

**PROYECTO DE APLICACIÓN EN TEMAS DE INGENIERIA CIVIL
DISEÑO DE PUENTE PEATONAL EN MATERIAL VEGETAL, CARRERA 22
SECTOR AGUAS CLARAS PARA LA UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
VILLAVICENCIO**



Por:
Daniel Felipe Herrera Ramos
Jorge Yesid Torres Espitia



**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO
2019**

**PROYECTO DE APLICACIÓN EN TEMAS DE INGENIERIA CIVIL
DISEÑO DE PUENTE PEATONAL EN MATERIAL VEGETAL, CARRERA 22
SECTOR AGUAS CLARAS PARA LA UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
VILLAVICENCIO**



Por:
Daniel Felipe Herrera Ramos
Jorge Yesid Torres Espitia

Documento final presentado como opción de grado para optar el título de
Ingeniero(a) Civil

Aprobado por:
Ing. Bregy Hassler Choque Jiménez
Director

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO
2019

AUTORIDADES ACADÉMICAS

Fray José Gabriel Mesa Angulo, O. P.
Rector General

Fray Eduardo González Gil, O. P.
Vicerrector Académico General

Fray José Arturo Restrepo Restrepo, O.P.
Rector Sede Villavicencio

Fray Rodrigo García Jara, O.P.
Vicerrector Académico Sede Villavicencio

Mg. Julieth Andrea Sierra Tobón
Secretaria de División Sede Villavicencio

Ing. Jhon Jairo Gil Peláez, Ph.D.
Decano Facultad de Ingeniería Civil

Nota de aceptación

Ing. PhD. Jhon Jairo Gil Peláez
Decano Facultad Ingeniería Civil

Ing. Bregy Hassler Choque Jiménez
Director Trabajo de Grado

Ing. Emiro Andres Lozano Perez
Jurado

Villavicencio, Meta. 16 de Julio de 2019

DEDICATORIA

Este proyecto se realizó principalmente con la voluntad de Dios, y dedicado a nuestros padres y familiares, que nos han apoyado y motivado en todo momento circunstancial de nuestra carrera por ser Ingenieros civiles, también queremos dedicar este proyecto a Jennifer Huertas Hernández que desde el cielo sonrío y descansa.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestros compañeros y docentes de la facultad de ingeniería civil de la universidad santo tomas de Aquino, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de nuestra profesión, en especial, a los ingenieros Breggy Hassler Choque, Iván Darío Acosta, Brayan Pantoja y a la arquitecta Eliana Elena Ballesteros sin los cuales no sería posible la culminación de este proyecto, los cuales nos guiaron durante el proceso de este trabajo

RESUMEN

La universidad Santo Tomas sede Villavicencio, siempre ha presentado un problema de inseguridad peatonal a sus alrededores, su entrada principal se encuentra sobre la carrera 22 que conecta con la avenida Puerto López la cual proporciona un alto número de vehículos y estos transitan a una alta velocidad, por eso la necesidad de un paso elevado para que los transeúntes crucen el sector se ha intensificado, el propósito general de este proyecto es diseñar un puente peatonal que pueda cumplir y satisfacer todas estas necesidades mencionadas, pero el verdadero foco del proyecto se encuentra en el material, la guadua angustifolia kunth reflejada como componente estructural, este es un material muy beneficiosos que se puede comportar muy bien en el rango elástico, soportando las diferentes solicitudes de esfuerzos como flexión, compresión, corte y tracción.

Se analiza la guadua angustifolia desde los diferentes aspectos como su distribución territorial y se hicieron ensayos para determinar la resistencia de la especie de guadua proveniente del municipio de la macarena del departamento del Meta, y de acuerdo a los esfuerzos admisibles correspondidos por la Norma NSR-10 se realizó una respectiva comparación con cada zona analizada desde este punto de resistencia.

Palabras Clave: Guadua angustifolia. Puente peatonal, diseño estructural,

ABSTRACT

The university Saint Thomas sedates Villavicencio, always he has presented a problem of pedestrian insecurity to his surroundings, his principal entry is on the career 22 that Lopez connects with the avenue Port which provides a high number of vehicles and these travel to a high speed, because of it the need of a high step in order that the transients cross the sector has been intensified, the general intention of this project is to design a footbridge that could expire and to satisfy all these mentioned needs, but the real area of the project is in the material, the guadua angustifolia kunth reflected as structural component, this is a material very beneficial that can behave very well in the elastic range, supporting the different requests of efforts as flexion, compression, court and traction.

Key Word- Guadua angustifolia. Pedestrian bridge, structural design

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	14
2.	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	15
3.	JUSTIFICACIÓN	17
4.	OBJETIVOS	18
4.1.	OBJETIVO GENERAL.....	18
4.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
5.	ALCANCE	19
6.	MARCO DE REFERENCIA	20
6.1.	MARCO TEÓRICO	20
6.1.1	Material Vegetal, Guadua Estructural.....	20
6.1.2	. Puentes.....	25
6.1.3	Relación de la guía de especificaciones para el diseño de puentes peatonales Aashto Lrfd Pedestrian Bridge Desing Specifications, con la norma colombiana nsr-10 título G	29
6.2.	MARCO CONCEPTUAL.....	33
6.3.	ESTADO DEL ARTE	36
6.4.	MARCO NORMATIVO.....	37
7.	EQUIPO DE INVESTIGACIÓN Y TRAYECTORIA	39
8.	METODOLOGÍA.....	40
9.	CRITERIOS DE DISEÑO.....	41
9.1.	ESTUDIO DE MOVILIDAD PEATONAL	41
9.2.	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA GUADUA ANGUSTIFOLIA	41
9.3.	EVALUACIÓN DE CARGAS.....	41
9.4.	MODELAMIENTO DEL PUENTE PEATONAL.....	41
10.	DESCRIPCIÓN DE ETAPAS Y TAREAS	42
10.1.	AFORO PEATONAL.....	42
10.2.	ENCUESTA DE CARACTERIZACIÓN:	42
10.3.	ADQUISICIÓN DE LA MUESTRA	42
10.4.	PRUEBAS DE LABORATORIO	42
10.5.	CÁLCULOS ESPECTRALES	42
11.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	43
11.1.	ESTUDIO MOVILIDAD	43
11.1.1	AFORO PEATONAL	43
11.1.2	CARACTERIZACION DE AUTOMOTORES	54
11.1.3	ENCUESTA DE CARACTERIZACIÓN.....	55
11.2.	MODELAMIENTO DE LA ESTRUCTURA	63
11.2.1	ANALISIS DE CARGAS.....	64
11.2.2	COMBINACIONES DE CARGA	66
11.2.3	DIMENSIONAMIENTO ESTRUCTURA	67
11.3.	ANALISIS DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE LA GUADUA ANGUSTIFOLIA.....	69
11.3.1	PRELIMINARES.....	69
11.3.2	RECEPCION Y ALMACENAMIENTO.	69

11.3.3 IDENTIFICACION Y CORTE DE LAS PROBETAS.....	70
11.3.5 DETERMINACION DE LOS ESFUERZOS ADMISIBLES.....	73
11.4. ESFUERZOS ADMISIBLES Y COEFICIENTES DE MODIFICACION	93
11.4.1 ESFUERZOS ADMISIBLES.....	93
11.4.2 MODULO DE ELASTICIDAD	94
11.5. COEFICIENTES DE MODIFICACION	94
11.5.1 FACTOR DE REDUCCION.....	94
11.5.2 COEFICIENTE DE MODIFICACIÓN POR DURACIÓN DE CARGA	95
11.5.3 COEFICIENTE DE MODIFICACIÓN POR CONTENIDO DE HUMEDAD	95
11.5.4 COEFICIENTES DE MODIFICACION POR TEMPERATURA	96
12. DESCRIPCIÓN DE LOS PRODUCTOS FINALES	97
13. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	98
13.1. CONCLUSIONES	98
13.2. TRABAJOS FUTUROS	99
14. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	100
ANEXOS.....	101

LISTA DE TABLAS

Tabla 6.1. Muestra De Laboratorio Para Módulo De Elasticidad.....	22
Tabla 6.2. Muestra De Laboratorio Para Determinación De Las Resistencias.....	22
Tabla 6.3. Valores Característicos Resistencia De Culmo De Guadua Angustifolia.....	23
Tabla 6.4 Modulo De Elasticidad.....	23
Tabla 6.5 Carga W Para El Cálculo De Sección Y Deflexiones.....	29
Tabla 6.6 Marco Normativo.....	36
Tabla 11.1- Aforo 1-2 Febrero 2018.....	42
Tabla 11.2- Aforo 2- 7 Agosto 2018.....	44
Tabla 11.3- Aforo 3- 3 Septiembre 2018.....	47
Tabla 11.4 Aforos Totales.....	50
Tabla 11.5 Caracterización De Vehículos.....	53
Tabla 11.6- Encuestados.....	55
Tabla 11.7- Resultados Pregunta 1.....	56
Tabla 11.8- Resultados Pregunta 2.....	57
Tabla 11.9- Resultados Pregunta 3.....	59
Tabla 11.10- Resultados Pregunta 4.....	60
Tabla 11.11- Propiedades De La Guadua.....	62
Tabla 11.12- Carga Muerta Tablero.....	62
Tabla 11.13- Carga Muerta Cubierta.....	63
Tabla 11.14- Coeficientes De Combinaciones De Carga.....	65
Tabla 11.15- Deformaciones.....	67
Tabla 11.16- factores de sollicitación.....	
Tabla 11.17- Esfuerzos admisibles	73
Tabla 11.18- Resultados compresión paralela.....	73
Tabla 11.19- Análisis estadístico compresión paralela.....	75
Tabla 11.20- Revisión del estado del arte de acuerdo con las características físicas y mecánicas de la guadua angustifolia kunth.....	76
Tabla 11.21- Esfuerzo admisible norma nsr-10 título g.....	79
Tabla 11.22- Esfuerzo admisible norma ISO 22156:2004	81
Tabla 11.23- Resultados compresión perpendicular a la fibra.....	83
Tabla 11.24- Análisis estadístico compresión perpendicular.....	85
Tabla 11.25- Esfuerzo admisible NSR-10 TITULO G.....	86
Tabla 11.26- Esfuerzo admisible norma ISO 22156:2004.....	87
Tabla 11.27- Resultados tracción paralela a la fibra.....	89
Tabla 11.28- Resistencia en toneladas versus deformación.....	90
Tabla 11.29- Analisis estadístico tracción paralela.....	90
Tabla 11.30- Esfuerzo admisible según nsr-10.....	90

Tabla 11.31- Esfuerzo admisible según ISO 22156:2004.....	91
Tabla 11.32 - Esfuerzos admisibles (mpa).....	91
Tabla 11.33- Coeficiente De Modificación Por Duración De Carga.....	92
Tabla 11.34- Coeficiente De Modificación Por Contenido De Humedad.....	92
Tabla 11.35- Coeficiente De Modificación Por Temperatura.....	92
Tabla 11.36- Factores de reducción.....	92
Tabla 11.37- Coeficiente de modificación por duración de carga.....	93
Tabla 11.38- Coeficientes De Modificación Por Contenido De Humedad Cm.....	93
Tabla 11.39- Coeficientes De Modificación Por Temperatura (Ct).....	94
Tabla 12-1 Resultados Finales.....	86

LISTA DE FIGURAS

Figura 6.1 Aplastamiento del extremo de la viga.....	30
Figura 6.2- Puente Jenny Garzón.....	31
Figura 8.1- Metodología.....	39
Figura 11.1- Variación tráfico peatonal aforo 1.....	44
Figura 11.2- Variación tráfico peatonal aforo 2.....	47
Figura 11.3- Variación tráfico peatonal aforo 3.....	49
Figura 11.4- Variación tráfico peatonal.....	52
Figura 11.5- Distribución Peatones En El Día.....	52
Figura 11.6- Encuestados	55
Figura 11.7- % Pregunta 1	57
Figura 11.8- % Pregunta 2.....	58
Figura 11.9- % Tiempo Cruce	59
Figura 11.10- Numero Cruces	60
Figura 11.11- % Número De Cruces En Un Día	60
Figura 11.12- Dificultad De Cruce	62
Figura 11.13- Coeficiente Sísmico.....	64
Figura 11.14- Coeficiente Límite Elástico.....	64
Figura 11.15- Diseño Puente	66
Figura 11.16- Diseño Puente Sap	67
Figura 11.17- Almacenamiento Guadua.....	68
Figura 11.18- Composición Guadua.....	69
Figura 11.19- Corte De Las Probetas De Guadua	70
Figura 11.20- Equipo Para Ensayos De Compresion	71
Figura 11.21- Ensayo Traccion	72
Figura 11.22- Ensayo Compresión Paralelo A Las Fibras.....	75
Figura 11.23- Probeta Fallada Ensayo Compresión Paralelo a Las Fibras.....	77
Figura 11.24- Probeta Fallada Ensayo Compresión Paralelo a Las Fibras.....	77
Figura 11.25- Valor Característico Compresión Paralela a Las Fibras.....	79
Figura 11.26- Resultados Esfuerzos Admisibles Compresión Paralela a la Fibr... ..	80

Figura 11.27- Comparación Esfuerzos Admisibles NSR-10 Según Norma ISO 22156:2004	81
Figura 11.28- Ensayo Compresión Perpendicular a Las Fibras.....	82
Figura 11.29- Probeta Fallada Ensayo Compresión Perpendicular a Las Fibras..	84
Figura 11.30- Aplastamiento Debido al Ensayo Por Compresión Perpendicular a Las Fibras	84
Figura 11.31- Valor Característico Compresión Perpendicular a Las Fibras.....	86
Figura 11.32- Resultados Esfuerzos Admisibles Compresión Perpendicular a La Fibra	87
Figura 11.33- Comparación Esfuerzos Admisibles NSR-10 Según Norma ISO 22156:2004	88
Figura 11.34- Probetas Ensayo de Tracción Paralela a La Fibra.....	89
Figura 11.35- Ensayo de Tracción Paralela a la Fibra	89

1. INTRODUCCIÓN

Las estructuras en material vegetal se han ido desarrollando desde hace poco en Colombia, el uso de un recurso renovable y económico produce la satisfacción de quien lo implementa para la solución de un problema, y desde muchos años atrás se han evidenciado situaciones en donde los indígenas usaron el bambú y la guadua angustifolia para construir puentes pequeños, esto según Carmiol, los indígenas peaces son pioneros con la construcción de puentes peatonales en guadua, algunos puentes atirantados con el mismo material y anclados a arboles usados como pilotes, también se ha evidenciado los indígenas también utilizaron la guadua para construcción de chozas, casas y otras estructuras.[1]

La utilización de la guadua como material estructural es de vital importancia para las nuevas investigaciones, las capacidades de resistencia a diferentes solicitudes de esfuerzo como, compresión y tracción que ofrece el material, puede generar estructuras con capacidades sismo resistentes, y por eso se ha elegido este material para construcciones más grandes e innovadoras que contribuyen a generar un mayor patrimonio cultural colombiano aporta Stamm. [2]

El desarrollo que ha tenido ciudad de Villavicencio, se ha reflejado en el incremento del parque automotor dentro de la ciudad, lo cual ha generado una dificultad de la circulación de los peatones, especialmente en la vía Puerto López sobre la carrera 22 sector de la Universidad Santo Tomas. Para solucionar este problema, se pretende realizar un diseño y dimensionamiento de un puente peatonal con una superestructura en guadua angustifolia “acero biológico”, cuya concepción debe estar enmarcada de acuerdo a las necesidades del peatón, proporcionando bienestar a los transeúntes, y el uso de la guadua presenta una mejor alternativa, con un propósito innovador, amigable con el ambiente que despertara la curiosidad de los residentes y foráneos alrededor de la estructura.

2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad las ciudades en Colombia enfocan como una de sus prioridades el desarrollo de la movilidad, dado que se presentan problemas relacionados al aumento de vehículos, por lo que las administraciones municipales o distritales dan prioridad al automóvil. Lo que conlleva a un aumento significativo de accidentes de tránsito que comprometen peatones y ciclistas que se movilizan en las calles.

En relación a la accidentabilidad, seguros SURA en 2013, establecieron que más del 25 % de personas muertas y más del 20 % de personas heridas, fueron peatones en Colombia[3], según la alcaldía de Villavicencio en el portal periodístico; en la ciudad se dio a conocer que en octubre del 2016 la accidentalidad peatonal y ciclista se involucraba en 241 casos[4]; todo esto puede darse por que aún existe la prevalencia del vehículo sobre el peatón, por lo que se pueden encontrar lugares con alto riesgo de accidentabilidad, tal es el caso de la zona de la universidad Santo Tomás, de la sede aguas claras, esta se ve afectada por problemas de tránsito, movilidad y seguridad a las afueras de sus instalaciones; los automóviles que transitan por la vía, conducen a altas velocidades, generando riesgos a la comunidad Tomasina, la falta de señalizaciones generan desacuerdo entre transeúntes y vehículos, según Martin D, en su investigación sobre la señalización vial y su impacto, donde explica que la abundancia, falta, insuficiente o incorrecta colocación de señales de tránsito son factores que contribuyen al quiebre en la coherencia que debe existir entre el automóvil y el peatón con la vía, todas estas causas hacen que se vea reflejado la necesidad de un puente peatonal que garantice la seguridad y movilidad de la comunidad; los puentes peatonales se construyeron para acortar distancias y superar barreras naturales, en las últimas décadas también se ha convertido en una necesidad para la seguridad del transeúnte que está inmerso en un desmedido crecimiento urbano.

Cuando se habla de puentes peatonales en guadua es conveniente estudiar de cerca las últimas obras que se producen en Colombia. Estas innovadoras construcciones no solo permiten cruzar ríos y carreteras sino que muestran la competitividad de este material en la ingeniería ecológica.

El uso estructural de la guadua en Colombia es escaso, y su cultivo optimo se da solo en algunas partes del territorio principalmente en el eje cafetero, y solo este cumple con las propiedades físico-mecánicas para el uso en la construcción, pues gracias a su forma la guadua presenta una esbeltez y un radio de giro muy favorable con respecto a las secciones de madera o acero con peso igual Según Eduardo

Salas, Arquitecto de la universidad de Catalunya, en su tesis de doctorado sobre la actualidad y futuro de la arquitectura de bambú en Colombia.[5]

La idea de un puente construido en material biológico, viene ligado al empleo de materiales de la zona, maquinaria manual de bajo costo, poca mano de obra y sobre todo una obra sin contaminación ambiental. En otras palabras, es una opción económica, ecológica y al mismo tiempo innovadora en el campo ingenieril de la ciudad de Villavicencio, daría una alternativa a la problemática ambiental, ya que la guadua puede acoplarse a las sensaciones naturales y ambientales de la zona en donde se vaya a acoplar.

3. JUSTIFICACIÓN

El hecho de que la comunidad Tomasina presente problemas con la movilidad a la hora de transitar, cruzar o pasar por la vía puerto López, hacen que se corran altos riesgos de inseguridad y de mortandad para los peatones; Es por ello que, el diseño y planteó de un puente peatonal será de gran importancia para las personas que tienen que afrontar esta problemática tengan un beneficio con la seguridad en la transición de los espacios. En la ciudad de Villavicencio con el rápido crecimiento de su población hay ciertas deficiencias en cuanto a salvaguardar la vida de los peatones, ya que según la alcaldía hay aproximadamente más de 500 mil habitantes, en las cuales se encuentran menos de 15 puentes peatonales para el uso de sus habitantes, y estos no están ubicados en puntos de mayor flujo vehicular, por eso mediante este proyecto se pretende dejar en la ciudad un diseño de un puente innovador que pueda hacer gestión para el desarrollo de la movilidad ciudadana, que pueda dar énfasis en conceptos estructurales sobre el uso de materiales biológicos

En cuanto a aspectos técnicos de investigación para el diseño de un puente peatonal, la guadua es un material y componente estructural, que al ser diseñado con los requisitos del reglamento sismo resistente NSR-10 en su título G, y junto con las normas de diseño de puentes peatonales de las AASHTO LRFD GUIDE SPECIFICATIONS FOR THE DESIGN OF PEDESTRIAN BRIDGES.

Mediante este proyecto se pretende dejar en la ciudad el diseño innovador de un puente peatonal que pueda hacer gestión para el desarrollo de la movilidad ciudadana, dando énfasis en conceptos estructurales sobre el uso de materiales biológicos, que de un plus al manejo de la contaminación producida por la emisiones de carbonó, que de alguna manera sea una construcción económica para el beneficio de la comunidad Tomasina en una de las vías más usadas por los villavicenses.

.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Diseño estructural de un puente peatonal en la carrera 22, con superestructura vegetal de guadua angustifolia, cumpliendo con los requisitos de las normas de diseño estructural para puentes peatonales, presentando las garantías que tiene la guadua como material estructural.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Llevar a cabo un estudio de movilidad peatonal, analizando la cantidad de personas que pueden cruzar en un día y en determinados momentos, teniendo en cuenta los tipos de vehículos que transitan por la zona.
- Realizar el modelamiento del puente peatonal, realizando planos, evaluación de cargas, esfuerzos actuantes, desplazamiento de la estructura.
- Analizar las propiedades de la guadua angustifolia como componente estructural, comparando valores de resistencia a diferentes solicitaciones.
- Determinar la correlación que existe entre los coeficientes de modificación para los esfuerzos admisibles de la guadua entre los diferentes códigos de diseño.

5. ALCANCE

Este proyecto será aplicado y analizado sobre el área del municipio de Villavicencio, en la avenida Puerto López, en el sector de la Universidad Santo Tomas de Aquino, haciendo uso de los conocimientos adquiridos en las áreas de estructuras vistas en la universidad, haciendo análisis de las características topográficas, demográficas, características del suelo, estudios del riesgo sísmico, estudios del tráfico vehicular y peatonal y estudio estructural, que se necesitan para la planeación y el diseño de un puente peatonal.

Lo que se pretende con el diseño de un puente peatonal es dejar bases para el posible diagnóstico y planeación de la construcción, realizándolo con materiales vegetales que generen confianza, todo esto estableciendo la relación de la guadua como componente estructural capaz de resistir las cargas permanentes, transitorias, acciones sísmicas y de viento, que se presentan para así poder hacer un análisis lineal elástico de la estructura, estableciendo los esfuerzos actuantes, con el fin de demostrar según la NSR-10 la suficiencia de la guadua la cual cumple con las condiciones para el diseño del puente.

Lo que se busca es poder tener una solución de la problemática que se presenta en la zona, y dejar de un lado los materiales convencionales mediante el uso de nuevas técnicas de diseño, innovadoras para la planeación de futuros proyectos con puentes peatonales.

