigidez de los nudos.
- Algunos elementos deben moldearse continuos, sin articulaciones como los arcos principales, que están formados por paquetes de numerosas guaduas (figura 11), zunchados y atornillados en las intersecciones con otros elementos.

[Figura 14 elementos continuos en arcos principales](#)



Fuente: elaboración propia

- Además las guadas no se empatan en las mismas secciones, estos elementos articulados son aquellos que están constituidos por una a dos guadas, en los extremos en los que se cruzan con elementos similares (figura 12), así todos los elementos de cubierta, elementos transversales del tablero, y algunos elementos de cubierta, elementos transversales del tablero, y algunos elementos montantes pueden moldearse como articulados en sus extremos.
- Por lo tanto se realizó el puente donde los arcos y los montantes se consideraron unidos a través de nudos rígidos, pero todos los demás elementos se construyeron como articulados.

[Figura 15 elementos articulados](#)



Fuente: elaboración propia

Lesión prematura en el puente

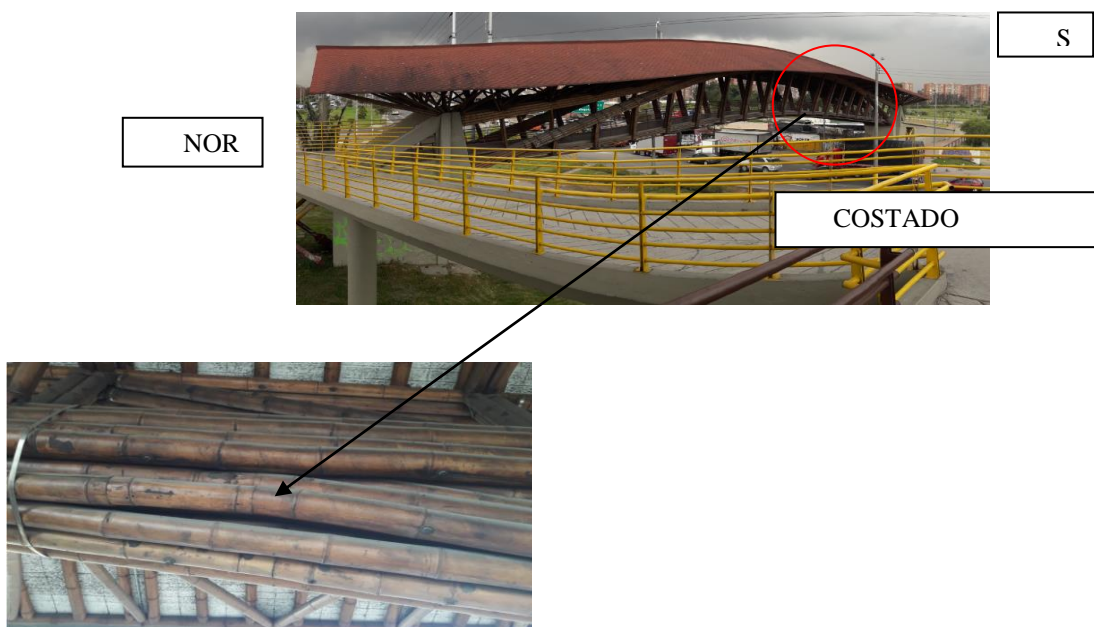
Una vez terminada la construcción del puente y liberados de los apoyos temporales, (figura 13) el puente experimento daños por compresión en las guaduas del arco inferior del costado occidental, alrededor de la intersección con el montante, es decir a unos 8.5 metros del apoyo sur (figura 14). Cuando se presentó esta falla se utilizó el modelo matemático anterior que definió la construcción de las uniones de las guaduas, para estudiar la distribución de las tensiones existentes en el puente en el momento de la falla local. En ese momento el puente estaba cargado con su propio peso, que incluída la teja de barro en la cubierta y una losa de concreto como superficie de tránsito del tablero, es decir la rodadura.