6. MARCO DE REFERENCIA

6.1. MARCO TEÓRICO

6.1.1 Material Vegetal, Guadua Estructural

El bambú, al ser una planta nativa, y un recurso abundante y renovable en Colombia, ha sido de gran utilidad para la cultura colombiana, según Simón Vélez, el arquitecto que con la ayuda de la guadua estructural, ha podido realizar grandes proyectos, se refiere a la guadua como una especie forestal representada por esbeltos y modulados de tallos que enaltecen el paisaje colombiano, una especie que cumple con todas las características necesarias para un buen ámbito de manejo constructivo.[5]

Según Oscar Hidalgo López, el bambú no ha sido catalogado en su cantidad de especies, contiene diversos factores de floración, los cuales son los criterios más importantes para clasificar, en pocas palabras, resumiendo lo que los científicos han querido caracterizar sobre este vegetal, el bambú no es más que un simple familiar de los pastos, Botánicamente pertenece a la familia de los gramínea y se clasifica biológicamente como bambusae, lo que diferencia a las especies de bambú son los diámetros, espesores, alturas y colores, por ejemplo la guadua angustifolia puede alcanzar alturas hasta de 30 metros y obtener un diámetro mayor a 17 cm.[6]

La guadua en Colombia ha sido un recurso que a través de los años ha sido fundamental para la cultura colombiana, según Vélez en tiempos antiguos, en épocas de colonización la guadua servía como componente fundamental para que los indígenas pudieran levantar sus asentamientos.

La guadua es una especie de bambú utilizada para diferentes servicios, desde usos comestibles, artesanales, industriales, uso en la construcción, los cuales, los procesos para cultivo, corte y curado son totalmente diferentes, según el manual de construcción con bambú de Oscar Hidalgo López[6], las cañas de guadua sezonadas o de más de tres años, son las más convenientes para el uso en la construcción. Para ejecutar el manejo del recurso vegetal en construcciones, siempre es necesario conocer a plenitud los factores en los cuales fue producido el

recurso, el cultivo, el curado y la inmunización necesaria que se debe tener, para protegerlo de los factores bióticos, como las plagas o los hongos.

-Procesos de inmunización del bambú, características y ventajas.

Existen diferentes procesos para el curado y la inmunización del bambú, por el cual se debe pasar para obtener un material conforme, que permita una seguridad en sus componentes.

En el manual de construcción de bambú de Oscar Hidalgo López, se caracteriza lo siguiente; Empezando por el corte, el cual debe hacerse a ras, por encima del primer o segundo nudo localizado después del nivel del suelo, secuencialmente se debe amarrar con inmunizantes que prevengan el pudrimiento o la contaminación de plagas en la mata, después se procede a hacer un curado específico, el cual no es tan eficiente como el tratamiento con preservativos, pero debido al bajo costo es el más utilizado en zonas rurales, donde se corta la mata; Existen varias formas de hacer el curado del material como son:

- Curado en la mata; el cual después del cortado, dejar el tallo recostado con los demás, aislado del suelo con ramas y hojas, es uno de los más recomendados.
- Curado de inmersión en el agua, después de cortado, se sumergen los tallos en un estanque, se dejan allí por unas 4 semanas, después se deja al aire libre que permita un proceso de secado. Es uno de los más usados.
- Curado al fuego; Se colocan horizontalmente, y se someten a unas brazas, los más alejados del fuego para que no sean quemadas, se emplea para enderezar los bambús torcidos.
- Curado al humo; consiste en ahumar las cañas, en una hoguera u horno por un tiempo hasta que el exterior de las cañas quede envuelto en un hollín.
- Inmunización a insectos y plagas; algunas especies de bambú son más propensas a ser infestadas por plagas, por eso es necesario de aplicar aditivos o fungicidas para prevenir esto.[6]

6.1.1.1 Características y Propiedades Físico-Mecánicas

Según Eduardo Salas, Arquitecto de la universidad de Catalunya, en su tesis de doctorado sobre la actualidad y futuro de la arquitectura de bambú en Colombia, la variabilidad de la naturaleza es un producto fortuito, según esto, no existen don cañas de guadua de igual característica, la tasa de producción de la guadua puede variar debido a los factores sometidos, por ejemplo el clima y el suelo son bastantes influyentes en la producción y crecimiento de la mata.[5] En conclusión, la guadua es un material el cual su composición depende mucho del lugar o el ambiente donde

se desarrolle. En Colombia la guadua es categorizada como un material, ligero, liviano y de fácil manejo económico, por lo cual debe ser utilizado de manera que a partir de sus parámetros utilizados para el diseño, den garantía de preservación del recurso.

Por otro lado Habusta M y Ugarte J, en el artículo bambú el milagro vegetal, de la Universidad Tropical de Costa Rica; el bambú se propaga sobre todo en zonas tropicales y sus propiedades están efectuadas debido a los ambientes de donde se produzcan, está probado que el clima tropical es fundamental para el crecimiento de la mata[9], afirmando esto también en 1955 el japonés K Ueda registró el mayor crecimiento de bambú en 24 horas y fue de 1,21 m. También se demuestra que el clima tropical puede ser adverso a la conservación de este, después del cortado el tallo, es muy propenso a ser atacado por hongos de destrucción o por insectos como termitas o escarabajos, según esto el bambú común en una construcción tiene un periodo de vida de 2 a 3 años, en cambio las estructuras en guadua angustifolia pueden tener un periodo de vida de hasta 60 años, pues este tipo de bambú puede soportar aquellos factores exógenos que disminuyen las capacidades de resistencia y características compuestas como la conservación, [7]

La durabilidad de una estructura en guadua angustifolia, depende mucho de la capacidad con la que el ingeniero o arquitecto manejen el recurso de tal manera que cumpla con los estándares de calidad y seguridad, mecánicamente el comportamiento de los elementos siempre están relacionados a los esfuerzos a los cuales serán sometidos, las características físicas ayudan al análisis estructural, como lo son el peso específico del material y la gravedad a la que puede ser sometida, esto siempre va ligado al comportamiento mecánico, la capacidad de contracción y hasta el manejo del recurso.

Según Giraldo E y Sabogal A, en una publicación de la corporación autónoma regional del Quindío, La Guadua una alternativa sostenible en la pag 147 “Las propiedades físico-mecánicas de la guadua son la expresión de su comportamiento bajo la acción de fuerzas externas; este comportamiento depende de la clase de fuerza aplicada y de la estructura de la misma. En general, estas propiedades son las que determinan la aptitud de la madera para propósitos de construcción” [8]

El comportamiento de la guadua como material estructural para vigas, columnas, cerchas y pórticos es diferente al de cualquier otro material como el concreto o el acero, la caracterización mecánica de este material es importante para el diseño de estructuras, es necesario tener los parámetros de resistencia del material, como resistencias a la compresión, a la flexión longitudinal, al corte, la torsión, tracción paralela a la fibra, compresión perpendicular a la fibra y módulos elásticos.

Regidos según los parámetros y ensayos para caracterizar las propiedades mecánicas y físicas basados con las normas colombianas como INCONTEC, y las normas de la American Society for Testing and Materials ASTM.

Según Eduardo Salas, en su tesis de doctorado sobre la actualidad y futuro de la arquitectura de bambú en Colombia mediante unos ensayos determinaron lo siguiente; la guadua tiene más virtudes en comportamientos mecánicos, y su módulo de elasticidad es mayor al de otras maderas en diferentes solicitudes.

Tabla 6-1. Muestra de laboratorio para módulo de elasticidad

Muestra	Módulo de elasticidad a tracción Kg/cm²	de a	Módulo de elasticidad a compresión Kg/cm²	de a	Módulo de elasticidad a flexión Kg/cm²
Guadua	190,000		184,000		179,000
Otras maderas	Entre 90,000 y 180,000	y	Entre 96,000 y 169,000	y	Entre 108,000 y 128,000

Fuente: Eduardo Salas (actualidad y futuro de la arquitectura- universidad de Catalunya)

El autor hace referencia en que estos ensayos siempre pueden variar en sus valores, dependiendo de las características físicas que tenga el material.

Tabla 6-2. Muestra de laboratorio para determinación de las resistencias

Muestra	Resistencia a Tracción Kg/cm²	a	Resistencia a Compresión Kg/cm²	a	Resistencia a Flexión Kg/cm²
			perpendicular a la fibra	paralelo a la fibra	
Guadua	430		560	650	740
Aliso	108		68	357	460
Arboloco	entre 500 y 1500		132	405	390
Otras maderas	1,000		entre 50 y 144	400	entre 500 y 720

Fuente: Eduardo Salas (actualidad y futuro de la arquitectura- universidad de Catalunya)

Por otro parte, en una investigación de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, sobre la determinación de los valores característicos de resistencia de la Guadua Angustifolia, por parte de Luna P, Lozano J, Takeuchi C, esta investigación

obtuvieron valores de resistencia y módulos elásticos, dados con muestras tomadas de tres partes diferentes de Colombia y ensayadas en laboratorio.

Tabla 6-3. Valores característicos resistencia de culmo de guadua angustifolia

	Parte inferior	Parte Media	Parte superior	Todas las partes
Corte	3.2	4.3	3	3.5
Compresión paralela	19.2	19.3	23.6	20.3
Tensión Paralela	39.9	37.1	41.4	40.7
Flexión		35.3	40.8	37.4
Compresión Perpendicular	2.4	1	2.9	1.7

Fuente: Luna P, Lozano J, Takeuchi C (Determinación de los Valores característicos de resistencia de la Guadua Angustifolia 2014)

Los autores hacen referencia a que los valores de resistencia varían para cada parte de la sección de la caña, también hacen referencia a que los valores pueden variar según la humedad a la que se presentan las probetas de las cañas de guadua angustifolia, entonces según ellos, no es una resistencia la cual se pueda establecer.[9]

En esta investigación también se hicieron pruebas para el cálculo de los módulos elásticos, siguiendo el reglamento de la norma colombiana de sismo resistencia NSR-10, donde el Modulo de elasticidad usado para el análisis de estructuras con elementos estructurales en guadua angustifolia deben ser el modulo promedio.

Tabla 6-4 Modulo de elasticidad

Módulo promedio $E_{0.5}$	Módulo percentil 5 $E_{0.05}$	Módulo mínimo E_{min}
9500	7500	4000

Fuente: NSR-10

La Norma NSR-10 hace referencia. Cuando se utiliza el módulo de la elasticidad mínimo E_{min} es para calcular los coeficientes de estabilidad de Vigas y Columnas, el $E_{0.05}$ se debe utilizar para calcular las deflexiones cuando las condiciones de servicio sean críticas o requieran un nivel de seguridad mayor al promedio.

En conclusión con los autores, estos resultados son una muestra experimental para la determinación de los valores característicos de resistencia, que tienen que ser empelados para el diseño y construcción de estructuras sismo resistentes, hecha en material de Guadua rolliza Angustifolia, los autores hacen referencias de las importancia de los ensayos bien elaborados, teniendo en cuenta las norma técnica colombiana INCONTEC, e insisten que es posible hacer relaciones de resultados con otras bibliografías, si la humedad de las probetas están en un porcentaje casi igual.

6.1.2 . Puentes

En Colombia se utilizó la especificación americana “AASHTO Standard Specifications for Highway Bridges”, hasta el año 1994, cuando el Gobierno nacional encargó a la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica –AIS- En 1995, la AIS, mediante convenio con el Ministerio del Transporte y el Instituto Nacional de Vías INVIAS publicó el Código Colombiano de diseño sísmico de puentes.

Para el diseño de puentes en Colombia la norma colombiana para el diseño de puentes recomienda lo siguiente: Un estado límite es una condición más allá de la cual una estructura, o uno de sus componentes, no cumple la función para la cual fue diseñado.

La metodología de diseño por estados límite es corrientemente usada en diseño estructural y tiene dos características básicas: (1) trata de considerar todos los estados límite posibles y (2) está basado en métodos probabilistas. Los estados límite deben estar suficientemente bien definidos, de tal manera que un diseñador sepa qué es considerado como aceptable o inaceptable. De mayor importancia es prevenir que los estados límites sean alcanzados, pero hay otras metas igualmente deseables: funcionalidad, apariencia y economía. No es económico diseñar un puente para que ninguno de sus componentes falle. Por lo tanto, es necesario determinar cuál es el nivel de riesgo o probabilidad de falla aceptable[10].

Según Alejandro Sandoval en su libro puentes al momento de calcular y diseñar la infraestructura de los puentes se subdivide en cargas principales y cargas secundarias, esta clasificación la hace basándose en las cargas que genera el puente o primarias (carga viva, carga muerta, fuerzas longitudinales, peso propio) y las secundarias son aquellas que se dan por factores externos al puente(supresión,

material arrastre, viento, movimiento sísmico,); y con estas cargas se deberán diseñar los puentes[11].

6.1.2.1 . Puentes Peatonales

Los puentes peatonales sistemas estructurales pueden ser contruidos de concreto, acero, madera, mixtos u otros. Entre las luces más comunes en nuestro medio podemos encontrar luces desde 10 metros hasta 50 metros dependiendo de las condiciones de apoyo y del sistema estructural empleado.

Un aporte de Edgar Eduardo Muñoz en su libro de ingeniería de puentes de puentes peatonales presenta grandes problemas al ser diseñados por cargas estáticas, el verdadero reto es conseguir estructuras resistentes a cargas dinámicas inducidas por viento, sismo o peatones. Los puentes peatonales son susceptibles a vibraciones provocados por los eventos antes citados debido a que su diseño tiende a ser económico y ligero; esto hace que tengan menos rigidez y sean más flexibles.[12]

Actualmente en Colombia no existe un manual colombiano para el diseño de puentes peatonales; existe un decreto el cual es decreto 279 del 2003 el cual nos da unos parámetros para la construcción de puentes peatonales y nos habla de una de una cartilla, llamada “cartilla para el puente peatonal prototipo para Bogotá” esta contiene ciertos criterios de construcción de puentes peatonales los cuales son:

- Implementación de accesibilidad: rampas y escaleras
- Implementación de seguridad: rampas y escaleras
- Diseño estructural de módulos típicos
- Diseño estructural de columnas
- Diseño estructural de plataformas
- Diseño estructural de detalles constructivos
- Configuraciones especiales[13]

A pesar de tener de tener unos ítems importantes de la realización de puentes peatonales estos no tienen especificaciones para el diseño ya que solo muestran el un diseño predeterminado de un mismo puente peatonal es decir que cuenta con todo las medidas para la construcción de puente en acero y solo aplicable para la ciudad de Bogotá.

Para encontrar los parámetros para el diseño de un puente peatonal hay que recurrir a la norma americana LRFD Guide Specifications for Design of Pedestrian Bridges, la cual habla de “Las especificaciones de esta guía se aplicarán a los puentes

destinados a peatones y Peatones/Bicicletas que forman parte de las instalaciones de la carretera, y por lo que se proporcionan estándares realistas que garantizan la seguridad estructural y durabilidad comparable a los puentes de carretera diseñados de conformidad con las normas AASHTO de especificaciones estándar para puentes de carretera. Esta especificación debe aplicarse por igual a todos los tipos de puentes y materiales de construcción, incluyendo acero, hormigón y madera.”[14]

Cargas de diseño

- Cargas Vivas
- Carga Viva de Peatones
- Vehículo de Carga
- Carga del viento
- Combinaciones de carga

Detalles de diseño

- Deflexión
- Vibraciones
- Tensión admisible a la fatiga
- Espesor mínimo acero
- Soldadura conexiones tubulares
- Conexiones en la Mitad de los Tramos de la Armadura

Los puentes para uso peatonal y para el tráfico de bicicletas deberán ser diseñados para una carga viva uniformemente repartida de 5 kN/m² (510kgf/m²). El proyectista deberá evaluar el posible uso del puente peatonal por vehículos de emergencia o mantenimiento. Las cargas correspondientes a tales vehículos no requerirán incrementarse por efectos dinámicos. Afirma el manual de diseño de puentes lima.[15]

6.1.2.2 . Puentes Peatonales En Guadua

La idea de hacer el diseño de un puente peatonal, de este presente proyecto de investigación, viene reflejado a problemas de movilidad de la zona dicha en los puntos anteriores, y la relación de la Guadua como material estructural, viene siendo porque es un material innovador, que a pesar de una extensa bibliografía en investigaciones y construcciones con Guadua Angustifolia, esta investigación la vemos reflejada en los comportamientos físicos-mecánicos, y toda característica tenida en cuenta para el diseño de un puente peatonal en material vegetal como la Guadua Angustifolia.

En Colombia las primeras muestras de uso de la Guadua en puentes peatonales, ocurrió por parte de los indígenas Paeces, dando muestras de las habilidades que tenían para la construcción, según Stamm, J. En su proyecto universitario con la Guía para la construcción de puentes en Guadua. Proyecto UTP-GTZ. Pereira, Colombia, 2001 hace referencia que estos indígenas, lograron combinar el arco falso hecho con guadua, con tirantas del mismo material. Estas últimas las trabajaban a tracción amarrándolas a pilotes o árboles del lugar.[2]

Estas anécdotas y muestras indígenas, son fundamentales a la hora de nuevas investigaciones sobre el uso estructural de materiales alternos a los de producción industrial, la utilización de nuevas técnicas con Guadua Angustifolia, las aplicaciones y las determinaciones de los valores característicos, permiten establecer y realizar los campos necesarios para el diseño de puentes peatonales. Según Martínez S, en su tesis de post-grado, citando un artículo de Bambús – RWTH Aachen, 2002, en el cual indican, en que momento inicio la nueva generación, para el uso de la Guadua estructural en puentes peatonales se implementó en 1994, en una zona cerca a los andes colombianos, con una tragedia que se dio a través de una avalancha del río Páez, río perteneciente al Cauca Colombiano, tragedia la cual dejó un poco más de 2000 víctimas, que dejó daños muy grandes en la infraestructura de comunicación y movilidad, para la reconstrucción del área destruida por la avalancha, fue necesario implementar materiales cercanos, debido a la accesibilidad de la zona, la Guadua fue una de los principales materiales, y junto con las ideas de Jorg Stamm, se planteó una morfología de un puente peatonal hecho en material vegetal.

Como la Guadua Angustifolia, no es un material homogéneo, sus cañas no pueden ser idénticas, entonces según J Stamm, las cañas de Guadua se seleccionan y se separan según el diámetro, por ejemplo las cañas más gruesas y rectas son utilizadas para columnas o diagonales usadas como cerchas, ambas usadas a compresión, las cañas intermedias son utilizadas como diagonales a tensión o correas, y las que tienen alguna curvatura son usadas para barandales o arcos.[2]

Según Virginia Carmiol Umaña, en su artículo investigativo, Bambú Guadua en puentes peatonales, un artículo de la revista Tecnología en Marcha, Vol. 23, N.º 1, Enero-Marzo 2010, donde dice que las cañas de guadua angustifolia largas y flexibles, son las más previstas a la hora de una construcción de un puente peatonal en este material, ya que las cañas tienden a arquearse de una manera convexa hacia arriba, lo que permite que la flexibilidad de los elementos sea menor. Las

cañas que se utilizan para columnas, se utilizan en los extremos de los puentes y se tensionan sujetas a una base de concreto o roca.[1]

6.1.3 Relación de la guía de especificaciones para el diseño de puentes peatonales Aashto Lrfd Pedestrian Bridge Design Specifications, con la norma colombiana nsr-10 título G

La guía para el diseño de puentes peatonales, en su apartado 1,2 especifica que el diseño siempre tiene que estar prescrito a un ingeniero especializado en el tema, y la responsabilidad de los cálculos recaerá sobre él, en cambio la norma colombiana (NSR-10) en su título G, especifican que lo presentado en este título solo está hecho para el diseño de estructuras a porticadas en guadua angustifolia y no para puentes peatonales.

Aun así los valores admisibles de resistencia y esfuerzos, presentados por la norma americana, pueden ser pertinentes en la relación con los valores admisibles de resistencia y esfuerzos presentados para la Guadua angustifolia en la norma colombiana.

La Norma Americana presenta qué; los puentes peatonales deben diseñarse para una carga uniforme peatonal de 90 psf (libra sobre pie cuadrado). Esta carga será modelada para producir los efectos de carga máxima (mayoración). La consideración de la asignación de carga dinámica no es requerida con relación a esta carga. Sin embargo la carga no puede ser menor a 65 psf, en casos de que la carga supere las especificaciones impuestas, existen métodos para la disminución de estas.[14]

También deben ser diseñados para una sola carga ocasional del vehículo de mantenimiento, siempre y cuando el acceso de vehículos no esté físicamente impedido. La configuración del vehículo específico será determinada por la Agencia que los colocó en servicio. En caso de que la agencia de un vehículo no especifique, las cargas que usaran en el diseño serán acuerdo a las normas AASHTO H-Camiones. La carga viva del vehículo de mantenimiento no se colocará en combinación con la carga viva de peatones.

La norma Americana, establece una serie de cargas, la carga ecuestre, es una carga, a la que se tiene un control específico, debido a la fuerza aplicada por la presión de las pezuñas de los caballos al cabalgar, donde la carga de un casco se aproxima al 100 % del total del peso del caballo, que en casos de mayoración se aproxima 1,75 kips (kilo libras), otra carga a tener en cuenta es la carga del viento de intensidad se aplicará horizontalmente, en ángulo recto con el eje longitudinal de la estructura. La carga del viento se aplica en el área vertical proyectada de todos

los elementos de la superestructura, incluyendo miembros de la armadura expuestas en el entramado de sotavento.

- Para armaduras y arcos: 75 libras por pie cuadrado (Psf)
- Para vigas y viguetas: 50 libras por pie cuadrado (Psf)

Al determinar la carga viva peatonal que maximiza o minimiza el efecto de carga en un miembro dado, la menor dimensión del área debe ser mayor o igual a 2.0 pies, cualquier ancho menor a este, no será tomado como un espacio para soportar cargas

Según la norma colombiana (NSR-10) en el título G. capítulo G.12, se establece la determinación de las secciones transversales mínimas, debido a las cargas que se presenten, teniendo en cuenta los contenidos de humedad a los cuales la guadua puede estar siendo sometida. Entonces se presentan combinaciones de carga para el cálculo de las deflexiones

Tabla 6.5 Carga w para el cálculo de sección y deflexiones

Condición	CH $\leq$ 19% t $\leq$ 37°C Clima constante	CH $\geq$ 19% t $\leq$ 37°C Clima variable
Calculo de sección	2.0 D + L	2.0 D + L
Deflexiones inmediatas	D+L	D + L
Deflexiones diferidas	2.8D + 1.3L	3.8 D + 1.4 L

FUENTE: NSR-10

En cambio la norma Americana, demuestra otra forma de calcular las deflexiones para los elementos deben estar diseñados de manera que la deflexión debido a la carga viva de servicio peatonal no sobrepase $L/500$ de la longitud del tramo; La deflexión horizontal debido a la carga de viento lateral no excederá de $L/500$ de la longitud del tramo.

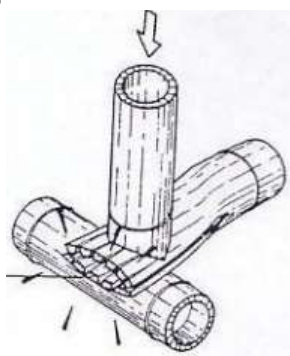
6.1.3.1 Comportamiento de los nudos en las uniones de elementos

En el diseño de estructuras en guadua es fundamental tener un especial cuidado con los nudos, ya que de esto depende la estabilidad de la estructura, en la norma colombiana de sismo resistencia, en el capítulo G.12, sección G.12.8.4, refiere; cuando hay una carga concentrada sobre un elemento, esta debe ser concentrada

en los nudos, siempre y cuando este soporte los esfuerzos y no fallar por corte paralelo, o por aplastamiento en el punto de aplicación.

Según Hidalgo López, las cañas que se utilicen como vigas, deben cortarse de tal forma que quede un nudo en cada extremo o próximo a él, de lo contrario las cargas verticales expresadas por las columnas apoyadas en los extremos de la viga, pueden producir aplastamiento (compresión paralela a la fibra), de no ser así se deben empelar formas para evitar este aplastamiento, y pueden ser elementos o miembros del mismo material.

Figura 6.1- Aplastamiento del extremo de la viga



FUENTE: OSCAR HIDALGO (MANUAL DE CONSTRUCCIÓN CON BAMBÚ)

También según Caori Takehuchi, en su artículo de revista *ingeniería e investigación*, comportamiento estructural de la guadua angustifolia. Uniones en Guadua, “los elementos bajo diferentes solicitaciones de carga (compresión, tracción paralela a las fibras, flexión y torsión) tienen un buen comportamiento; sin embargo, en las uniones pueden tener esfuerzos de tracción perpendicular a la fibra o de corte paralelo a la fibra.” [16]

Según Takehuchi, al momento de diseñar estructuras en guadua es importante conocer las características de la guadua, tanto físicas como mecánicas, evitando que los elementos sometidos a cargas y fuerzas, fallen. También se hace referencia a que la guadua es un material anisótropo y que sus resistencias pueden variar mucho. Ya que las características de la guadua pueden variar mucho debido a la humedad, al cultivo, a la edad y demás características ya mencionadas en esta investigación.

6.1.3.2 . Análisis y comportamiento estructural

Según Virginia Carmiol Umaña, en su artículo investigativo, Bambú Guadua en puentes peatonales, un artículo de la revista *Tecnología en Marcha*, Vol. 23, N.º 1,

Enero-Marzo 2010, se hace referencia, que el diseño estructural de un puente en material vegetal, depende de las diferentes cargas a las que será sometido, las cargas ejercidas por la naturaleza, y la carga ejercida por el peso propio de la estructura, además en los puentes de bambú también se debe tener en cuenta que las cargas permanentes también se refiere a la cargas de los accesorios, como el concreto, el acero para las uniones, los pernos, el tablero de entre piso y la cubierta, también es importante recalcar que en algunas ocasiones se pueden tener cargas condicionales como las del ganado.[1]

Las características geométricas que se deben tener en cuenta para el diseño de un puente peatonal, siempre deben hacerse con respecto a las condiciones del entorno a la que se presentara, la altura del puente, la longitud de sus elementos, el ancho del tablero peatonal, y también los pasos de accesos hacia la estructura (escaleras o rampas).

Figura 6.2- Puente Jenny Garzón



FUENTE: BIOGRAFÍA ARGELINO GARZÓN 2018 (EN LÍNEA)

Según la norma colombiana de sismo resistencia (NSR-10) en el título G, capítulo G.12, la luz de diseño siempre se debe tener en cuenta entre apoyos simples, será la luz libre entre caras más la mitad de la longitud del apoyo en cada extremo.

Los soportes del puente, si son diseñados con guadua angustifolia, deben ir lo más aislados posibles del suelo, cimentados en concreto o roca, pero de lo que depende la estabilidad del puente, según los conceptos básicos del análisis estructural, es la capacidad que tengas los nudos para resistir esfuerzos de cortante y momento, no obstante las deflexiones también tienen que ser mínimas, así para garantizar una seguridad estable esto último según Umaña, el bambú por ser un material tan liviano y flexible puede resistir ondas de choque en cualquier dirección, ya que puede moverse al ritmo del movimiento sísmico de la tierra y por eso en Colombia es catalogado como un material antisísmico.

6.2. MARCO CONCEPTUAL

Guadua estructural

La guadua angustifolia es un material anisótropo, siendo de la familia del bambú, como material estructural, puede ser cultivado y cortado en un periodo de tiempo, llegando a medir casi 30 mts, con 17 centímetros de diámetro, además es un material, liviano, ligero y de fácil manejo económico.

Material anisótropo

Material homogéneo que al ser dispuesto a diferentes condiciones, su estructura molecular se comporta de manera igual, la guadua angustifolia, es homogénea en la composición de cada caña, pero todas las cañas no tienen igual homogeneidad.

Esbeltez mecánica

Se relaciona con el comportamiento que se tiene en la rigidez del material, y no dejarse doblar de forma convexa o cóncava al sentir la solicitud de una carga.

Inmunización de la guadua angustifolia

La inmunización hace que la guadua no sufra afectaciones, debido a factores externos que indispongan el material, factores como, los climáticos y contaminantes.

Resistencia de los elementos

Los elementos al ser sometidos a diferentes solicitudes, como esfuerzos, cargas, cambios climáticos, etc... deben tener la capacidad de soportar estas factores, y hacer un comportamiento tal que pueda, permanecer su composición después del tiempo de sometimiento.

Esfuerzos

Es la fuerza sometida sobre un área en común, que las cuales con las características mecánicas, reaccionan y así provocan una resistencia, con más área que se tenga mayor será la resistencia.

Comportamiento Mecánico

Hace referencia a la resistencia que tenga el material en diferentes aspectos.

Resistencia a la compresión:

Se presenta cuando la fuerza actúa acortando una dimensión o reduciendo el Volumen del cuerpo en cuestión; se define como la fuerza total de compresión dividida por el área de la sección transversal de la pieza sometida al esfuerzo.

Resistencia a Flexión y Tracción:

En el uso de la guadua para la construcción, la resistencia de la flexión es la propiedad más importante. Entre la compresión paralela, la tracción paralela y la flexión existen las siguientes relaciones: la resistencia a la flexión es alrededor del 75% mayor que la resistencia a la compresión. La flexión se presenta en partes estructurales denominadas vigas, las cuales pueden ser simples, empotradas y viga continua.

Corte

Es la resistencia que se tiene cuando una fuerza perpendicular al elemento ejercida en la sección longitudinal del elemento, una fuerza que tiene a doblar o cortar el elemento.

Módulos elásticos

Es un tipo de constante elástica que se involucra con la tensión y la deformación que tenga un elemento, es más una resistencia de fuerza sobre unidad de volumen.[17]

PUENTES PEATONALES

Las especificaciones de esta guía se aplicarán a los puentes destinados a peatones y Peatones/Bicicletas que forman parte de las instalaciones de la carretera, y por lo que se proporcionan estándares realistas que garantizan la seguridad estructural y durabilidad comparable a los puentes de carretera diseñados de conformidad con las normas AASHTO de especificaciones estándar para puentes de carretera. Esta especificación debe aplicarse por igual a todos los tipos de puentes y materiales de construcción, incluyendo acero, hormigón y madera.

"El tráfico sobre todo de peatones y/o bicicletas" implica que el puente no lleva una carretera pública o camino vehicular. Un puente diseñado por estas especificaciones podría permitir el paso ocasional del servicio de un vehículo de mantenimiento.

Esta especificación permite el uso de los métodos del diseño de la carga de servicio o del diseño de resistencia (Diseño del Factor de Carga) de la manera provista por las normas AASHTO de especificaciones estándar para puentes de carretera. No se piensa actualmente para el uso conjuntamente con las especificaciones de la cargas de AASHTO y del diseño del factor de resistencia

CARGAS VIVAS

Carga Viva de Peatones

Las 85 libras por pie cuadrado (Psf) ó 415,01 kilogramos fuerza por metro cuadrado (Kgf/m²) de la carga peatonal, es lo que representa una persona promedio que ocupa 2 pies cuadrados (ft²) ó 0.19 (m²) de área de cubierta de puente, se considera una carga viva de servicio razonablemente y conservadora que es difícil de superar con tráfico peatonal. Cuando se aplica las tensiones permisibles de la carga de servicio de AASHTO o el grupo 1 de factores de carga para el diseño de factor de carga, se proporciona una amplia capacidad de sobrecarga.

Vehículo de Carga

La propuesta AASHTO de cargas de vehículos se propone como valores por defecto en los casos en que la empresa productora del vehículo no especifique el diseño de cargas de vehículo usado. Las configuraciones del H-Camión se utilizan para simplificar el diseño y es una manera conservadora de representar los pesos especificados.

Cargas de Viento

La norma AASHTO de presión del viento sobre los elementos de superestructura, salvo la AASHTO de carga mínima del viento por el pie de la superestructura se omite. El valor de 35 libras por metro cuadrado (Psf) ó 170,88 kilogramos fuerza por metro cuadrado (Kgf/m²) aplicado al área vertical proyectada de un puente de armadura abierta se ofrece para la simplicidad de diseño, en lugar de las fuerzas computacionales en los miembros individuales de la armadura.

PUENTES PEATONALES GUADUA

Esta técnica constructiva proviene inicialmente de los indígenas suramericanos que consigue múltiples beneficios, y la aplicación o inyección de concreto en los entrenudos del bambú permite el desarrollo de obras que cumplan las exigencias actuales, desarrollo de puentes con luces más amplias y, sobre todo, construcciones de bajo impacto, accesibles a los recursos económicos de pequeñas comunidades o empresas privadas .

En cuanto al diseño estructural los puentes de guaduas pueden aumentar o reducir la deflexión de una viga basándose en conceptos lógicos y eficientes, los cuales son la base del cálculo que se deben contemplar para la realización del mismo este diseño debe ser cuidadoso puesto que hay elementos como las cerchas que son utilizadas con frecuencia las cuales pueden generar grandes esfuerzos que trabajan ya sea a compresión como a tensión, puesto que estas estructuras se diseñan buscando un equilibrio en las fuerzas.

6.3. ESTADO DEL ARTE

DISEÑO DE UN PUENTE EN BAMBÚ *Guadua angustifolia* Kunth UBICADO EN LA FINCA EL CENTENARIO PARA LA UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

Se presenta el diseño de la superestructura de un puente peatonal en Bambú *Guadua angustifolia* Kunth para satisfacer la necesidad de tránsito peatonal en la finca *El Centenario*, de la Universidad Santo Tomás, ubicada en el municipio de Sasaima – Cundinamarca, en donde se contaba con una estructura en guadua deteriorada. Se partió del estudio topográfico, las propiedades del material y la literatura sobre la construcción en guadua para determinar la configuración geometría que presentó la estructura del puente peatonal. Para determinar las deflexiones y esfuerzos actuantes en la estructura, se empleó el software de cálculo estructural SAP2000 programado con las propiedades físico-mecánicas de la guadua y las combinaciones de carga estipuladas por las normas colombianas de puentes peatonales. El diseño de los elementos se definió mediante el método de los esfuerzos admisibles y se comparó con los parámetros establecidos en el capítulo G-12 del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.

AUTORES

DAVID HENRÍQUEZ DEFELIPE
FRANKLIN EDUARDO MORÓN SIERRA

6.4. MARCO NORMATIVO

Tabla 6-6 Marco normativo

NORMA	RELACION
AASHTO LRFD PEDESTRIAN BRIDGE DESING SPECIFICATIONS	La guía para el diseño de puentes peatonales, especifica que el diseño siempre tiene que estar ligado a las condiciones de cargas que se presenten, a las condiciones sísmicas y a las condiciones climáticas.
NORMA COLOMBIANA DE SISMORESISTENCIA NSR-10, EN EL TITULO G, ESTRUCTURAS EN GUADUA	Especifican que lo presentado en este título solo está hecho para el diseño de estructuras a porticadas en guadua angustifolia y no para puentes peatonales.
NORMA TÉCNICA COLOMBIANA INCONTEC NTC 5525 (2007)	Especificaciones necesarias para la solución de ensayos de laboratorios, para determinación de las características físicas y los comportamientos mecánicos que tiene la guadua angustifolia.

CODIGO NACIONAL DE PUENTES, NORMA INVIAS	Se encuentran las especificaciones del diseño y construcción de puentes y las diversas cargas que se deben tener en cuenta al momento del diseño
---	--

MANUAL DE CONSTRUCCIÓN CON BAMBÚ DE OSCAR HIDALGO LÓPEZ	Especificaciones sobre el cultivo, corte, inmunización y curado de la guadua angustifolia para ser usada como material estructural, también con especificaciones de cómo deben ir las uniones en los nodos y las juntas.
---	--

CARTILLA PARA EL PUENTE PEATONAL PROTOTIPO PARA BOGOTA	Esta contiene ciertos criterios de construcción de puentes peatonales para la construcción en Bogotá
--	--

.FUENTE: AUTORES

7. EQUIPO DE INVESTIGACIÓN Y TRAYECTORIA

Ing. Bregy Hassler Choque. Ingeniero Civil Universidad Del Meta, 2015. Especialista en Estructuras. Universidad Nacional de Colombia 2017. Maestría en Estructuras (en curso). Universidad Nacional de Colombia.

Director

Ing. Iván Darío Acosta. Ingeniero Civil. Universidad Católica de Colombia, 2009. Especialista en Recursos Hídricos. Universidad Católica, 2011. Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente (en curso). Universidad de Manizales.

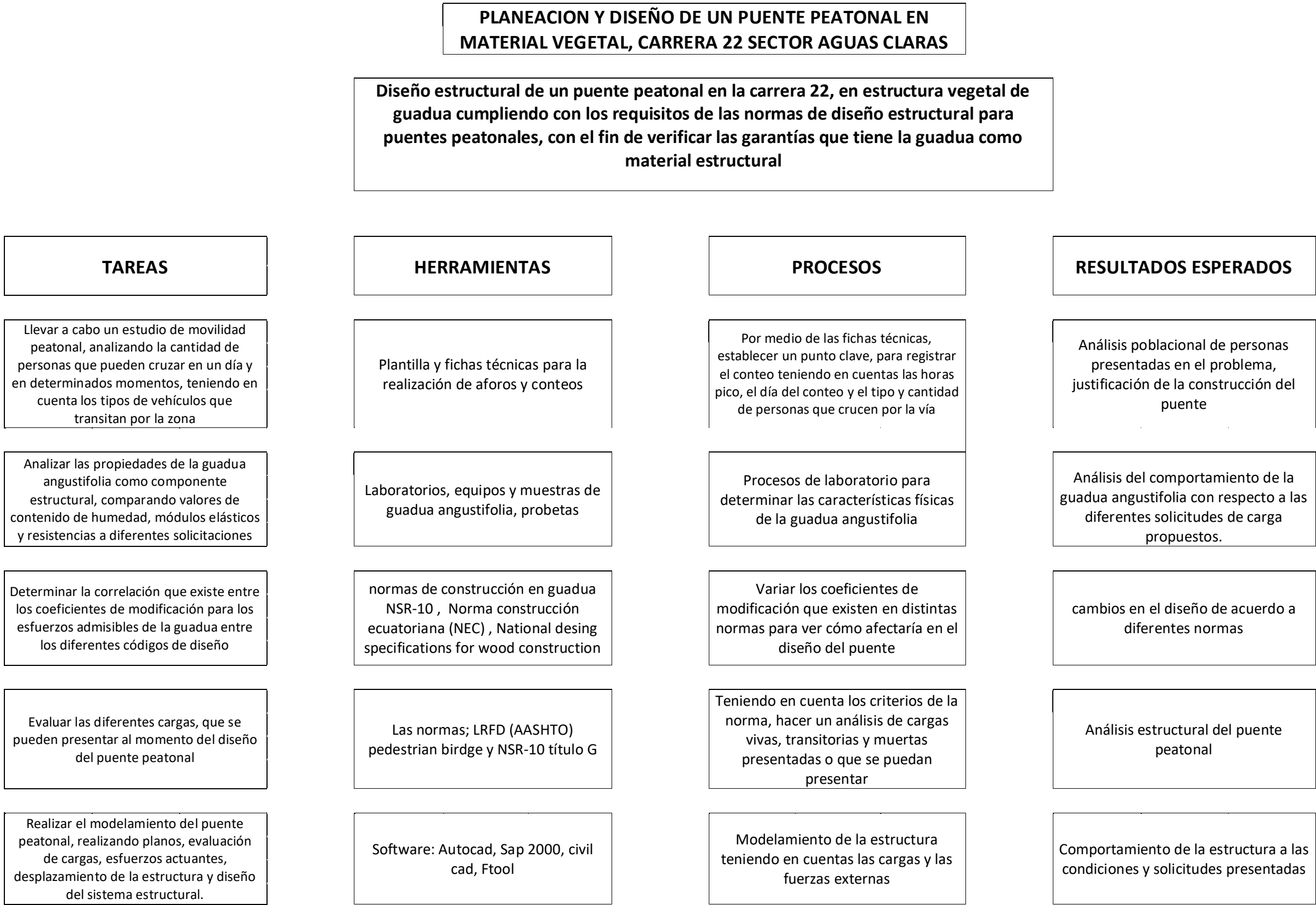
Co director

8. METODOLOGÍA

La implementación de la metodología en este proyecto parte del objetivo general, el cual es la verificación de la guadua, como un material estructural, aplicándolo a una modelación de un puente peatonal, en la zona dicha anteriormente con la problemática dada, al ser un proyecto descriptivo y explicativo que relaciona: la problemática, las soluciones, las características y demás aspectos que se tienen contemplados en el uso del material vegetal como un componente estructural.

A continuación será explicada la metodología, y se dará a contemplar que tipo de metodología es, pues se contemplaran todos los aspectos necesarios para la realización del proyecto.

Figura 8.1- Metodología Fuente: Autores



9. CRITERIOS DE DISEÑO

9.1. Estudio de movilidad peatonal

Siendo este el primer objetivo de este proyecto de investigación, se requiere hacer un aforo de cruce de transeúntes por la carrera 22 en el sector aguas clara, precisamente en frente de la universidad Santo tomas, también se contemplan el tipo y categoría de vehículos, teniendo en cuenta el tamaño que estos vehículos presentan, por último el flujo máximo de transeúntes en las diferentes horas de la jornada laboral y estudiantil de la zona, resaltando problemas y características.

9.2. ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA GUADUA ANGUSTIFOLIA

Este material vegetal, muy famoso en la cultura colombiana, puede comprender características muy resistentes y eficientes, aceptables para su uso en estructuras tanto porticadas como armaduras y puentes.

Cabe resaltar que la guadua angustifolia es un material anisótropo, cada muestra o probeta de guadua puede presentar diferentes aspectos en sus características. Por eso es necesario contemplar todas las características, físicas y mecánicas que pueda presentar el material sometido a diferentes solicitudes de carga y/o servicio en el ámbito seleccionado.

9.3. EVALUACIÓN DE CARGAS

El modelamiento de un puente peatonal requiere una adecuada estimación de las cargas que pueden ser presentadas, y las fuerzas que puedan afectar a la estructura, para hacer una determinación de cargas es necesario contemplar la norma Americana para diseño de puentes peatonales y la norma colombiana de sismo resistencia NSR-10 en su título G, identificando cualquier factor que pueda ser de importancia para la determinación de las cargas vivas, muertas y sobre impuestas. Por consecuente realizando un análisis de cargas y de fuerzas que impacten sobre una estructura tipo.

9.4. MODELAMIENTO DEL PUENTE PEATONAL

Para finalizar el proyecto, se hace el propio diseño del puente peatonal con la contemplación de todas las solicitudes que pueda presentar, las fuerza externas y los eventos climáticos que puedan afectar la estructura.

Por medio de la ayuda de las herramientas, software y plataformas necesarias y las normas contempladas anteriormente, se dará a conocer el comportamiento que pueda presentar la estructura a los diferentes eventos y condiciones a las que el puente se pueda exponer.

10. DESCRIPCIÓN DE ETAPAS Y TAREAS

10.1. AFORO PEATONAL

Empleando las formas y aplicaciones para un aforo peatonal, por medio de fichas técnicas, estableciendo un punto clave para una excelente visibilidad de los transeúntes, teniendo en cuentas las horas pico, en las cuales la Universidad tiene más servicio, contemplando los días del conteo en donde exista más densidad de movimiento de transeúntes.

10.2. ENCUESTA DE CARACTERIZACIÓN:

Por consecuente la encuesta es un recurso clave, el cual permitirá caracterizar los aspectos, necesidades y problemáticas que presenta la población cercana a la Universidad Santo Tomas, o personas externas. La encuesta se realizara a un grupo de personas que tengan la necesidad de transitar por la Carrera 22, referenciando las principales incomodidades y preocupaciones por parte de la comunidad Tomasina

10.3. ADQUISICIÓN DE LA MUESTRA

Según Eduardo Salas, en la Tesis de doctorado sobre la actualidad y futuro de la arquitectura de bambú en Colombia, la guadua angustifolia más común para el uso constructivo o uso estructural, se encuentra en el centro occidente del territorio Colombiano, el departamento del Quindío es el principal productor de este recurso natural, para poder hacer un análisis y comparación de las propiedades y características del material, es necesario adquirir muestras de este tipo de bambú de los llanos colombianos, realizando una caracterización y dando argumentos para la posible utilización de este material.

10.4. PRUEBAS DE LABORATORIO

Para tener los parámetros de resistencia del material, como resistencias a la compresión paralela, tracción paralela a la fibra, compresión perpendicular a la fibra; estos parámetros son fundamentales para realizar los cálculos necesarios y poder establecer las solicitudes de carga a las cuales pueden ser sometidos Regidos según los parámetros y ensayos para caracterizar las propiedades mecánicas y físicas basados es necesario la utilización de las normas colombianas como INCONTEC, y las normas de la American Society for Testing and Materials ASTM.

10.5. CÁLCULOS ESPECTRALES

Los espectros de aceleración dependen de la zona de amenaza sísmica en la que se vaya a contemplar el proyecto son fundamentales para empezar un análisis estructural, contemplando la norma colombiana se puede hacer el debido cálculo de este espectro. Para hacer una consecuente determinación de las fuerzas sísmicas y fuerzas externas que se puedan presentar.