Figura 16 puente sostenido por apoyos temporales y con teja de barro,



Fuente: Bambo the gift of the gods, O.Hidalgo

Figura 17 falla estructural por flexo-compresión



Fuente: elaboración propia

Según el modelo matemático utilizado en su momento mostro que aproximadamente en los 3 metros de cada extremo de arco inferior, las tensiones suben dramáticamente. Sin embargo esos tramos se encontraban rellenos de hormigón, y así mismo se comprobó que en los nudos y en los cuñetes de cada guadua resiste entre el 70% y 80% de lo que se exige, el exceso se tuvo que redistribuir a lo largo de la longitud de las guaduas entre los 3 metros y los 15 metros del apoyo. En este tramo las tensiones en las guaduas, aunque menores que los primeros tres metros, se mantiene por encima de la tensión admisible de las guaduas, empezando a trabajar inelásticamente. De hecho entre los 4 metros y los 8 metros del apoyo sur, las tensiones calculadas excedieron la tensión mínima del 8% por debajo de las pruebas realizadas a las guaduas. (Salazar, F. 2003, p. 20)

Según lo anterior se tomaron tres posibles incidencias que pudieron estar afectando al puente con los sobre esfuerzos que se generaron, los cual fueron: el movimiento de apoyos, cargas de servicio que llevan a las cargas gravitacionales y sistema de piso.

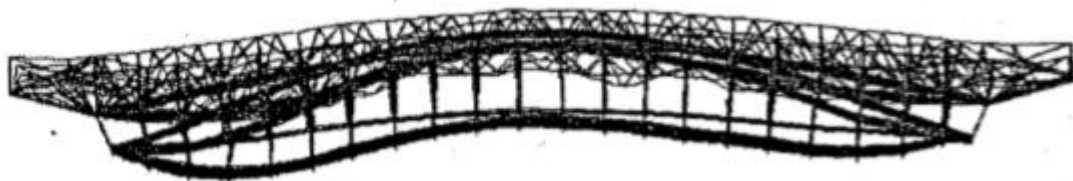
Movimiento de apoyos

Con base a la información contenida en el estudio de suelos se calcularon los desplazamientos esperados en la cimentación, teóricamente cada uno de los estribos puede desplazarse 1cm durante la construcción pero se midió un desplazamiento de 2 cm en el estribo sur. Con base a esto se analizó la estructura del puente centrándose solo en el apoyo sur y no genero tensiones significativas, en relación con la tensión admisible delas guaduas.

Cargas de servicio

Se analizó la estructura bajo las cargas de servicio, las deformaciones son evidentes al someterse la estructura a la carga viva y se le añadió la carga correspondiente al sistema de acabado de cubierta y al sistema de piso originales del diseño. En la figura 15 se muestra el estado deformado del puente bajo carga gravitacional.

Figura 18 deformaciones en el puente.



Fuente: informe final patología y comportamiento del puente peatonal de guadua

Sistemas de piso

El arquitecto del proyecto propuso cambiar el tablero del puente que originalmente se construyó con hormigón reforzado, pero que fue demolido para reducir la carga muerta, después de que varios elementos presentaron fallas localizadas (figura 16).

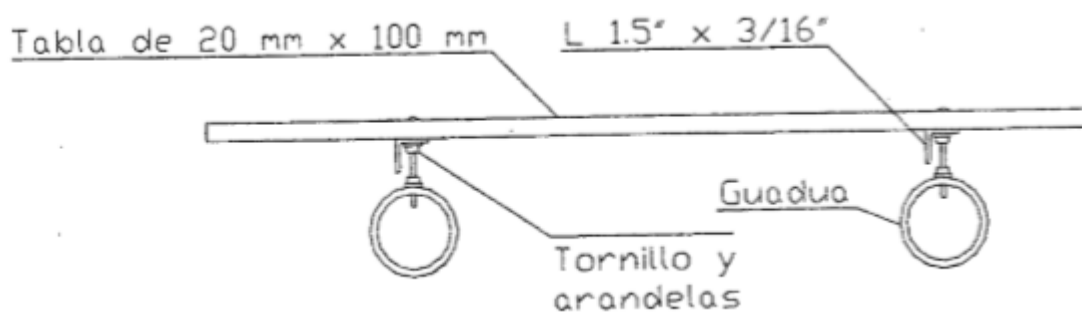
Figura 19 demolicion piso del Puente



Fuente: Villegas, M. 2003

Esta propuesta consistió en un tableo de tablas de madera apoyadas en tornillos que a su vez se apoyan en las guaduas a través de una arandela de 3cm de diámetro (tabla 8).

Figura 20 propuesta para reponer el piso original del puente.