11. ANÁLISIS DE RESULTADOS

11.1. ESTUDIO MOVILIDAD

11.1.1 AFORO PEATONAL

Se realizaron 3 aforos peatonales los días 2 de febrero, el 7 de agosto 2018, 3 septiembre 2018 durante el intervalo de tiempo de 6am a 11pm en el cual se evidencio el volumen de peatones que atraviesan la avenida en este aforo se dividió a los peatones que entran y que salen este aforo se hizo en estas horas ya que son las más concurridas en el sector se hizo en intervalos de 15 min y arrojaron los siguientes resultados

Tabla 11.1- AFORO 1-2 FEBRERO 2018

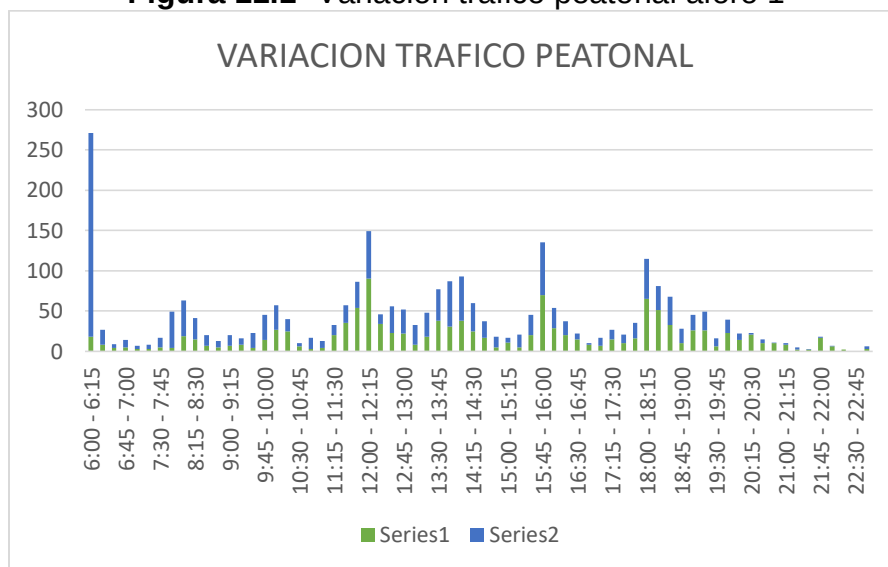
PERIODO	SALEN	ENTRAN	TOTAL
6:00 - 6:15	18	253	271
6:15 - 6:30	8	19	27
6:30 - 6:45	4	5	9
6:45 - 7:00	5	9	14
7:00 - 7:15	3	4	7
7:15 - 7:30	3	5	8
7:30 - 7:45	5	12	17
7:45 - 8:00	4	45	49
8:00 - 8:15	19	44	63
8:15 - 8:30	15	26	41
8:30 - 8:45	7	13	20
8:45 - 9:00	5	8	13
9:00 - 9:15	7	13	20
9:15 - 9:30	8	8	16
9:30 - 9:45	4	19	23
9:45 - 10:00	14	31	45
10:00 - 10:15	27	30	57
10:15 - 10:30	25	15	40
10:30 - 10:45	6	4	10
10:45 - 11:00	3	14	17
11:00 - 11:15	4	9	13
11:15 - 11:30	20	13	33
11:30 - 11:45	35	22	57
11:45 - 12:00	54	32	86

12:00 - 12:15	90	59	149
12:15 - 12:30	34	12	46
12:30 - 12:45	23	33	56
12:45 - 13:00	22	30	52
13:00 - 13:15	8	25	33
13:15 - 13:30	18	30	48
13:30 - 13:45	38	39	77
13:45 - 14:00	31	56	87
14:00 - 14:15	38	55	93
14:15 - 14:30	25	35	60
14:30 - 14:45	17	20	37
14:45 - 15:00	5	13	18
15:00 - 15:15	11	6	17
15:15 - 15:30	5	16	21
15:30 - 15:45	20	25	45
15:45 - 16:00	70	65	135
16:00 - 16:15	29	25	54
16:15 - 16:30	20	17	37
16:30 - 16:45	15	7	22
16:45 - 17:00	8	2	10
17:00 - 17:15	7	10	17
17:15 - 17:30	15	12	27
17:30 - 17:45	10	11	21
17:45 - 18:00	16	19	35
18:00 - 18:15	65	50	115
18:15 - 18:30	51	30	81
18:30 - 18:45	33	35	68
18:45 - 19:00	10	18	28
19:00 - 19:15	26	19	45
19:15 - 19:30	26	23	49
19:30 - 19:45	6	10	16
19:45 - 20:00	23	16	39
20:00 - 20:15	14	8	22
20:15 - 20:30	21	2	23
20:30 - 20:45	10	5	15
20:45 - 21:00	10	1	11
21:00 - 21:15	8	2	10
21:15 - 21:30	2	3	5
21:30 - 21:45	2	1	3

21:45 - 22:00	17	1	18
22:00 - 22:15	6	1	7
22:15 - 22:30	2	0	2
22:30 - 22:45	0	0	0
22:45 - 23:00	3	3	6

FUENTE: AUTORES

Se registraron en total 2488 peatones, de los cuales el 55% se registró entrando a la universidad, y el 45% saliendo de la misma, la hora de máxima demanda se localizó entre las 11:30 a 12:30 con 338 peatones, y un FHP de 0.56 El comportamiento se muestra en la siguiente grafica

Figura 11.1- Variación tráfico peatonal aforo 1

.FUENTE: AUTORES

Tabla 11.2- AFORO 2- 7 AGOSTO 2018

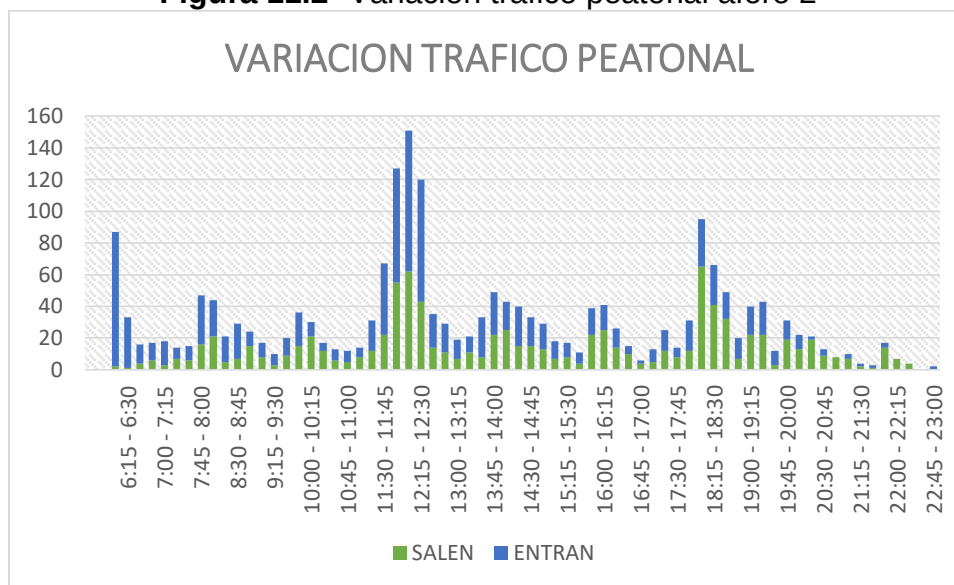
PERIODO	SALEN	ENTRAN	TOTAL
6:00 - 6:15	2	85	87
6:15 - 6:30	1	32	33
6:30 - 6:45	4	12	16
6:45 - 7:00	6	11	17
7:00 - 7:15	3	15	18
7:15 - 7:30	7	7	14
7:30 - 7:45	6	9	15

7:45 - 8:00	16	31	47
8:00 - 8:15	21	23	44
8:15 - 8:30	5	16	21
8:30 - 8:45	7	22	29
8:45 - 9:00	15	9	24
9:00 - 9:15	8	9	17
9:15 - 9:30	3	7	10
9:30 - 9:45	9	11	20
9:45 - 10:00	15	21	36
10:00 - 10:15	21	9	30
10:15 - 10:30	12	5	17
10:30 - 10:45	6	7	13
10:45 - 11:00	5	7	12
11:00 - 11:15	8	6	14
11:15 - 11:30	12	19	31
11:30 - 11:45	22	45	67
11:45 - 12:00	55	72	127
12:00 - 12:15	62	89	151
12:15 - 12:30	43	77	120
12:30 - 12:45	14	21	35
12:45 - 13:00	11	18	29
13:00 - 13:15	7	12	19
13:15 - 13:30	11	10	21
13:30 - 13:45	8	25	33
13:45 - 14:00	22	27	49
14:00 - 14:15	25	18	43
14:15 - 14:30	15	25	40
14:30 - 14:45	15	18	33
14:45 - 15:00	13	16	29
15:00 - 15:15	7	11	18
15:15 - 15:30	8	9	17
15:30 - 15:45	4	7	11
15:45 - 16:00	22	17	39
16:00 - 16:15	25	16	41
16:15 - 16:30	14	12	26
16:30 - 16:45	10	5	15
16:45 - 17:00	4	2	6
17:00 - 17:15	5	8	13
17:15 - 17:30	12	13	25

17:30 - 17:45	8	6	14
17:45 - 18:00	12	19	31
18:00 - 18:15	65	30	95
18:15 - 18:30	41	25	66
18:30 - 18:45	32	17	49
18:45 - 19:00	7	13	20
19:00 - 19:15	22	18	40
19:15 - 19:30	22	21	43
19:30 - 19:45	3	9	12
19:45 - 20:00	19	12	31
20:00 - 20:15	13	9	22
20:15 - 20:30	19	2	21
20:30 - 20:45	9	4	13
20:45 - 21:00	8	0	8
21:00 - 21:15	7	3	10
21:15 - 21:30	2	2	4
21:30 - 21:45	1	2	3
21:45 - 22:00	14	3	17
22:00 - 22:15	7	0	7
22:15 - 22:30	4	0	4
22:30 - 22:45	0	0	0
22:45 - 23:00	0	2	2

.FUENTE: AUTORES

Se registraron en total 2084 peatones, de los cuales el 55% se registró entrando a la universidad, y el 45% saliendo de la misma, la hora de máxima demanda se localizó entre las 11:30 a 12:30 con 465 peatones, y un FHP de 0.77 El comportamiento se muestra en la siguiente grafica

Figura 11.2- Variación tráfico peatonal aforo 2

FUENTE: AUTORES

Tabla 11.3- Aforo 3- 3 septiembre 2018

PERIODO	ENTRAN	SALEN	TOTAL
6:00 - 6:15	2	102	104
6:15 - 6:30	3	45	48
6:30 - 6:45	5	12	17
6:45 - 7:00	6	13	19
7:00 - 7:15	3	6	9
7:15 - 7:30	2	4	6
7:30 - 7:45	7	6	13
7:45 - 8:00	8	26	34
8:00 - 8:15	16	35	51
8:15 - 8:30	15	26	41
8:30 - 8:45	8	7	15
8:45 - 9:00	3	8	11
9:00 - 9:15	7	11	18
9:15 - 9:30	6	5	11
9:30 - 9:45	6	14	20
9:45 - 10:00	15	28	43
10:00 - 10:15	27	33	60
10:15 - 10:30	13	11	24
10:30 - 10:45	7	5	12

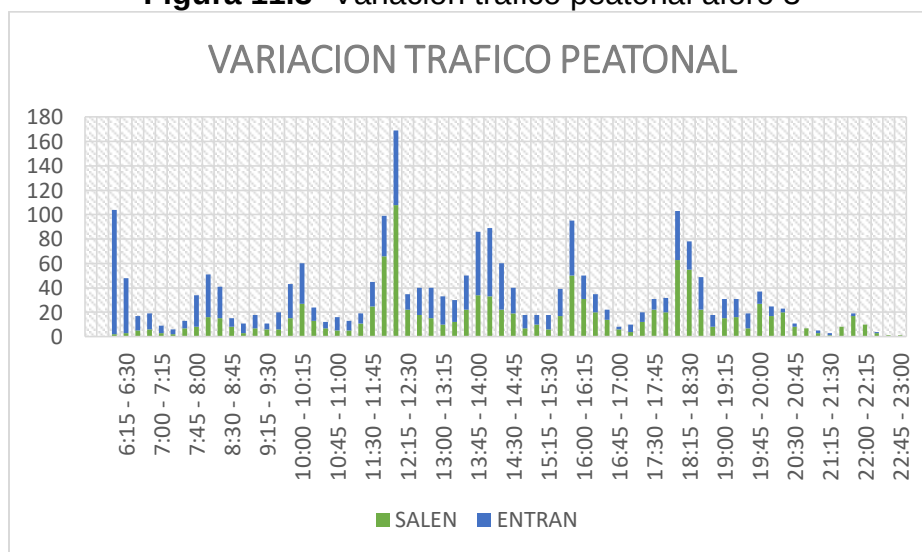
10:45 - 11:00	5	11	16
11:00 - 11:15	5	8	13
11:15 - 11:30	11	8	19
11:30 - 11:45	25	20	45
11:45 - 12:00	66	33	99
12:00 - 12:15	108	61	169
12:15 - 12:30	22	13	35
12:30 - 12:45	18	22	40
12:45 - 13:00	15	25	40
13:00 - 13:15	10	23	33
13:15 - 13:30	12	18	30
13:30 - 13:45	22	28	50
13:45 - 14:00	34	52	86
14:00 - 14:15	33	56	89
14:15 - 14:30	22	38	60
14:30 - 14:45	19	21	40
14:45 - 15:00	7	11	18
15:00 - 15:15	10	8	18
15:15 - 15:30	6	12	18
15:30 - 15:45	17	22	39
15:45 - 16:00	50	45	95
16:00 - 16:15	31	19	50
16:15 - 16:30	20	15	35
16:30 - 16:45	14	8	22
16:45 - 17:00	6	2	8
17:00 - 17:15	4	6	10
17:15 - 17:30	12	8	20
17:30 - 17:45	22	9	31
17:45 - 18:00	20	12	32
18:00 - 18:15	63	40	103
18:15 - 18:30	55	23	78
18:30 - 18:45	22	27	49
18:45 - 19:00	8	10	18
19:00 - 19:15	15	16	31
19:15 - 19:30	16	15	31
19:30 - 19:45	7	12	19
19:45 - 20:00	27	10	37
20:00 - 20:15	17	8	25
20:15 - 20:30	20	3	23

20:30 - 20:45	8	3	11
20:45 - 21:00	7	0	7
21:00 - 21:15	3	2	5
21:15 - 21:30	1	2	3
21:30 - 21:45	8	0	8
21:45 - 22:00	17	2	19
22:00 - 22:15	10	0	10
22:15 - 22:30	3	1	4
22:30 - 22:45	1	0	1
22:45 - 23:00	1	0	1

.FUENTE: AUTORES

Se registraron en total 2299 peatones, de los cuales el 52% se registró entrando a la universidad, y el 48% saliendo de la misma, la hora de máxima demanda se localizó entre las 11:30 a 12:30 con 465 peatones, y un FHP de 0.51 El comportamiento se muestra en la siguiente grafica

Figura 11.3- Variación tráfico peatonal aforo 3



FUENTE: AUTORES

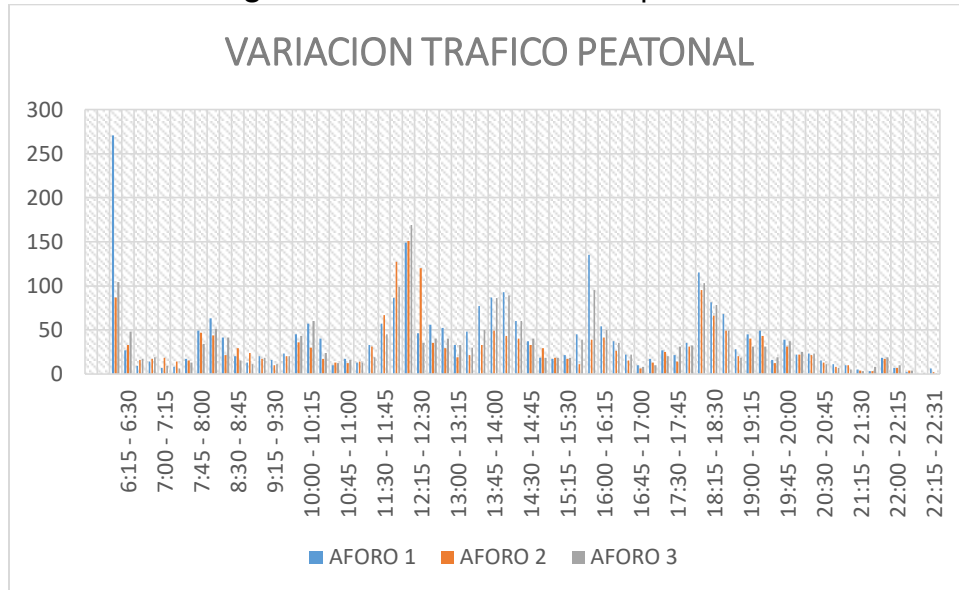
La siguiente tabla es una recopilación de dichos aforos donde se recopila toda la información dando que en los 3 días de aforo se contabilizaron un total de 7099 peatones que atraviesan la zona dando como media que cada 15min transitan por la zona aproximadamente 35 peatones

Tabla 11.4- Aforos Totales

PERIODO	AFORO 1	AFORO 2	AFORO 3
6:00 - 6:15	271	87	104
6:15 - 6:30	27	33	48
6:30 - 6:45	9	16	17
6:45 - 7:00	14	17	19
7:00 - 7:15	7	18	9
7:15 - 7:30	8	14	6
7:30 - 7:45	17	15	13
7:45 - 8:00	49	47	34
8:00 - 8:15	63	44	51
8:15 - 8:30	41	21	41
8:30 - 8:45	20	29	15
8:45 - 9:00	13	24	11
9:00 - 9:15	20	17	18
9:15 - 9:30	16	10	11
9:30 - 9:45	23	20	20
9:45 - 10:00	45	36	43
10:00 - 10:15	57	30	60
10:15 - 10:30	40	17	24
10:30 - 10:45	10	13	12
10:45 - 11:00	17	12	16
11:00 - 11:15	13	14	13
11:15 - 11:30	33	31	19
11:30 - 11:45	57	67	45
11:45 - 12:00	86	127	99
12:00 - 12:15	149	151	169
12:15 - 12:30	46	120	35
12:30 - 12:45	56	35	40
12:45 - 13:00	52	29	40
13:00 - 13:15	33	19	33
13:15 - 13:30	48	21	30
13:30 - 13:45	77	33	50
13:45 - 14:00	87	49	86
14:00 - 14:15	93	43	89
14:15 - 14:30	60	40	60
14:30 - 14:45	37	33	40

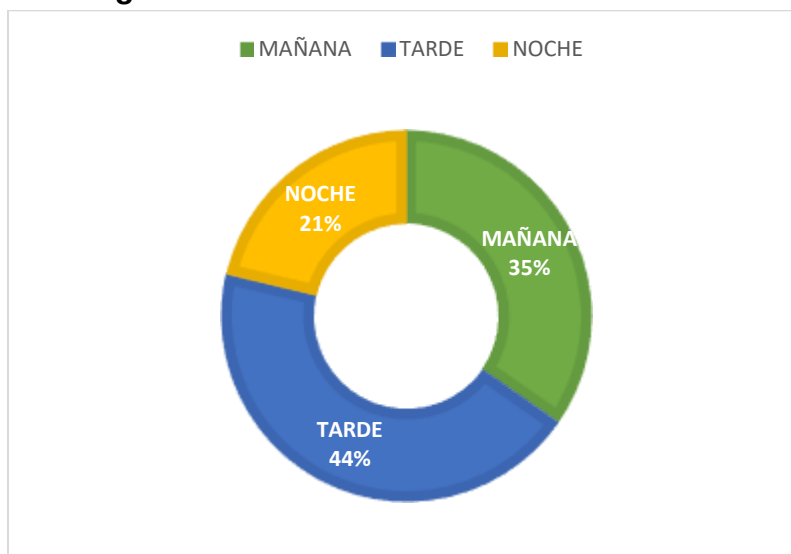
14:45 - 15:00	18	29	18
15:00 - 15:15	17	18	18
15:15 - 15:30	21	17	18
15:30 - 15:45	45	11	39
15:45 - 16:00	135	39	95
16:00 - 16:15	54	41	50
16:15 - 16:30	37	26	35
16:30 - 16:45	22	15	22
16:45 - 17:00	10	6	8
17:00 - 17:15	17	13	10
17:15 - 17:30	27	25	20
17:30 - 17:45	21	14	31
17:45 - 18:00	35	31	32
18:00 - 18:15	115	95	103
18:15 - 18:30	81	66	78
18:30 - 18:45	68	49	49
18:45 - 19:00	28	20	18
19:00 - 19:15	45	40	31
19:15 - 19:30	49	43	31
19:30 - 19:45	16	12	19
19:45 - 20:00	39	31	37
20:00 - 20:15	22	22	25
20:15 - 20:30	23	21	23
20:30 - 20:45	15	13	11
20:45 - 21:00	11	8	7
21:00 - 21:15	10	10	5
21:15 - 21:30	5	4	3
21:30 - 21:45	3	3	8
21:45 - 22:00	18	17	19
22:00 - 22:15	7	7	10
22:15 - 22:30	2	4	4
22:30 - 22:45	0	0	1
22:15 - 22:31	6	2	1

FUENTE: AUTORES

Figura 11.4- Variación tráfico peatonal

.FUENTE: AUTORES

Se dividió el día en 3 intervalos de tiempo de 6am a 12m (MAÑANA), de 12m a 6 pm (TARDE) y de 6pm a 11 pm (NOCHE) lo cual se evidencia que en la jornada de la tarde en donde más transeúntes atraviesan la avenida

Figura 11.5- Distribución Peatones En El Día

.FUENTE: AUTORES

De acuerdo con los volúmenes obtenidos y viendo la necesidad de pasos peatonales seguros en la zona debido al proyecto es necesario incluir señalización y demarcación vial para que le indique a los conductores la presencia de peatones en los costados de la calle de tal manera que brinden una mayor seguridad mientras se da una solución definitiva la cual es la construcción de un puente peatonal en la zona.

11.1.2 CARACTERIZACION DE AUTOMOTORES

Se realizó una caracterización de los vehículos que pasan por la zona y se hizo una clasificación teniendo en cuenta la norma Invias de tipos de automotores

Tabla 11.5- Caracterización De Vehículos

TIPO
AUTOMOVIL
CAMPERO
CAMIONETA
MICROBUS
BUSETA
BUS
BUS METROPOLITANO
CAMION DE 2 EJES PEQUEÑO (C2 P)
CAMION DE 2 EJES GRANDE (C2 – G)
TRACTOR-CAMION (C2 - S1)
CAMION (C4)
TRACTOR-CAMION (C3 -S1)
TRACTOR-CAMION (C3 - S2)
TRACTOR-CAMION (C3 - S3)
TRACTOR-CAMION C2 - S2

.FUENTE: AUTORES

Se realizó esta clasificación para poder tener la altura de estos vehículos, pero según RESOLUCION 004100 DE 2004 la cual se adoptan los límites de pesos y dimensiones en los vehículos de transporte terrestre automotor de carga por carretera, para su operación normal en la red vial a nivel nacional da a entender que para cualquier automotor que se transporte por la red vial nacional debe tener una

altura máx. de 4,40 m teniendo en cuenta esto la altura min del puente peatonal no debería ser menos de 6m para este proyecto

11.1.3 ENCUESTA DE CARACTERIZACIÓN

Selección de la muestra:

Esta encuesta es una herramienta que básicamente sirve para conocer la opinión de las personas que transitan por la carrera 22 en el sector de la Universidad Santo Tomas del sector Aguas Claras. Pero, entrevistar a todos la comunidad sería costoso e innecesario. Por tal razón se diseñó una muestra de 50 personas, es decir siguiendo las reglas de la estadística, permitiendo elegir un número relativamente pequeño de población que represente la opinión de la totalidad con un pequeño margen de error.

Encuesta

1. ¿Considera usted necesario implementar un puente peatonal en la carrera 22 en frente de la Universidad Santo Tomas sede Aguas Claras?
SI__ NO__
2. ¿Cuánto tiempo gasta usted en cruzar la vía?
A. 5 minutos o menos.
B. Entre 5 y 10 minutos.
C. más de 10 minutos
3. ¿Aproximadamente cuántas veces cruza la vía en un (1) día?
A. 1 a 3 veces.
B. 3 a 5 veces.
C. 5 o más veces
4. ¿Con Qué dificultad se encuentra usted, al momento de cruzar la vía?
A. Imprudencia de los conductores
B. Desconcierto entre peatones y conductores
C. Mala señalización vial.
D. Distracción de peatones
5. ¿Cree usted que las personas discapacitadas, o personas que se movilizan en bicicleta, tienen las garantías en cuanto a seguridad cuando cruzan la vía?

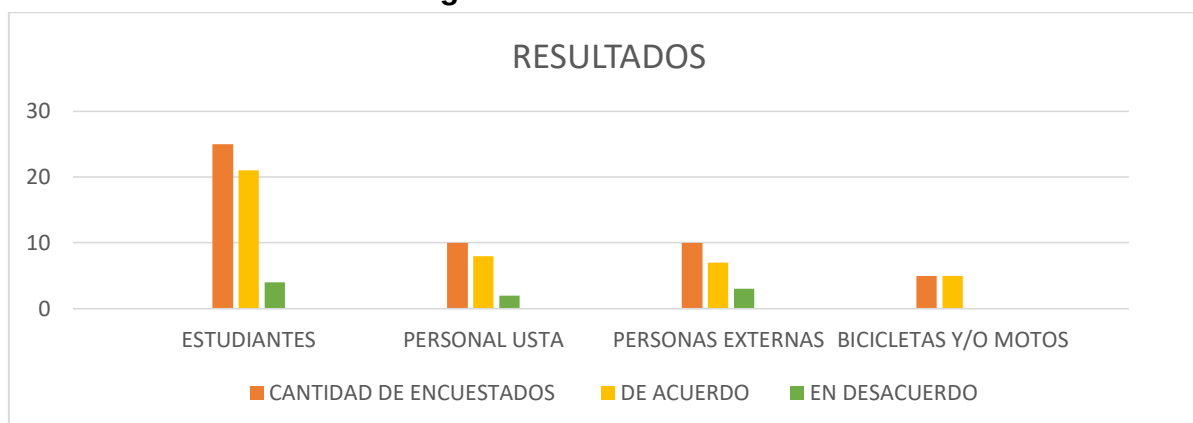
SI__ NO__

RESULTADOS**Tabla 11.6-** Encuestados

	ESTUDIANTES	PERSONAL USTA	PERSONAS EXTERNAS	BISICLETAS Y/O MOTOS
CANTIDAD DE ENCUESTADOS	25	10	10	5
DE ACUERDO	21	8	7	5
EN DESACUERDO	4	2	3	0

.FUENTE: AUTORES

Las encuestas fueron realizadas, de manera cerrada escogiendo grupos selectos de población, los estudiantes al ser los principales afectados por el hecho de la inexistencia de un mecanismo o estructura que asegure la vida del peatón, por esto representan el 50% de la encuesta; el personal de universidad santo tomas también se ve afecto en ocasiones, junto con las personas externas a la universidad como lo son los comerciantes, visitantes o los transeúntes; Las bicicletas siendo el último punto de vista ya que tienen tendencias en tardías de reacción ante un evento peligroso, por la razón de que el manejo de la bicicleta necesita un poco de tiempo.

Figura 11.6- Encuestados

FUENTE: AUTORES

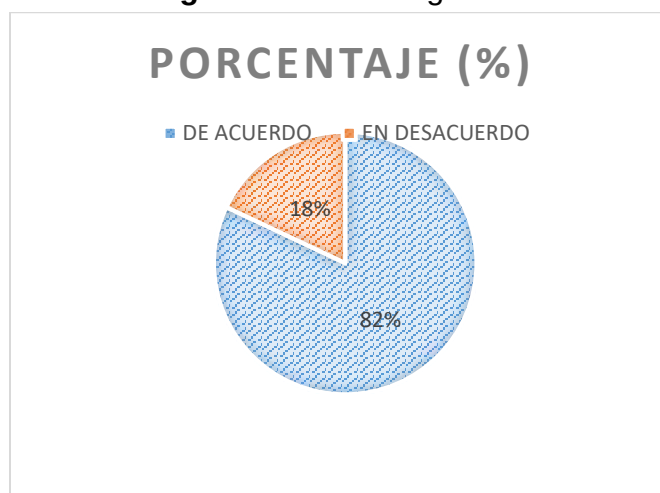
Dado a lo anterior el porcentaje de personas de acuerdo es de 82%, dividiéndose en todas las categorías, tenemos:

1. ¿Considera usted necesario implementar un puente peatonal en la carrera 22 en frente de la Universidad Santo Tomas sede Aguas Claras?

Tabla 11.7- Resultados Pregunta 1

%	ESTUDIANTES	PERSONAL USTA	PERSONAS EXTERNAS	BICICLETAS Y/O MOTOS
CANTIDAD DE ENCUESTADOS	50%	20%	20%	10%
DE ACUERDO	84%	80%	70%	100%
EN DESACUERDO	16%	20%	30%	0%

FUENTE: AUTORES

Figura 11.7- % Pregunta 1

.FUENTE: AUTORES

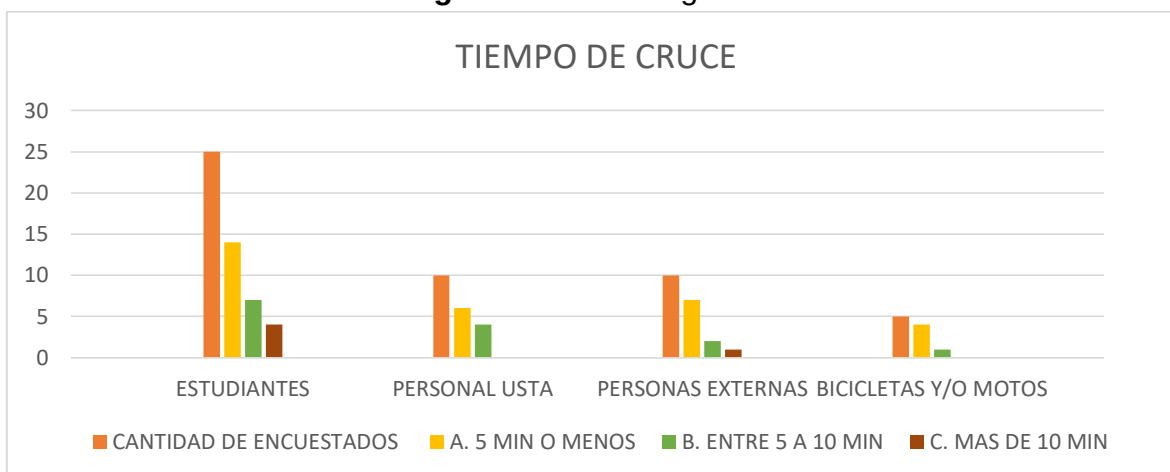
2. ¿Cuánto tiempo gasta usted en cruzar la vía?**Tabla 11.8- Resultados Pregunta 2**

	ESTUDIANTES	PERSONAL USTA	PERSONAS EXTERNAS	BICICLETAS Y/O MOTOS
CANTIDAD DE ENCUESTADOS	25	10	10	5
A. 5 MIN O MENOS	14	6	7	4
B. ENTRE 5 A 10 MIN	7	4	2	1
C. MAS DE 10 MIN	4	0	1	0

.FUENTE: AUTORES

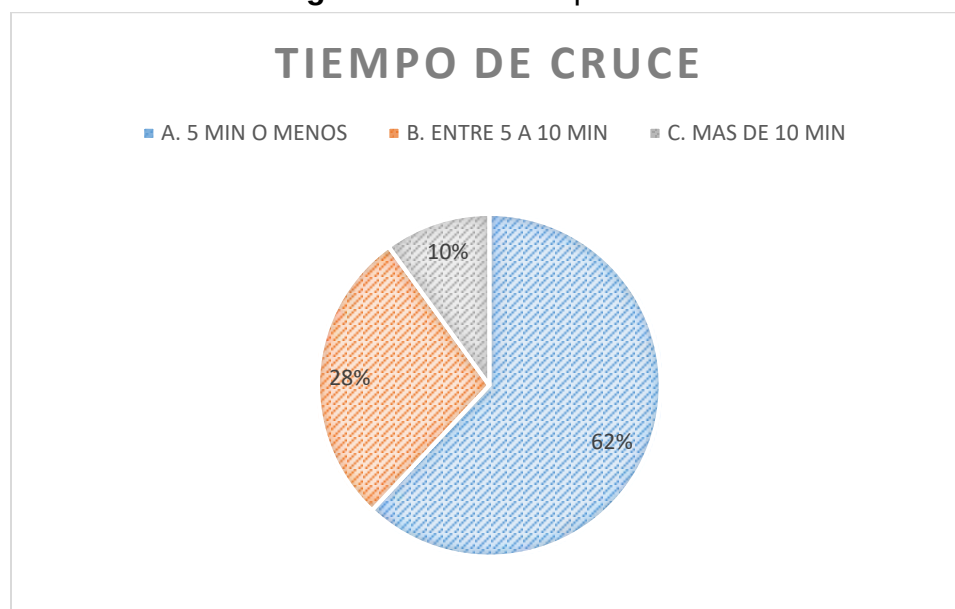
En un análisis para el proceso de circulación peatonal es necesario, determinar y examinar los tiempos que gastan las personas en transitar de una manera correcta y segura, los espacios que están dispuestos para la movilidad y el cruce de la vía; en un análisis más detallado, con las personas encuestadas se detalla en un 62% que los transeúntes tardan y pueden tardar hasta 5 minutos esperando para poder cruzar la vía, un lapso de 5 a 10 minutos de espera reflejado en el 28 % de los encuestados y hasta más 10 minutos de espera puede durar la espera según el 10 % restante de los encuestados.

Figura 11.8- % Pregunta 2



.FUENTE: AUTORES

A continuación se podrán evidenciar los porcentajes representados por la 2 pregunta de la encuesta; en conclusión cabe resaltar que la comunidad tiene problemas con el tiempo de espera para poder cruzar la carrera 22, esto ya que no se tiene un mecanismo o una estructura que pueda facilitar el traslado de los transeúntes.

Figura 11.9- % Tiempo Cruce

.FUENTE: AUTORES

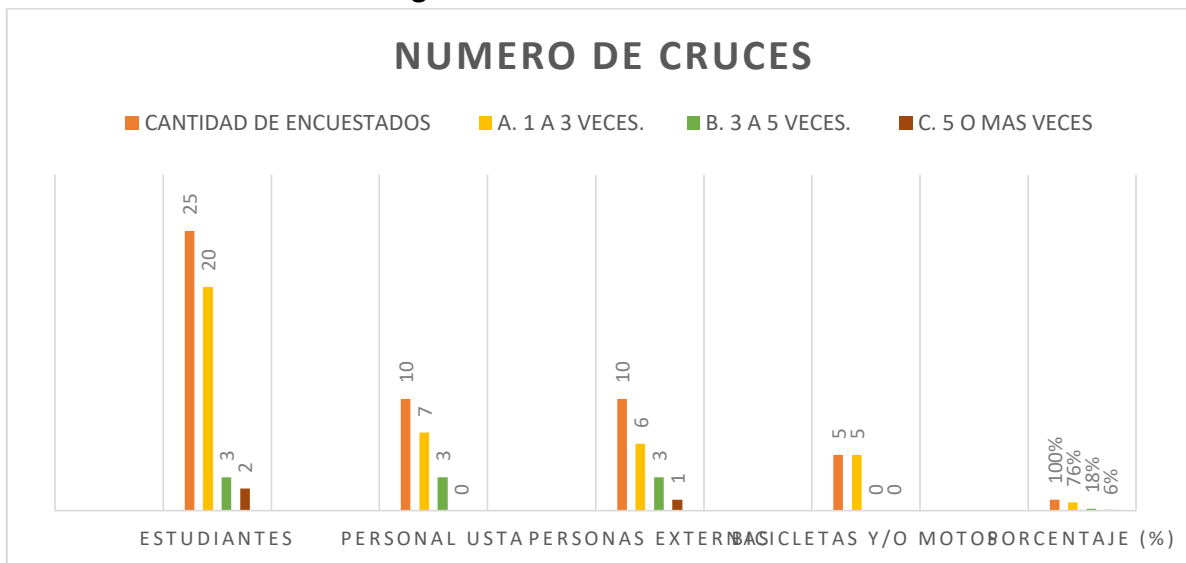
3. ¿Aproximadamente cuántas veces cruza la vía en un (1) día?**Tabla 11.9- Resultados Pregunta 3**

Nº CRUCES	ESTUDIANTES	PERSONAL USTA	PERSONAS EXTERNAS	BICICLETAS Y/O MOTOS
CANTIDAD DE ENCUESTADOS	25	10	10	5
A. 1 A 3 VECES.	20	7	6	5
B. 3 A 5 VECES.	3	3	3	0
C. 5 O MAS VECES	2	0	1	0

.FUENTE: AUTORES

La jornada laboral y estudiantil de la universidad representa mucho tiempo y espacio del día, por eso las necesidades de los transeúntes en el día pueden cambiar, así que pueden hacer de la movilización un ciclo, de esta tendencia nació la pregunta.

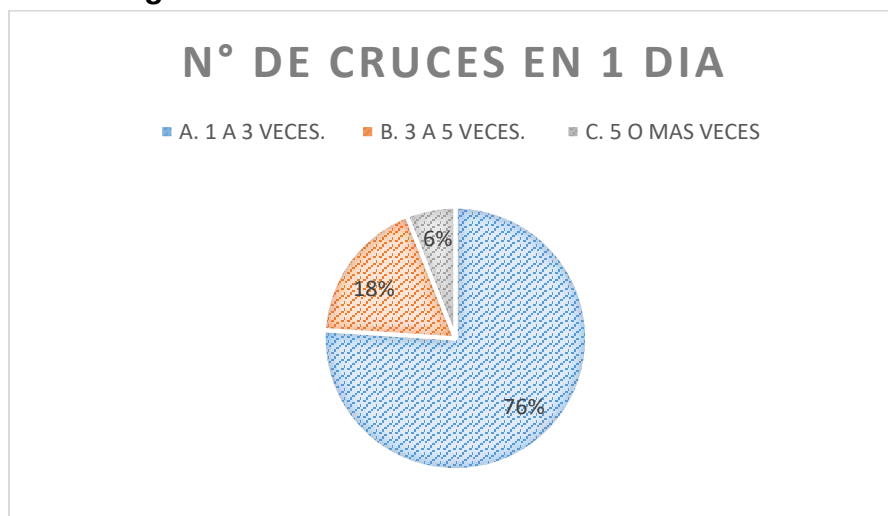
Figura 11.10- Numero Cruces



.FUENTE: AUTORES

Se puede evidenciar que el 76% de la población encuestada, tiene la necesidad de cruzar hasta 3 veces la carrera 22, en cualquiera de los dos sentidos, el 18% de 3 a 5 veces y el 6% hasta 5 veces o más, lo cual esto representa un peligro debido al riesgo de accidentalidad al que están expuestos.

Figura 11.11- % Número De Cruces En Un Día



.FUENTE: AUTORES

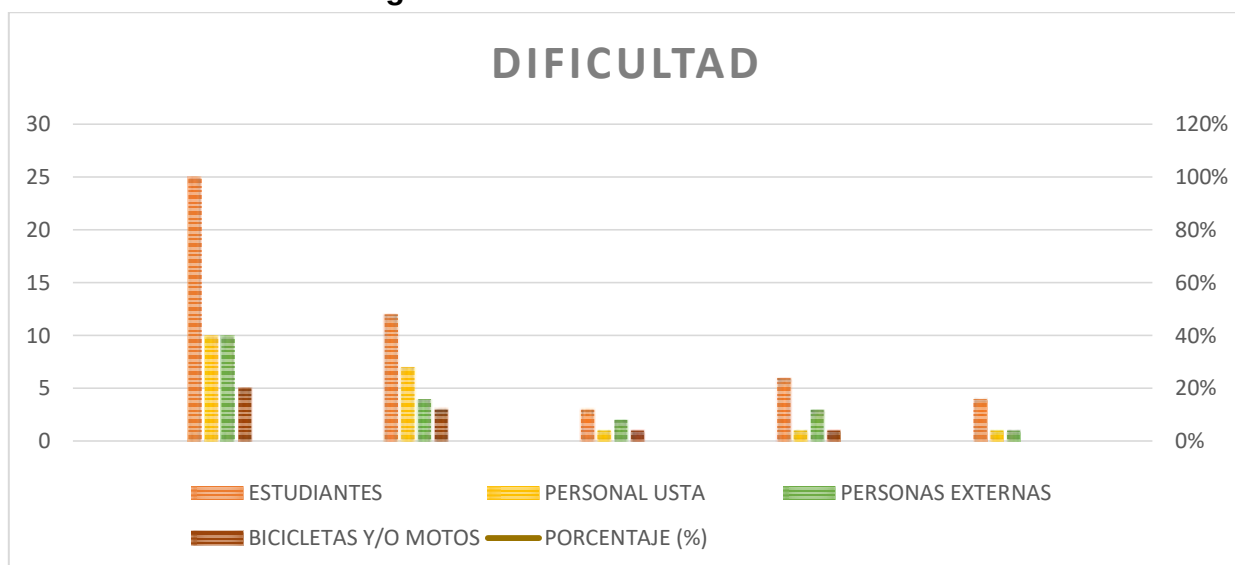
4-¿Con Qué dificultad se encuentra usted, al momento de cruzar la vía?

Tabla 11.10- Resultados Pregunta 4

DIFICULTAD	ESTU DIANT ES	PERSON AL USTA	PERSON AS EXTERN AS	BICICLET AS Y/O MOTOS	PORCENT AJE (%)
CANTIDAD DE ENCUESTADOS	25	10	10	5	100%
A. IMPRUDENCIA DE LOS CONDUCTORES	12	7	4	3	52%
B. DESCONCIERT O	3	1	2	1	14%
C. MALA SEÑALIZACION VIAL	6	1	3	1	22%
. DISTRACCION DE LOS PEATONES	4	1	1	0	12%

.FUENTE: AUTORES

Esta pregunta esencialmente se realizó para identificar cual es la dificultad o el obstáculo que más interfiere en el transito normal de los peatones en esta intersección, claramente la gráfica nos identifica mediante porcentajes cuales son las de mayor y menor impacto, es de resaltar que la mayor problemática es la imprudencia de los conductores, este problema genera un caos al momento de cruzar.

Figura 11.12- Dificultad De Cruce

.FUENTE: AUTORES

5-¿Cree usted que las personas discapacitadas, o personas que se movilizan en bicicleta, tienen las garantías en cuanto a seguridad cuando cruzan la vía?

Claramente se identifica que las personas discapacitadas, o que usan medios de transporte como la bicicletas o sistemas eléctricos como patinetas, estas personas no cuentan con garantías de movilidad en esta intersección, y para esta comunidad es más complicado porque tienen que pasar con un elemento que se convierte en obstáculo al momento de cruzar.

11.2. MODELAMIENTO DE LA ESTRUCTURA

Al momento de diseñar el puente se tomaron las propiedades la NSR-10 en su título G apartado G.12 donde especifican las propiedades que debe tener la guadua al momento de su construcción

Tabla 11.11- Propiedades De La Guadua

Módulo de elasticidad promedio [E0.5]	9500MPa
Módulo percentil 5 [E0.05]	7500 MPa
Módulo mínimo [Emin]	4000 MPa
Esf. Admisible a flexión [Fb]	15 MPa

Esf. Admisible a tracción [Ft]	19 MPa
Esf. Admisible a compresión paralela al eje longitudinal [Fc]	14 MPa
Esf. Admisible a compresión perpendicular al eje longitudinal [Fp]	1.4 MPa
Esf. Admisible a corte [Fv]	1.2 MPa

FUENTE: AUTORES

11.2.1 ANALISIS DE CARGAS

11.2.1.1 CARGAS MUERTAS

Tabla 11.12-Carga Muerta Tablero

Barandas	150 Kgf/m ²
Instalaciones	5.099 Kgf/m ²
Latas de guadua	2.345 Kgf/m ²
Peso tableta caucho	1.632 Kgf/m ²
Tablero madera 75 mm	40 Kgf/m ²
Total	199.076 Kgf/m²

FUENTE: AUTORES

Tabla 11.13-Carga Muerta Cubierta

Tablillas en madera shingles	15.3 Kgf/m²
-------------------------------------	-------------------------------

FUENTE: AUTORES

11.2.1.2 CARGAS VIVAS

Carga Viva de Peatonal Los miembros principales: Principales elementos de soporte, incluyendo vigas, cerchas, y arcos, deberán estar diseñados para una carga viva de peatones de 90 libras por pie cuadrado (Psf) ó 440 kilogramos fuerza por metro cuadrado (Kgf/m²) del Área de pasarela del puente. La carga viva de los

peatones se aplicará a diversas áreas de la pasarela a fin de producir la tensión máxima en el miembro que se está diseñando.