Fuente: informe final patología y comportamiento del puente peatonal de guadua

Conclusiones

De acuerdo a los análisis presentados anteriormente y los referentes teóricos pueden establecerse las siguientes observaciones:

- a. El tablero se liberó de sus apoyos temporales antes de que los arcos estuvieran ensamblados con todas sus guaduas, lo que probablemente resulto en una sobre carga inicial de algunos de sus elementos.
- b. Los daños se debieron al exceso de carga con la teja de barro y el recubrimiento del tablero ya que pesaban cerca de 70 toneladas que sumados al peso propio del resto de la estructura generaron tensiones muy por encima de la tensión admisible en longitudes del arco inferior hasta de 10 metros, desde el apoyo.
- c. Estas sobre cargas generaron esfuerzos mecánicos del material que no estaban contemplados llamados Flexo-compresión, que ocasionan pandeos laterales en las guaduas.
- d. Fue acertado desmontar la teja de barro y demoler el tablero de hormigón reforzado.
- e. La estructura tiene diferentes características de rigidez en sus nudos y se clasifican en articuladas y rígidas.
- f. Los daños en el arco inferior occidental fueron causados por excesos de carga permanente.
- g. La estructura del puente peatonal esta conformada en su mayor parte por elementos de guadua que es un elemento natural susceptible a ataque por la acción del medio ambiente.

- h. El material natural del puente fue tratado en obra con soluciones químicas que reducen su vulnerabilidad ante el ataque de xilófagos, sin embargo este tratamiento no lo protege a la exposición a la radiación solar y a los cambios de humedad.
- i. el RE diseñar cambiando las cargas muertas redujo la tensión estructural de los arcos
- j. El RE fuerza monolítico asegura la resistencia de los arcos ante la flexo-compresión.
- k. los arcos no siempre son la tipología más adecuada comparando los diferentes sistemas de puentes.
- l. El puente actualmente no presenta patologías estructurales, la intervención correctiva en su ejecución permitió la durabilidad del puente hasta el momento creando confiabilidad en el diseño arquitectónico.

Referencias

- RITTER, Michael A. 1990. Timber Bridges: Design, Construction, Inspection, and Maintenance. 944 p.
- O'CONNOR, Colin . 2000 . Bridge Loads, Taylor and Francis group
- Ritter, Michael A. 1990. Timber Bridges: Design, Construction, Inspection, and Maintenance. 944 p. O'Connor, Colin. 2000. Bridge Loads, Taylor and Francis group
- Carmiol Umaña, Virginia. Bambú Guadua, en puentes peatonales Tecnología en Marcha, Vol. 23, N.º 1, Enero-Marzo 2010, P. 29-38
- Stamm, J. Guía para la construcción de puentes en Guadua. Proyecto UTP-GTZ. Pereira, Colombia, 2001.
- Restrepo, E. A., Mutis, S., Manzur Macias, D., & Velez, S. (1989). Bambusa Guadua. Bogota D.C.: Villegas Editores.
- Villegas, M. (2003). Guadua Arquitectura y Diseño. Bogotá D. C., Colombia: Villegas Asociados S.A.
- Yin, R. K. (1989). Case Study Research (rev. ed).
- Salazar F. (2003). Informe final patologia y comportamiento del puente peatonal, IDU
- Tenorio Tacuri, F. A. (2015). Elaboración de una metodología para la construcción de un puente peatonal en caña Guadúa como resultado del análisis de una aplicación práctica(Bachelor's thesis, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Carrera de Ingeniería Civil.).

ANEXOS

Registro fotográfico



Foto 1, foto 2. *comparación puente de guadua y puente metálico planos*

Fuente propia



Foto 3. *comparación puente de guadua y puente metálico entradas*

Fuente propia



[Foto 4, foto 5](#) *comparación puente de guadua y puente metálico estructura de cubiertas*

Fuente propia



[Foto 6, foto 7](#), *Estado actual de las estructuras superior y tipo de uniones presente sunchos y abrazaderas*



[Foto 8, foto 9](#), *Estado actual de las estructuras, uniones platinas en puntos críticos de los cuatro costados sección 4*



[Foto 10, foto 11](#), *Estado actual de las estructuras, uniones estructuras de soporte con estructura de tirantes*



[Foto 12, foto 13](#), *Estado actual de las estructuras, uniones tipo boca de pescado*



[Foto 14, foto 15](#), *Estado actual de las estructuras, uniones articulares estructura de guadua a estructura de concreto*