11.2.1.3 CARGAS DE VIENTO

Se debe aplicar la carga de viento horizontalmente, en ángulo recto con el eje longitudinal de la estructura. La carga del viento se aplica en el área vertical proyectada de todos los elementos de la superestructura, incluyendo miembros de la armadura expuestas en el entramado de sotavento. Para armaduras y arcos: 75 libras por pie cuadrado (Psf) ó 366,18 (Kgf/m²)

11.2.1.4 EFECTOS SÍSMICOS

De acuerdo con lo establecido en el artículo 3.10 del CCP-14, se determinan los coeficientes que determinan los efectos sísmicos más probablemente se puedan presentar en la estructura

Coeficiente de aceleración pico del terreno $PGA = 0.2$

Coeficiente de periodo corto $S_s = 0.4$

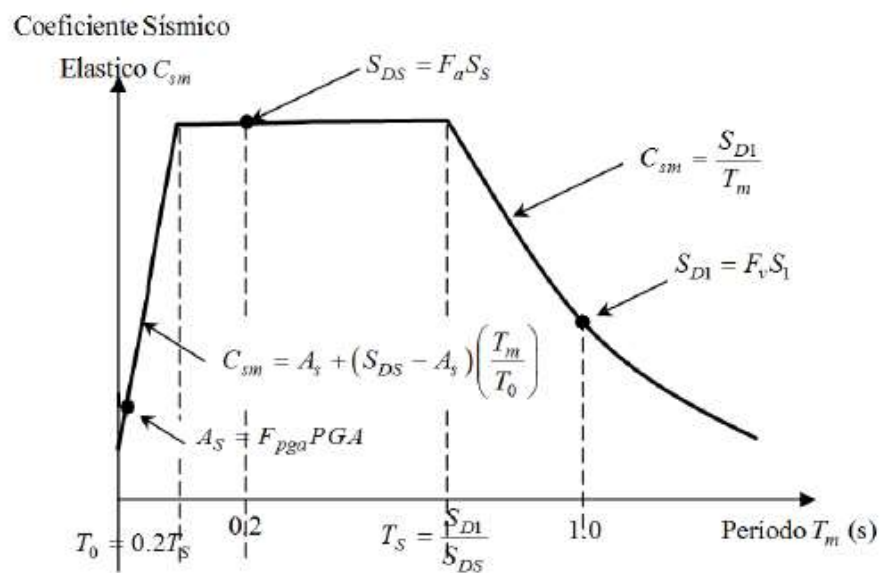
Coeficiente de periodo largo $S_1 = 0.2$

$F_{pga} = 1.4$

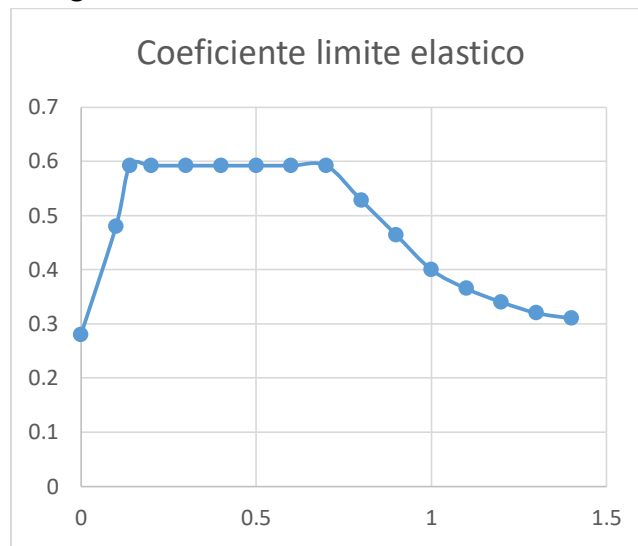
$F_a = 1.48$

$F_v = 2$

Figura 11.13- Coeficiente Sísmico



FUENTE: CCP-14

Figura 11.14- Coeficiente Límite Elástico

.FUENTE: AUTORES

11.2.2 COMBINACIONES DE CARGA

Los coeficientes a utilizar se pueden observar en la siguiente tabla:

Tabla 11.15- Coeficientes De Combinaciones De Carga

Estado Límite de la Combinación de carga	DC DD DW EH EV ES EL PS CR SH	LL DM CE BR PL LS	WA	WS	WL	FR	TU	TG	SE	Use uno de estos a la vez				
										EQ	BL	IC	CT	CV
Resistencia I (a menos que se indique)	γ_F	1.75	1.00	-	-	1.00	0.50/1.20	γ_{FD}	γ_{SE}	-	-	-	-	-
Resistencia II	γ_F	1.35	1.00	-	-	1.00	0.50/1.20	γ_{FD}	γ_{SE}	-	-	-	-	-
Resistencia III	γ_F	-	1.00	1.40 0	-	1.00	0.50/1.20	γ_{FD}	γ_{SE}	-	-	-	-	-
Resistencia IV	γ_F	-	1.00	-	-	1.00	0.50/1.20	-	-	-	-	-	-	-
Resistencia V	γ_F	1.35	1.00	0.40 0	1.0	1.00	0.50/1.20	γ_{FD}	γ_{SE}	-	-	-	-	-
Evento Extremo I	γ_F	γ_{EQ}	1.00	-	-	1.00	-	-	-	1.00	-	-	-	-
Evento Extremo II	γ_F	0.50	1.00	-	-	1.00	-	-	-	-	1.00	1.00	1.00	1.00
Servicio I	1.00	1.00	1.00	0.30 0	1.0	1.00	1.00/1.20	γ_{FD}	γ_{SE}	-	-	-	-	-
Servicio II	1.00	1.30	1.00	-	-	1.00	1.00/1.20	-	-	-	-	-	-	-
Servicio III	1.00	0.80	1.00	-	-	1.00	1.00/1.20	γ_{FD}	γ_{SE}	-	-	-	-	-
Servicio IV	1.00	-	1.00	0.70 0	-	1.00	1.00/1.20	-	1.0	-	-	-	-	-
Fatiga I- Sólo LL, DM & CE	-	1.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fatiga I II- Sólo LL, DM & CE	-	0.75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

FUENTE: CCP-14

Para el proyecto se evaluaron las siguientes combinaciones

RESISTENCIA I

RESISTENCIA III

EVENTO EXTREMO I

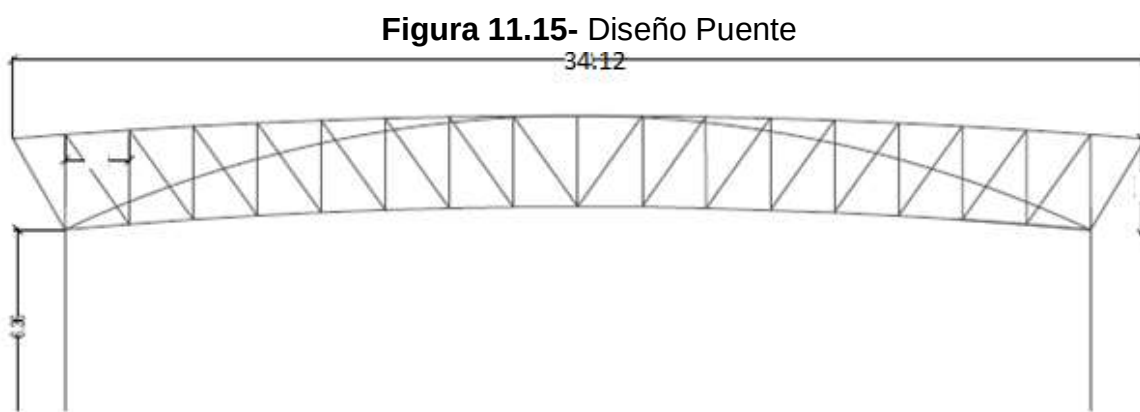
EVENTO EXTREMO III

SERVICIO I

SERVICIO III

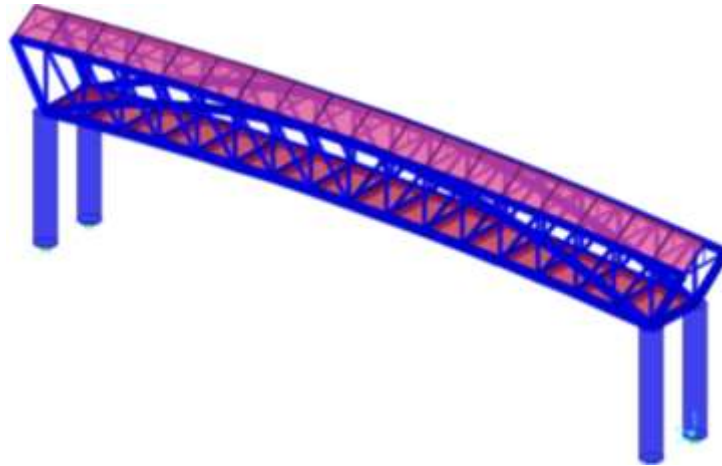
11.2.3 DIMENSIONAMIENTO ESTRUCTURA

Para identificar el diseño óptimo se evaluó bibliografía y se identificaron los aspectos más relevantes para el proyecto. Partiendo del criterio establecido, se identificó un número reducido de tipos de diseño, los cuales fueron analizados y evaluados con mayor precisión. El tipo seleccionado fue la cercha tipo Pratt, identificada como la óptima en el proyecto que nos ocupa como se ve en la Figura 11.15 y en el **ANEXO A** más a detalle



.FUENTE: AUTORES

La estructura principal está conformada por arcos compuestos de unidades en guadua que están arriostrados entre sí por diagonales mediante uniones mecánicas que en conjunto forman una estructura tridimensional

Figura 11.16- Diseño Puente Sap

FUENTE: AUTORES

Para saber si la estructura cumple con la normativa necesaria, primeramente, se analizó los desplazamientos máximos de los elementos del puente, y se compararon con el desplazamiento máximo permitido por la Guía de Especificaciones para Puentes Peatonales AASHTO del 1997 de $L/500$, verificando que no sobrepasen este valor.

$$\Delta_{adm} = \frac{37.50 \text{ m}}{500} = 0,075 \text{ m}$$

Tabla 11.15- Deformaciones Máximas

ELEMENT	X (m)	Y(m)	Z(m)
105	-4.694×10^{-6}	-2.665×10^{-6}	-0.04142
104	-5.142×10^{-4}	-2.621×10^{-6}	-0.04066
213	-4.643×10^{-6}	3.669×10^{-6}	-0.04142
212	-5.141×10^{-4}	3.500×10^{-6}	-0.04066

FUENTE: AUTORES

Una vez corroboradas las deformaciones máximas se procedió a revisar las fuerzas actuantes en el puente, para hallar los esfuerzos actuantes y hacer la comparación con los esfuerzos admisibles, cumpliendo todos **REVISAR ANEXO C**

11.3. ANALISIS DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE LA GUADUA ANGUSTIFOLIA.

11.3.1 PRELIMINARES.

Antes de la realización de los ensayos, se solicitó el material y se transportó desde su punto de venta en Granada-Meta, esta Guadua angustifolia Kunth corresponde al grupo de cultivo de la macarena Meta, perteneciente a la especie “cebolla”, la selección del material la realizaron, los respectivo expertos y oriundos en la zona, que con la experiencia permitieron escoger las mejores cañas inmunizadas con vinagre y con el respectivo curado de inmersión en el agua. Todo esto con el fin de hacer un análisis al material disponible en el departamento del Meta, y determinar que el puente peatonal podría ser construido con este material sin ningún inconveniente. Los ensayos pertinentes para la determinación de las propiedades físicas y mecánicas de la guadua angustifolia, se realizaron según la normativa colombiana la NTC 5525, los cuales dan los parámetros para corte de la mata, longitudes, marcas y número de ensayos.

11.3.2 RECEPCION Y ALMACENAMIENTO.

El despacho se dio desde el municipio de Granada Meta, donde fueron marcadas y cortadas las probetas propias para los ensayos de compresión paralela, compresión perpendicular, tracción paralela y corte paralelo, para esto fue necesario escoger diferentes culmos de guadua que fueron facilitados por el personal, estos culmos fueron examinados de que no tuvieran agrietamientos, fisuras, ni deformaciones en toda la longitud del culmo, y por ultimo fueron cortados con una sierra de disco en diferentes secciones aprovechando cada parte del culmo.

Figura 11.17- Almacenamiento Guadua

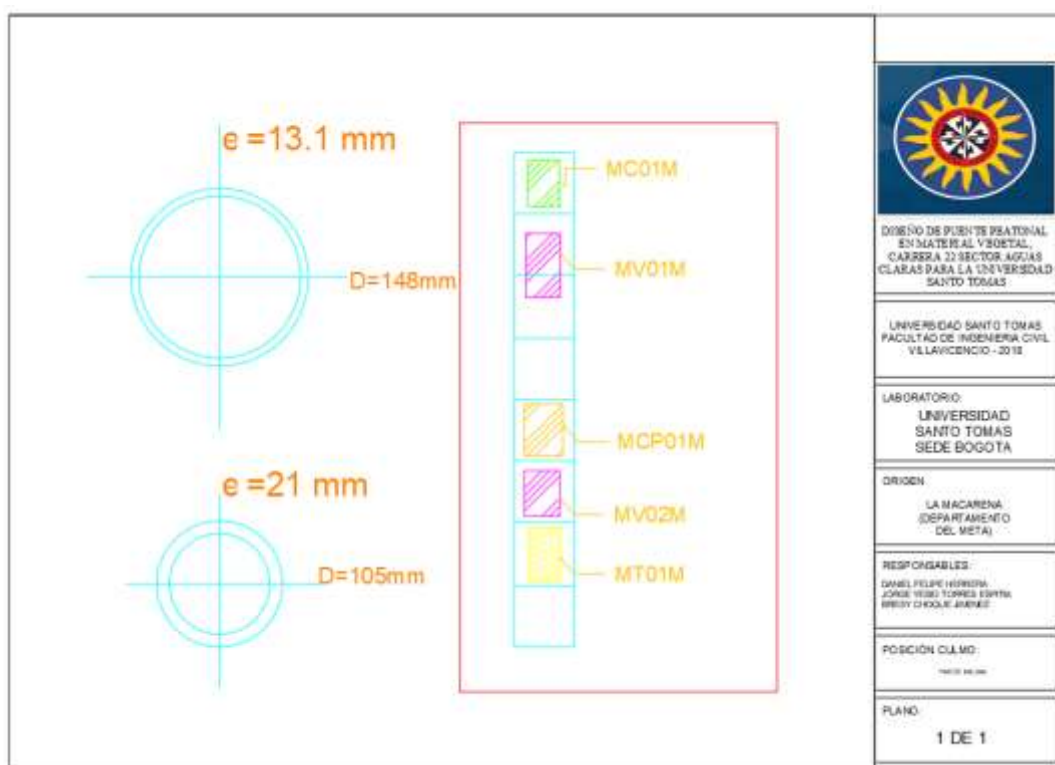


FUENTE: AUTORES

11.3.3 IDENTIFICACION Y CORTE DE LAS PROBETAS.

Con la intención de aprovechar todas las partes del culmo de la guadua, teniendo en cuenta que las guaduas proporcionadas son todas de la parte media del culmo, y son vendidas según su longitud comercial de 6 m, y según la norma NSR-10, para determinar el valor característico es necesario tener un numero de probetas mayor o igual a 20, y así poder determinar el percentil N° 5, por eso es necesario distribuir cada probeta sobre la longitud del culmo antes de ser cortada, identificando las partes donde hay nudo o canuto de la guadua.

Figura 11.18- Composicion Guadua



FUENTE: AUTORES

Estos son los procedimientos que la Norma técnica Colombiana proporciona para la identificación del culmo, el corte y la proporción de la probeta para el respectivo ensayo.

M	CP	1	M
(1)	(2)	(3)	(4)

EN DONDE:

1. Departamento de origen (Departamento del Meta)
2. Solicitación de ensayo.
 - a. Compresión Paralela. (C)
 - b. Compresión Perpendicular. (CP)
 - c. Tracción Paralela (T)
 - d. Corte Paralelo (V)
 - e. Flexión longitudinal (F)
3. Numero de Ensayo.
4. Parte del culmo (Media)

Figura 11.19- Corte De Las Probetas De Guadua



FUENTE: AUTORES

Estos son los procedimientos que la Norma técnica Colombiana proporciona para la identificación del culmo, el corte y la proporción de la probeta para el respectivo ensayo.

11.3.4 METODOLOGIA PARA DETERMINAR LOS ESFUERZOS ADMISIBLES.

Después del corte y el marcado de cada probeta de guadua angustifolia, fue necesario realizar un estado del arte, en donde las normas ayudan a determinar los valores característicos, y así poder determinar los esfuerzos admisibles presentados en la guadua angustifolia proveniente del municipio de la Macarena-Meta.

El procedimiento para los ensayos compresión paralela y tracción paralela, se tomaron de la norma NTC 5525 y la determinación de los esfuerzos admisibles según la norma NSR-10 y la ISO 22156:2004.

Los ensayos de compresión perpendicular, se tomaron de acuerdo con la investigación del proyecto de la Universidad Nacional de Colombia en el año de 2010 denominado “Validación de la *Guadua angustifolia* como material estructural para diseño, por el método de esfuerzos admisibles” auspiciado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia; proyecto que se le da el nombre de Proyecto MADRC.

Los ensayos de compresión paralela y perpendicular fueron realizados en la máquina para ensayos mecánicos a compresión de la marca ELE INTERNATIONAL, con capacidad para 10 toneladas de fuerza suministrada ubicada en la sede de la universidad Santo Tomas de Bogotá, cabe resaltar que la maquina debía tener un corto trayecto para realizar el ensayo de la sollicitación esperada.

Figura 11.20- Equipo Para Ensayos De Compresion



FUENTE: AUTORES

El ensayo a tracción fue realizados en la maquina universal para ensayos mecánicos ubicada en la Universidad Santo Tomas de Bogotá, con capacidad para ensayar diferentes materiales, las probetas fueron ubicadas respectivamente y sus mordazas fueron adecuadas para poder realizar el ensayo a tracción.

Figura 11.21- Ensayo Traccion

FUENTE: AUTORES

Una vez obtenidos los resultados de los ensayos a diferentes solicitaciones, se hizo el correspondiente análisis estadístico a los resultados que arroja el esfuerzo, determinando la varianza, desviación estándar y percentil N° 5 de los datos, para poder hacer la comparativa con otros estudios realizados y así determinar estas características de resistencia, esto con el fin de generar nuevos resultados sobre guadua angustifolia oriunda del departamento del meta, las comparaciones con las normas ISO 22156:2004 y la NSR-10 son el foco fundamental para el desarrollo de este capítulo.

11.3.5 DETERMINACION DE LOS ESFUERZOS ADMISIBLES

Con el correspondiente valor de la fuerza obtenida para fallar cada probeta solicitada por el ensayo, y con los valores de la geometría del material, como diámetro, longitud, espesor de la pared de la probeta de ensayo y número de probeta, se puede hacer la correspondiente recolección de datos y análisis de estos. Una vez determinado el esfuerzo se corresponde al hacer el análisis estadístico y a determinar el valor característico de la solicitación correspondiente (R_{ki}). Este valor corresponde a la ecuación de la norma ISO 22156:2004 “Bamboo Structural Design”. Numeral 7.2.1, la cual también toma la norma colombiana de diseño sismo resistente en su título G capítulo G.12.

$$R_{ki} = R_{0.05i} \left(\frac{1 - 2.7 \left(\frac{s}{m} \right)}{\sqrt{n}} \right)$$

- R_{ki} = valor característico para cada sollicitación
- $R_{0.05i}$ = percentil 5 de los datos para cada ensayo de sollicitación i
- S = desviación estándar de los datos de cada ensayo
- M = promedio de los datos de cada ensayo
- n = número de datos de cada ensayo.
- i = subíndice que indica el tipo de sollicitación mecánica: F para flexión, T para tracción paralela a las fibras, C_p para compresión perpendicular a la fibra, V para cortante paralelo a la fibra y C para compresión paralela a la fibra.

Determinado el valor característico se procede a hallar el esfuerzo admisible según la norma Colombiana de diseño sismo resistente NSR-10 en su título G, capítulo G.12, con la ecuación G.12-7-2 y la tabla para los valores de reducción según la sollicitación mecánica.

$$F_i = \frac{FC}{FS * FCD} f_{ki}$$

- F_i = esfuerzo admisible en la sollicitación i
- F_{ki} = valor característico del esfuerzo en la sollicitación i
- FC = factor de reducción por diferencias entre las condiciones de los ensayos en el laboratorio y las condiciones reales en la aplicación de las cargas en la estructura.
0.5 para ensayos de tracción paralela
0.6 para ensayos de corte paralelo
- FS = factor de seguridad
- FDC = factor de duración de carga
- i = subíndice que indica el tipo de sollicitación mecánica: F para flexión, T para tracción paralela a las fibras, C_p para compresión perpendicular a la fibra, V para cortante paralelo a la fibra y C para compresión paralela a la fibra.

Tabla 11.16- Factores De Sollicitación

Factor	Flexión	Tracción	Compresión	Compresión	Corte
			II	n[⊥]	e
FC	-	0.5	-	-	0.6
F_s	2.0	2.0	1.5	1.8	1.8
FDC	1.5	1.5	1.2	1.2	1.1

FUENTE : NSR-10

Una vez determinando los esfuerzos por la norma NSR-10 es permitible hacer el respectivo análisis de resistencia para los esfuerzos admisibles, en el cual establece

que el contenido de humedad mínimo de la probeta en el laboratorio tiene que ser de 12%, y los esfuerzos admisibles se dan con respecto a este contenido de humedad.

Tabla 11.17- Esfuerzos Admisibles

Fb FLEXION	Ft TRACCION	Fc COMPRESSION II	Fp COMPRISION ⊥	Fv CORTE
15	18	14	1.4	1.2

FUENTE : NSR-10

II = compresion paralela al eje longitudinal.

⊥ = compresion perpendicular a la eje longitudinal.

La norma ISO 22156:2004 determina los esfuerzos admisibles usando un metodo diferente, teniendo en cuenta valores constantes para las diferentes cargas que actuan sobre una estructura de guadua angustifolia, y los determina a travez de la ecuacion 4.2 de la presente norma.

$$\sigma_{adm} = \frac{G * D}{S} R_{ki}$$

- σ_{adm} = esfuerzo admisible para cada sollicitación
- R_{ki} = Valor característico para cada sollicitación
- $G = 0.5$, coeficiente de modificación para la diferencia entre la calidad del laboratorio y la práctica.
- D = coficiente de modificación por duración de carga;
 - 1.00 para carga permanente, carga muerta (M).
 - 1.25 para carga permanente más carga temporal, carga muerta más carga viva (M+V).
 - 1.50 para carga permanente más carga temporal más carga de viento, (M+V+W).
- $S = 2.25$, Factor de seguridad.

11.3.6. ENSAYO DE COMPRESION PARALELA A LA FIBRA.

Para determinar la resistencia ultima y esfuerzo ultimo a compresión paralela a la fibra de la guadua angustifolia proveniente del municipio de la Macarena-Meta. Se hicieron un total de 20 probetas de las cuales todas pertenecen a la parte Media del culmo, la preparación del ensayo se dio siguiendo los parámetros propuestos por la norma Icontec NTC 5525.

Figura 11.22- Ensayo Compresión Paralelo A Las Fibras



FUENTE: AUTORES

Para la realización del ensayo es necesario verificar la disposición de la máquina y en caso de una adecuación del equipo será siempre y cuando no afecte los datos obtenidos y que haga variar la resistencia del material todo esto especificado en la norma Icontec 5525.

Los datos de esfuerzo último son dados con las condiciones geométricas de la probeta como el diámetro externo, el área de la probeta, y la resistencia dada en (KN), expresando en la ecuación 7.1 de la norma técnica colombiana NTC 5525.

$$\sigma_{uc} = \frac{F_{ult}}{A}$$

- σ_{uc} = Esfuerzo ultimo a compresión paralela a la fibra
- F_{ult} = Resistencia ultima a la falla de la probeta de guadua
- A = Área de la sección transversal de la probeta, calculada como:

$$A = \frac{\pi}{4} (D^2 - (D - 2t)^2)$$

Tabla 11.18- Resultados Compresión Paralela

PARTE MEDIA COMPRESION PARALELA						
N° DE PROBET A	DIAMETRO (cm)	AREA (m²)	t(cm)	RESISTENCIA (KN)	σ_{uc} (Pa)	σ_{uc} (MPa)
MP01M	14.8	0.0055	1.3	162.8	29527549.56	29.528
MP02M	14.3	0.0046	1.1	154	33760139.44	33.760
MP03M	14.8	0.0055	1.3	147.8	26806952.24	26.807
MP04M	14.4	0.0050	1.2	149.8	30102791	30.103
MP05M	15.1	0.0048	1.1	142.2	29391990.79	29.392
MP06M	15.3	0.0053	1.2	144.7	27221891.57	27.222
MP07M	14.8	0.0051	1.2	190.3	37116649.11	37.117
MP08M	14.4	0.0054	1.3	181.1	33849630.29	33.850
MP09M	14.6	0.0058	1.4	169.1	29126732.55	29.127
MP10M	14.7	0.0055	1.3	167.1	30533629.15	30.534
MP01M	10.3	0.0039	1.4	148.7	37987704.72	37.988
MP02M	10.5	0.0040	1.4	109.5	27358659.76	27.359
MP03M	10.3	0.0046	1.7	79.2	17243599.85	17.244
MP04M	10.1	0.0043	1.6	106.5	24926472.7	24.926
MP05M	10.3	0.0046	1.7	145.06	31582785.29	31.583
MP06M	10.3	0.0048	1.8	118.6	24674217.32	24.674
MP07M	10.5	0.0045	1.6	127.1	28410945.6	28.411
MP08M	10.4	0.0055	2.1	128.8	23521694.4	23.522
MP09M	10.3	0.0058	2.3	116.7	20188458.54	20.188
MP10M	10.5	0.0055	2.1	113.5	20480823.18	20.481

FUENTE: AUTORES

Los datos del esfuerzo ultimo varían con respecto al diámetro basándose en la mecánica de los materiales, cuanto más área de contacto tenga la fuerza aplicada menor va a ser el esfuerzo, los datos fueron revisados teniendo en cuenta sus unidades, a continuación se presenta un análisis estadístico que se realiza con los datos obtenidos del ensayo.

Figura 11.23- Probeta Fallada Ensayo Compresión Paralelo a Las Fibras



FUENTE: AUTORES

Figura 11.24- Probeta Fallada Ensayo Compresión Paralelo a Las Fibras



FUENTE: AUTORES

La guadua angustifolia es un material el cual no comprende una falla súbita en sus elementos estructurales y solo falla en aspectos locales sobre todo su elemento, se puede evidenciar en las ilustraciones 9 y 10, que la falla se produce longitudinalmente sobre la probeta, según Caori Takehuchi en una conferencia dada en la Universidad Santo tomas, las estructuras en guadua angustifolia tienen un periodo de vida extenso debido a esta teoría.

Para determinar los esfuerzos admisibles, es necesario realizar un análisis estadístico de los datos obtenidos en laboratorio, la tabla 11.19 refleja los resultados obtenidos de los cálculos realizados.

Tabla 11.19- Análisis Estadístico Compresión paralela

COMPRESION PARALELA A LA FIBRA		
DATOS	MEDIO	TOTAL
Nº DE DATOS	20	20.00
PROMEDIO (Mpa)	28.191	28.19
DESVEST (Mpa)	5.406	5.41
COEF VARIACION %	19.175	19.18
PERCENTIL 5 (Mpa)	17.391	17.39
VARIANZA	29.220	29.22

FUENTE: AUTORES

El valor característico R_{ki} se obtuvo con la ecuación descrita en el apartado 11.3.5, del presente documento y las variables son correspondientes a los datos del análisis estadístico, el promedio (Mpa) es el esfuerzo del ensayo de compresión paralela σ_{uc} (MPa), el cual se calculó teniendo en cuenta la fuerza ejercida sobre cada probeta llevada al fallo sobre las propiedades geométricas de cada probeta el valor del percentil N°5 varía de acuerdo al número de datos tenidos en cuenta, y también a la varianza de valores en los datos, a mayor número de datos mayor era el valor característico para el esfuerzo admisible. Estos análisis son obtenidos de la memoria de cálculo en donde se encuentran todos los datos disponibles para realizar los cálculos del promedio, varianza, desviación estándar, coeficiente de variación y percentil N° 5.

Tabla 11.20- Revisión Del Estado Del Arte De Acuerdo Con Las Características Físicas y Mecánicas De La Guadua Angustifolia Kunth

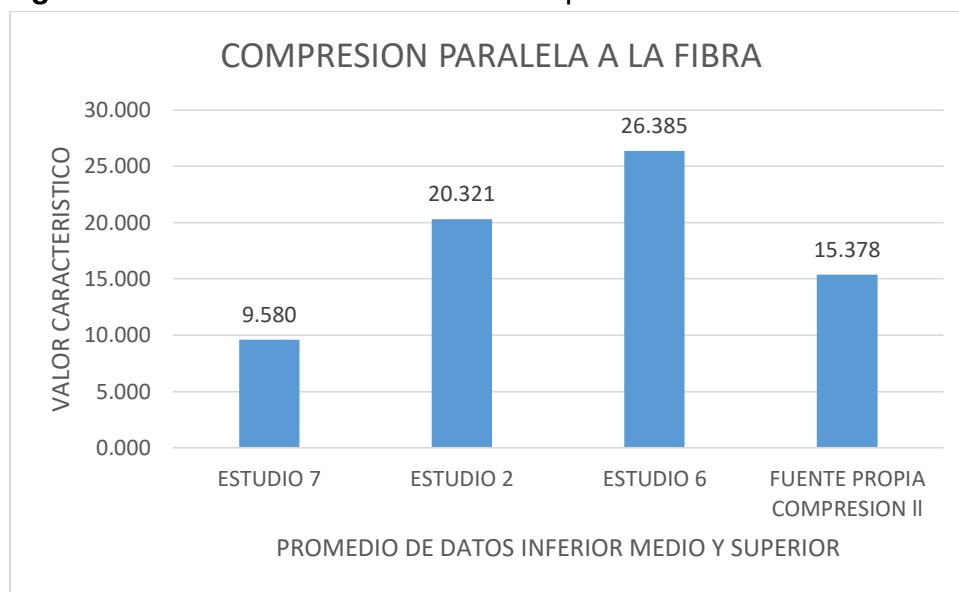
ESTUDIO 2	Análisis de las propiedades mecánicas de la guadua Angustifolia mediante técnicas estadísticas y redes neuronales	Universidad Nacional de Colombia Javier Rojas Alvarado
ESTUDIO 6	Caracterización físico-mecánica de la guadua en el municipio de Guaduas Cundinamarca	Universidad Nacional de Colombia Andrés Garzón Aponte
ESTUDIO 7	Determinación de los valores de esfuerzos admisibles del bambú del departamento del Tolima	Universidad Nacional de Colombia Cesar Ardila Pinilla

FUENTE: AUTORES

Estas investigaciones se tomaron gracias a la cantidad de referencias que tienen sobre las propiedades físicas y mecánicas de la guadua angustifolia, y por los datos de resistencia del material que ofrecen algunos sectores del territorio Colombiano, por tal motivo se realiza una comparación de los datos con respecto a las diferentes localidades.

El valor característico (R_{ki}) es tomado en cuenta según la norma internacional ISO 22156:2004 referenciada en el apartado 11.3.5. Este valor es necesario para determinar los esfuerzos admisibles, la comparación de este valor puede demostrar que la varianza en los datos y la cantidad de datos puede generar diferencia en el valor de los esfuerzos admisibles.

Figura 11.25- Valor Característico Compresión Paralela a Las Fibras



FUENTE: AUTORES

Estos resultados son obtenidos de acuerdo a la fórmula de la norma NSR-10 en el título G-12, mencionada en el apartado 11.3.5 del presente documento, el valor característico es directamente proporcional al número de datos tomados y al percentil (5), el cual su valor depende de los datos que hagan parte del ensayo, el ensayo realizado por esta investigación arroja un resultado correspondiente a 15.378.

El esfuerzo admisible es determinado con la ecuación G, 12-7-2, de la norma NSR-10, la tabla 11.21 del expresa el resultado obtenido en esta investigación de 8.543 (Mpa).

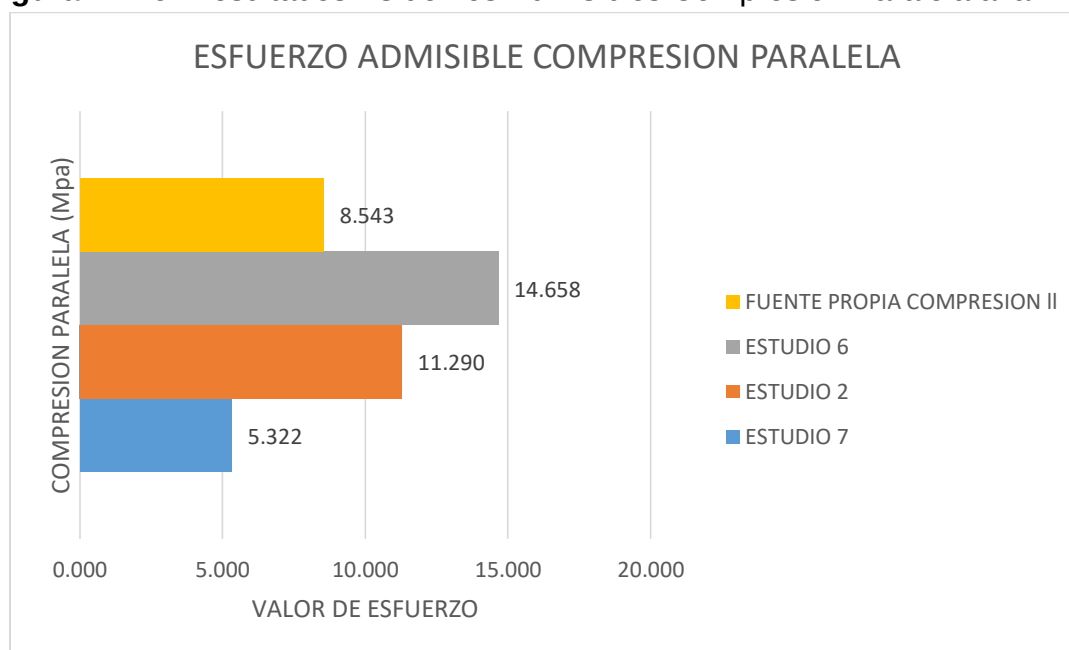
Tabla 11.21- Esfuerzo Admisible Norma NSR-10 TITULO G

	VALOR CARACTERISTICO MEDIO	ESFUERZO ADMISIBLE NSR-10 MEDIO
FUENTE PROPIA COMPRESION II	15.378	8.543

FUENTE: AUTORES

Teniendo en cuenta que este valor es directamente proporcional al valor característico, la norma NSR-10 es insistente en el valor de esfuerzo admisible que debe soportar una probeta de ensayo de guadua angustifolia a compresión paralela siendo de 14 Mpa, este ensayo al ser realizado con probetas de la región del departamento del Meta, cumple con las condiciones impuestas por la NSR-10.

Figura 11.26- Resultados Esfuerzos Admisibles Compresión Paralela a la Fibra



FUENTE: AUTORES

La comparación con otros estudios determina que el material oriundo del departamento del Meta puede ser de gran utilización por su cumplimiento, en los valores de los esfuerzos admisibles, la aplicación de este material al puente peatonal proyectado sobre la carrera 42, garantiza la duración del proyecto.

La Norma ISO 22156:2004 determina los esfuerzos admisibles según las diferentes cargas que afectan a la estructura, como la carga Muerta, carga Viva, y la cargas ejercidas por el viento.

Los parámetros de esta norma internacional, son constantes y varían con respecto a la de la norma Colombiana, la comparación permite establecer la diferencia que existe entre las diferentes normas, aunque la ISO 22156:2004 establece unos parámetros más naturales, la NSR-10 varía con respecto a la solicitud de esfuerzo requerida.

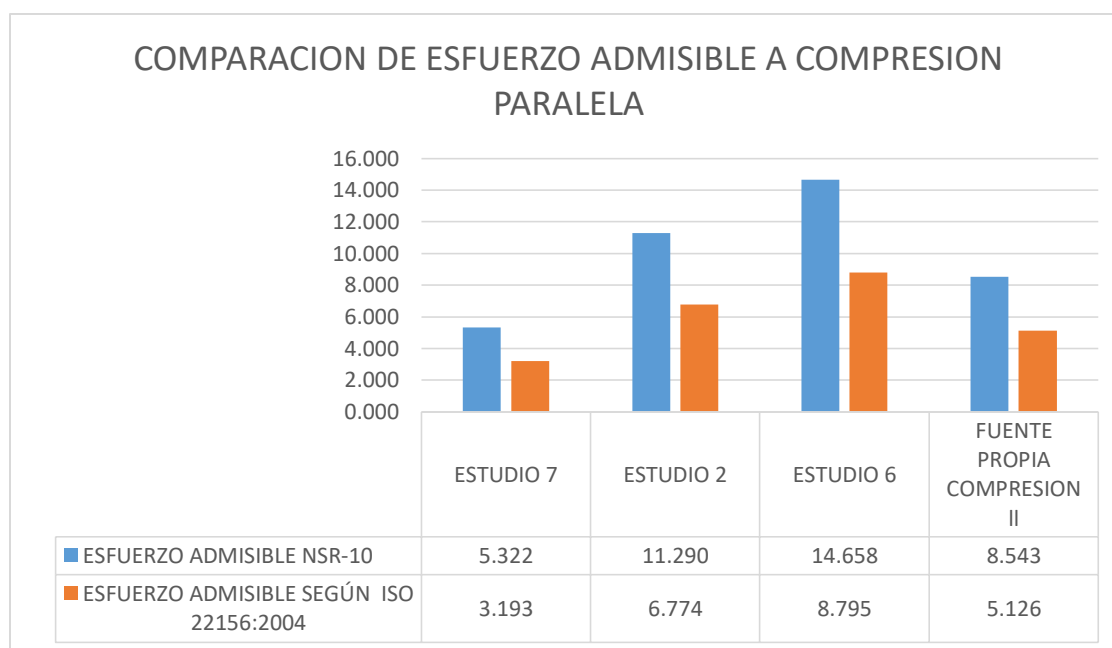
Tabla 11.22- Esfuerzo Admisible Norma ISO 22156:2004

ENSAYO	VALOR CARACTERISTICO	CARGA MUERTA (M)	CARGA MUERTA + VIVA (M+V)	CARGA MUERTA+ VIVA + VIENTO (M+V+W)
COMPRESION PARALELA A LA FIBRA	15.378	3.417	4.272	5.126

FUENTE: AUTORES

Los valores del esfuerzo admisible de la ISO 22156:2004 son tenidos en cuenta con la suma de cargas (M+V+W).

Figura 11.27- Comparación Esfuerzos Admisibles NSR-10 Según Norma ISO 22156:2004



FUENTE: AUTORES

El esfuerzo admisible según la norma internacional, es menor debido a los parámetros usados para su determinación, dado que la norma internacional divide los coeficientes sobre un factor de seguridad de 2.25, lo que ocasiona una reducción en el esfuerzo.

11.3.7. ENSAYO DE COMPRESION PERPENDICULAR A LA FIBRA.

La resistencia de la probeta sometida a compresión perpendicular dada en Kilo Newton (KN) es el parámetro más importante y junto a las composiciones geométricas de la probeta se determina el esfuerzo último a esta solicitud. Según la ecuación 11.1 de la investigación MADR-UNAL, 2010.

$$\sigma_{ucp} = \frac{3XDeXF}{2XLXt^2}$$

En Donde:

De = Diámetro externo de la probeta de guadua.

F = Resistencia obtenida por el ensayo.

L = Longitud promedio de la probeta de guadua.

t = Espesor de la pared de la probeta de guadua.

Figura 11.28- Ensayo Compresión Perpendicular a Las Fibras



FUENTE: AUTORES

Para determinar la resistencia ultima y esfuerzo ultimo a compresión perpendicular a la fibra, de la guadua angustifolia proveniente del municipio de la Macarena-Meta. Se hicieron un total de 20 probetas de las cuales todas pertenecen a la parte Media del culmo, la geometría de las probetas cambia debido al cambio de diámetro con respecto a la longitud total del culmo de guadua, se estableció una longitud promedio de 15 cm, la preparación del ensayo se dio siguiendo los parámetros propuestos por la norma Icontec NTC 5525 y el proyecto MADRC de la universidad Nacional.

Tabla 11.23 Resultados Compresión Perpendicular a la Fibra

N° DE PROBETA	DIAMETRO (cm)	PARTE MEDIA COMPRESION PERPENDICLAR				
		longitud promedio (cm)	espesor de la pared (cm)	RESISTENCIA(KN)	σ_{ucp} (Pa)	σ_{ucp} (Mpa)
MCP01M	14	15	1.3	10.4	85583290.88	86.154
MCP02M	14.5	15	1.1	9.8	116660281.3	117.438
MCP03M	14.8	15	1.3	10.2	88733884.56	89.325
MCP04M	14.5	15	1.2	9.6	97972972.97	96.667
MCP05M	14.6	15	1.1	8.9	108109157.5	107.388
MCP06M	14.8	15	1.2	7.7	78614790.29	79.139
MCP07M	14.9	15	1.2	8.4	85212418.3	86.917
MCP08M	14.7	15	1.3	8.5	71091260.81	73.935
MCP09M	15.3	15	1.4	6.7	51954656.03	52.301
MCP10M	15.2	15	1.3	8.9	78994082.84	80.047
MCP01M	10.4	15	1.4	6.3	49646393.21	33.429
MCP02M	10.4	15	1.4	5.8	45706203.27	30.776
MCP03M	10.3	15	1.7	6.7	35463702.08	23.879
MCP04M	10.3	15	1.6	5.6	33796875	22.531
MCP05M	10.1	15	1.7	5.6	28780785.67	19.571
MCP06M	10.1	15	1.8	5.6	25925925.93	17.457
MCP07M	10.1	15	1.6	5.6	33611181.54	22.094
MCP08M	10.1	15	2.1	6.8	24107888.77	15.574
MCP09M	10.1	15	2.3	5.4	15161792.51	10.310
MCP10M	10.2	15	2.1	5.6	18380862.28	12.952

FUENTE: AUTORES

Los datos del esfuerzo admisible varían con respecto con respecto a las propiedades geométricas de la probeta y la fuerza es aplicada perpendicularmente sobre la fibra va en sentido longitudinal a la probeta, lo que ocasiona un efecto de aplastamiento, la resistencia es baja en comparación con la compresión paralela, según Rojas Alvarado en su estudio académico sobre el Análisis de las propiedades mecánicas de la guadua Angustifolia mediante técnicas estadísticas y redes neuronales, menciona que la determinación de esta propiedad mecánica es muy

importante para el dimensionamiento de elementos en donde hay cargas concentradas y así poder evitar los efectos del aplastamiento por fuerzas perpendiculares.

Figura 11.29- Probeta Fallada Ensayo Compresión Perpendicular a Las Fibras



FUENTE: AUTORES

Figura 11.30- Aplastamiento Debido al Ensayo Por Compresión Perpendicular a Las Fibras



FUENTE: AUTORES

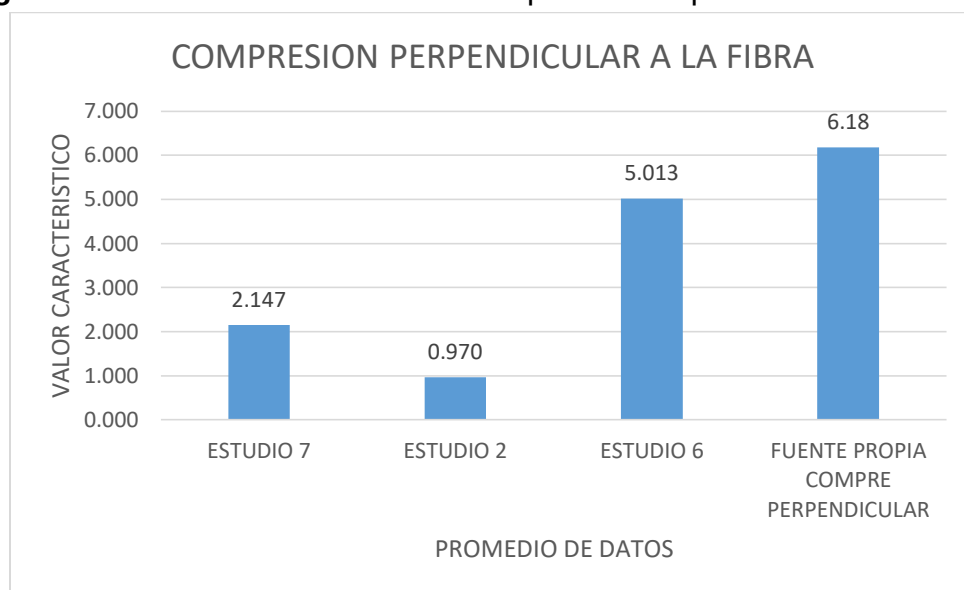
La falla típica a compresión perpendicular, se ve reflejada en fisuras a través de todo el eje longitudinal de la guadua, en donde se ve la falla por aplastamiento, para el fallo total por aplastamiento solo es admisible en ensayos de laboratorio, una estructura en guadua angustifolia, no comprende la falla súbita de sus elementos debido a que un elemento estructural, es comprendido por varios culmos de guadua angustifolia.

Para determinar los esfuerzos admisibles, es necesario realizar un análisis estadístico de los datos obtenidos en laboratorio, la tabla 11.24 refleja los resultados obtenidos de los cálculos realizados.

Tabla 11.24- Análisis Estadístico Compresión Perpendicular

COMPRESION PERPENDICULAR A LA FIBRA		
DATOS	MEDIO	TOTAL
Nº DE DATOS	20	20.00
PROMEDIO (Mpa)	53.894	53.89
DESVEST (Mpa)	36.448	36.45
COEF VAR %	67.628	67.63
PERCENTIL 5 (Mpa)	10.442	10.44
VARIANZA	1328.427	1328.43
FUENTE: AUTORES		

Estos análisis estadísticos son necesarios para la obtención de los esfuerzos admisibles, el promedio (Mpa) es el esfuerzo del ensayo de compresión perpendicular (σ_{ucp}), el cual se calculó teniendo en cuenta la fuerza ejercida sobre cada probeta llevada al fallo por aplastamiento y las propiedades geométricas de cada probeta, el valor del percentil N°5 varía de acuerdo al número de datos tenidos en cuenta, y también a la varianza de valores en los datos, a mayor número de datos mayor era el valor característico para el esfuerzo admisible.

Figura 11.31- Valor Característico Compresión Perpendicular a Las Fibras

FUENTE: AUTORES

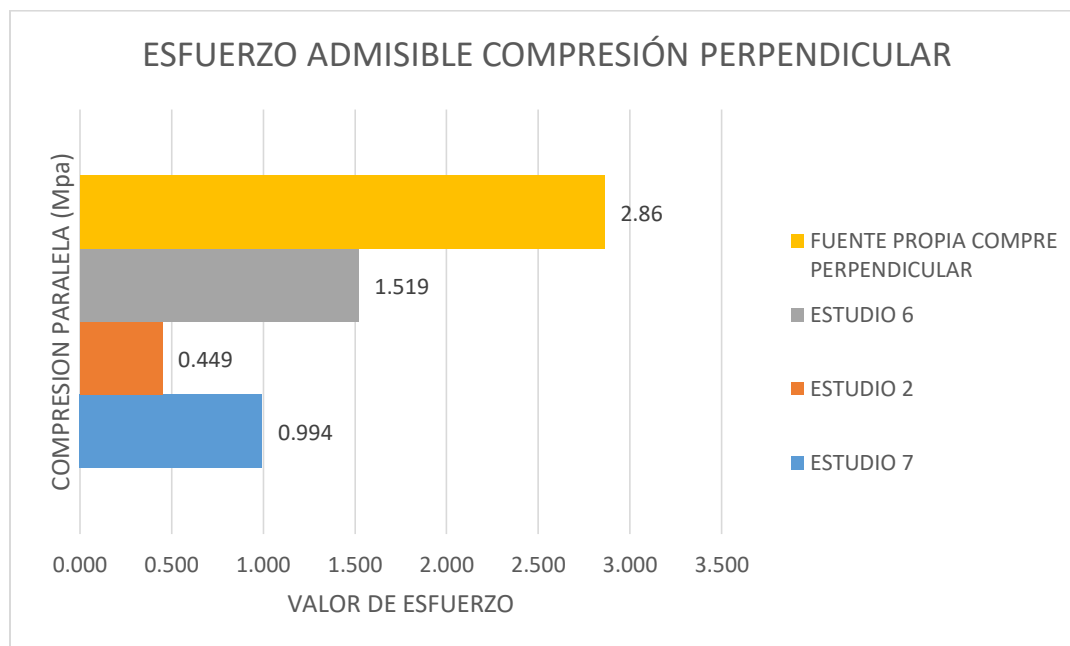
La determinación del valor característico va con respecto a la norma NSR-10 con la ecuación mencionada en el presente capítulo, la determinación del (R_{ki}) es directamente proporcional al número de datos tomados y al percentil (5), el cual su valor depende de los datos que hagan parte del ensayo, el ensayo realizado por esta investigación arroja un resultado más alto con respecto a las otras debido a la resistencia obtenida por las probetas.

Tabla 11.25- Esfuerzo Admisible NSR-10 TITULO G

ENSAYO	VALOR CARACTERISTICO	ESFUERZO ADMISIBLE NSR-10
COMPRESION PERPENDICULAR	MEDIO	MEDIO
	6.18	2.860

FUENTE: AUTORES

Figura 11.32- Resultados Esfuerzos Admisibles Compresión Perpendicular a La Fibra



FUENTE: AUTORES

El esfuerzo admisible se determina con respecto a la ecuación G.12.7-2 de la norma NSR-10, se hace un análisis de acuerdo a los factores de sollicitación para la determinación del esfuerzo admisible, mencionados en la tabla 11.16 del presente capítulo, los cuales son constantes que representan un estado de sollicitación, los resultados obtenidos en esta investigación arrojan un valor de 2.86 Mpa, teniendo en cuenta que este valor es directamente proporcional al valor característico.

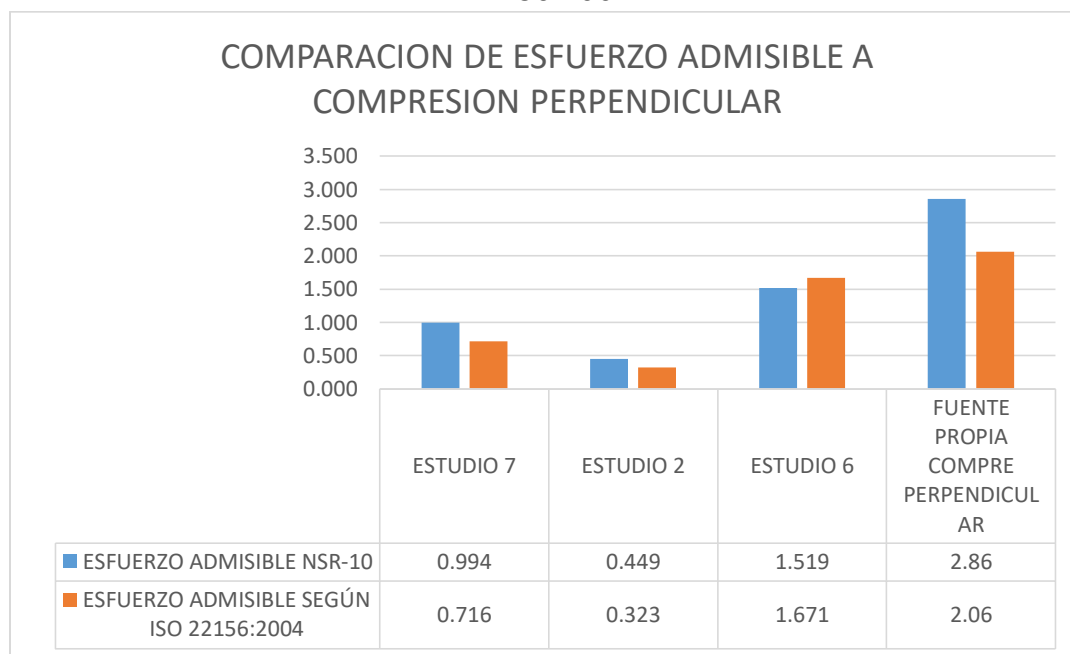
La norma NSR-10 es insistente en el valor de esfuerzo admisible que debe soportar una probeta de ensayo de guadua angustifolia a compresión perpendicular siendo de 1.4 Mpa, este ensayo al ser realizado con probetas de la región del departamento del Meta, aunque no cumple con las condiciones impuestas por la NSR-10, el material se comporta de forma adecuada ante la sollicitación de carga, la resistencia en (KN) a comparación de otros estudios es bastante alta.

La norma internacional relaciona las cargas naturales ejercidas sobre una estructura de guadua angustifolia, comparar el fallo por aplastamiento debido a la compresión perpendicular entre las diferentes normas tanto internacional como colombiana, dan unos resultados aproximados, teniendo en cuenta que las condiciones para determinarlas son totalmente diferentes, la norma colombiana establece unos factores de reducción constantes, la norma internacional establece un factor de seguridad de 2.25.

Tabla 11.26- Esfuerzo Admisible Norma ISO 22156:2004

ENSAYO	VALOR CARACTERISTICO	CARGA MUERTA (M)	CARGA MUERTA + VIVA (M+V)	CARGA MUERTA+ VIVA + VIENTO (M+V+W)
COMPRESION PARALELA A LA FIBRA	6.18	1.373	1.716	2.060

FUENTE: AUTORES

Figura 11.33- Comparación Esfuerzos Admisibles NSR-10 Según Norma ISO 22156:2004

FUENTE: AUTORES

11.3.8. ENYASO DE TRACCION PARALELA A LA FIBRA.

Este ensayo se realizó con 15 probetas extraídas del área longitudinal de diferentes culmos de guadua angustifolia kunth, y siguiendo los parámetros de la normativa NTC-5525, para este ensayo se utilizaron probetas sin nudo en la mitad, cada probeta tenía una longitud de 27 cm, en donde cada extremo tiene un agarre para las mordazas de 7.5 cm, y una sección transversal de 2.5 cm por un ancho igual al espesor de la pared del culmo de guadua.

Figura 11.34- Probetas Ensayo de Tracción Paralela a La Fibra



FUENTE: AUTORES

Para la determinación del esfuerzo último a tracción paralela se determina usando la ecuación 10.1 de la normativa NTC-5525

$$\sigma_{out} = \frac{F_{ult}}{A}$$

Fult = Fuerza a la cual fallo la probeta

A = área de la sección transversal de la probeta.

De los resultados obtenidos se evidencian valores entre 1.0 a 2.0 toneladas de resistencia, el diagrama de carga versus deformación, demuestra la elasticidad que presenta el material, en el momento del ensayo.

Figura 11.35- Ensayo de Tracción Paralela a la Fibra



FUENTE: AUTORES

Tabla 11.27- Resultados Tracción Paralela a La Fibra.

	RESISTENCIA (Ton)	DEFORMACION (mm)
MT01M	1.945	-
MT02M	1.671	-
MT03M	1.998	-
MT04M	1.375	-
MT05M	1.685	-
MT06M	1.641	-
MT07M	2.296	38
MT08M	2.345	52
MT09M	1.795	36
MT10M	2.23	35
MT11M	1.975	35
MT12M	1.527	23
MT13M	1.705	29
MT14M	1.92	29
MT15M	1.402	31

FUENTE: AUTORES

De la anterior tabla se puede concluir que este material tiene una mayor deformación en cuanto más sea la duración de la carga y el valor de esta.

Para la determinación del esfuerzo admisible es necesario verificar las condiciones geométricas de las fibras tomadas para el ensayo, dado que la fuerza de resistencia esta en toneladas, se convirtieron los resultados a (KN) para obtener un valor de esfuerzo en (Mpa)

Tabla 11.28- Resistencia en Toneladas Versus Deformación.

N° DE PROBETA	ANCHO (cm)	t(cm)	AREA (mm ²)	RESISTENCIA(KN)	σ_{ut} (MPa)
MT01M	2.5	1.7	425	19.080	44.89
MT02M	2.5	1.6	400	16.393	40.98
MT03M	2.5	1.7	425	19.600	46.11
MT04M	2.5	1.4	350	13.489	38.53
MT05M	2.5	1.4	350	16.530	47.22
MT06M	2.5	1.3	325	16.098	49.53
MT07M	2.5	1.2	300	22.524	75.07
MT08M	2.5	1.3	325	23.004	70.7
MT09M	2.5	1.4	350	17.609	50.31
MT10M	2.5	1.2	300	21.876	72.9
MT11M	2.5	1.1	275	19.375	70.45
MT12M	2.5	1.2	300	14.980	49.93
MT13M	2.5	1.3	325	16.726	51.46
MT14M	2.5	1.1	275	18.835	68.49
MT15M	2.5	1.3	325	13.754	42.31

FUENTE: AUTORES

Se realizó un análisis estadísticos para la obtención de los esfuerzos admisibles, a partir de los datos anteriores, el promedio (Mpa) es el esfuerzo del ensayo de tracción paralela (σ_{ut}), el cual se calculó teniendo en cuenta la fuerza ejercida sobre cada probeta llevada al fallo por tracción y las propiedades geométricas de cada probeta, el valor del percentil N°5 y la varianza.

Tabla 11.29- Análisis Estadístico Tracción Paralela.

COMPRESION PARALELA A LA FIBRA		
DATOS	MEDIO	TOTAL
N° DE DATOS	15	15.00
PROMEDIO (Mpa)	54.60	54.603
DESVEST (Mpa)	12.96	12.96
COEF VAR %	23.73	23.74
PERCENTIL 5 (Mpa)	38.72	38.72
VARIANZA	167.97	167.97

FUENTE: AUTORES

Tabla 11.30- Esfuerzo Admisible Según NSR-10.

ENSAYO	VALOR CARACTERISTICO	ESFUERZO ADMISIBLE NSR-10
	MEDIO	MEDIO
TRACCION PARALELA	32.31	5.385

FUENTE: AUTORES

El esfuerzo admisible se determina con respecto a la ecuación G.12.7-2 de la norma NSR-10, mencionada en el presente capítulo, se afecta con los factores de sollicitación para la determinación del esfuerzo admisible, mencionados en la tabla 11.16 del presente capítulo, los cuales son constantes que representan un estado de sollicitación, los resultados obtenidos en esta investigación arrojan un valor de 5.38 Mpa, teniendo en cuenta que este valor es directamente proporcional al valor característico.

Tabla 11.31- Esfuerzo Admisible Según ISO 22156:2004

ENSAYO	CARGA MUERTA (M)	CARGA MUERTA + VIVA (M+V)	CARGA MUERTA+ VIVA + VIENTO (M+V+W)
TRACCION PARALELA	MEDIO	MEDIO	MEDIO
	7.181	8.976	10.771

FUENTE: AUTORES

Por último se calculó el esfuerzo admisible según la norma internacional, en este caso se observa que los valores son mucho más altos que la norma colombiana, es necesario establecer y verificar los parámetros de diferencia entre las dos normas.

11.4. ESFUERZOS ADMISIBLES Y COEFICIENTES DE MODIFICACION

Toda estructura en guadua al momento del diseño se ve afectada por coeficientes modificación los cuales sirven para calcular los esfuerzos admisibles que se permiten y así cumplir a con la normativa, en Colombia actualmente se utiliza NSR-10 en su título G estructuras en madera y estructura en guadua allí se encuentran dichos coeficiente con los cuales se realizara un paralelo con su contraparte ecuatoriana Norma ecuatoriana para la construcción en su título estructuras en guadua.

11.4.1 ESFUERZOS ADMISIBLES

Tabla 11.32 Esfuerzos Admisibles (Mpa)

Fb Flexión	Ft Tracción	Fc Compresión	Fp Compresión	Fv Corte
15	18	14	1.4	1.2

FUENTE: NSR-10

Tabla 11.33 Esfuerzos Admisibles (Mpa)

Fb Flexión	Ft Tracción	Fc Compresión	Fp Compresión	Fv Corte
15	19	14	1.4	1.2

FUENTE: NEC

Como se observa en las tablas 11.22 y 11.23 lo único que cambia es el esfuerzo a tracción esto se da porque el factor de seguridad de la norma colombiana es más bajo para la tracción pero no se alejan mucho uno del otro

11.4.2 MODULO DE ELASTICIDAD

Tabla 11.34 Modulo elasticidad (Mpa)

Módulo promedio E_{0.5}	Módulo percentil 5 E_{0.05}	Módulo mínimo E_{min}
9500	7500	4000

FUENTE: NSR-10

Tabla 11.35 Modulo elasticidad (Mpa)

Módulo promedio E_{0.5}	Módulo percentil 5 E_{0.05}	Módulo mínimo E_{min}
12000	7500	4000

FUENTE: NEC

11.5. COEFICIENTES DE MODIFICACION

Al observar los factores de modificación se encontró que tanto para la norma colombiana como para la ecuatoriana se utilizan los mismos factores dando a entender que el proceso del diseño sería casi el mismo por lo que este proyecto puede ser factible en suelo ecuatoriano a continuación se nombrarán y se mostrarán los factores

11.5.1 FACTOR DE REDUCCION

Tabla 11.36 Factores de reducción

Factor	Flexión	Tracción	Compresión	Compresión	Corte
FC	-	0.5	-	-	0.6
F_s	2.0	2.0	1.5	1.8	1.8
FDC	1.5	1.5	1.2	1.2	1.1

FUENTE: NEC / NSR-10

Donde:

Fc: factor de reducción por diferencias entre las condiciones de los ensayos en el laboratorio y las condiciones reales de aplicación de cargas

Fs: factor de seguridad

FDC: factor duración carga

11.5.2 COEFICIENTE DE MODIFICACIÓN POR DURACIÓN DE CARGA

Tabla 11.37- Coeficiente de modificación por duración de carga

Duración De Carga	Flexión	Tracción	Compresión	Compresión	Corte	Carga De Diseño	De
Permanente	0.90	0.90	0.90	0.90	0.9	Muerta	
10 Años	1.00	1.00	1.00	0.90	1.00	Viva	
2 Meses	1.15	1.15	1.15	0.90	1.15	Construcción	
7 Días	1.25	1.25	1.25	0.90	1.25	Construcción	
Diez Minutos	1.60	1.60	1.60	0.90	1.60	Viento Sismo	Y
Impacto	2.00	2.00	2.00	0.90	2.00	Impacto	

FUENTE: NEC / NSR-10

11.5.3 COEFICIENTE DE MODIFICACIÓN POR CONTENIDO DE HUMEDAD

Tabla 11.38- Coeficientes De Modificación Por Contenido De Humedad Cm

ESFUERZOS		CH≤12%	CH≤13%	CH≤14%	CH≤15%	CH≤16%	CH≤17%	CH≤18%	CH≤19%
Flexión	Fb	1.00	0.96	0.91	0.87	0.83	0.79	0.74	0.70
Tracción	Ft	1.00	0.97	0.94	0.91	0.89	0.86	0.83	0.80
Compresión	Fc	1.00	0.96	0.91	0.87	0.83	0.79	0.74	0.70
Compresión	Fp	1.00	0.97	0.94	0.91	0.89	0.86	0.83	0.80
Corte	Fy	1.00	0.97	0.94	0.91	0.89	0.86	0.83	0.80
Módulo Elástico	E0.5	1.00	0.99	0.97	0.96	0.94	0.93	0.91	0.90
	E0.05								
	Emin								

FUENTE: NEC / NSR-10

11.5.4 COEFICIENTES DE MODIFICACION POR TEMPERATURA

Tabla 11.39- Coeficientes De Modificación Por Temperatura (Ct)

Esfuerzos	Condiciones De Servicio	Ct		
		$T \leq 37C$	$37C \leq T \leq 52$	$52C \leq T \leq 65$
Flexión	Húmedo	1.00	0.60	0.40
	SECO		0.85	0.60
Tracción	Húmedo		0.85	0.80
	SECO		0.90	0.80
Compresión	Húmedo		0.65	0.40
	SECO		0.80	0.60
Compresión	Húmedo		0.80	0.50
	SECO		0.90	0.70
Corte	Húmedo		0.65	0.40
	SECO		0.80	0.60
Modulo Elasticidad	Húmedo		0.80	0.80
	SECO		0.90	0.80

FUENTE: NEC / NSR-10

Colombia y Ecuador son uno de los únicos países en Latinoamérica en tener reglamentada el uso de la guadua en estructuras ya que las propiedades de la guadua cultivada en estos territorios se presta para eso, por las similitudes en las características del suelo es que los laboratorios para hallar estas propiedades dan similares y por esta razón es que dan estos factores parecidos.

12. DESCRIPCIÓN DE LOS PRODUCTOS FINALES

A continuación se enumeraran los resultados esperados de cada objetivo y actividades del anteproyecto proporcionando las herramientas o indicadores con los cuales no sería posibles el desarrollo de los objetivos

Tabla 12.1- Resultados Finales

Resultado	Indicador	Objetivo Relacionado
Análisis de los aforos realizados a los peatones	Plantilla	Objetivo específico1
Propiedades mecánicas de la guadua angustifolia	laboratorio	Objetivo específico 2
Correlación de datos para la modificación de los esfuerzos admisibles	Bibliografía	Objetivo específico 4
Análisis estructural y Diseño del puente peatonal en material vegetal	software	Objetivo específico 4

FUENTE: AUTORES

13. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

13.1. CONCLUSIONES

- El puente peatonal no es solo la solución práctica al problema de movilidad que se presenta a las afueras de la Universidad Santo Tomas, sino que es foco de desarrollo para el municipio de Villavicencio, generando conformidad y tranquilidad en sus habitantes. El uso de un material no convencional, un material de composición vegetal y renovable, puede establecer futuros trabajos en donde la guadua angustifolia aporte todos sus atributos mecánicos y físicos, no solo en superestructuras como un puente peatonal, sino en más ámbitos de la ingeniería. Y establecer un diseño de un puente peatonal en material vegetal, puede ser un desarrollo económico de la zona, al realizar estudios del material, se determina que el departamento del Meta cuenta con los productos necesarios para poder construir una superestructura de este tipo en el municipio de Villavicencio.
- La geometría del puente peatonal consistió en una cercha tipo Pratt con dividida en 2 partes iguales para dar una longitud aprox 65m, con una placa de piso elaborada en latas de guadua de 4 cm, una superborad de 1 cm y tabletas de caucho de 2 cm, y una cubierta en teja madrileña a 2 aguas. Se estableció una altura estática de 75 cm.
- El diseño de la superestructura del puente peatonal, se hizo con el método de los esfuerzos admisibles, realizando el pre dimensionamiento de los elementos, el cual es importante para la que las desplazamientos no excedan lo permitido, el desplazamiento máximo encontrado en la estructura se presentó en los elementos 104 y 105, con un valor de 0.000004694m en dirección X, esto se debe a que esta estructura trabaja muy semejante a una viga simplemente apoyada. y los esfuerzos admisibles son los permitidos por la normativa NSR-10, el código colombiano de puentes CCP-14, logra establecer los lineamientos para la determinación de las cargas que afectan la superestructura del puente peatonal, y análisis de estas, afectando con los coeficientes para las combinaciones de carga, el análisis estructural que se elaboró mediante el software SAP200 y el Capítulo G-12 de la NSR-10, se puede concluir que todos los elementos cumplieron con secciones de guadua de 10 cm de diámetro y 1,2 cm de espesor, ya que gran parte de la carga es soportada por los arcos a compresión..

- Se logró observar y analizar las propiedades de la guadua angustifolia kunth oriunda del departamento del Meta, y se obtuvo que es un material el cual se comporta muy bien a las diferentes solicitaciones de carga, soportando hasta 2 toneladas de carga a tracción y a compresión paralela, en donde realizando una comparación con varios estudios e investigaciones, observamos que la guadua angustifolia oriunda del departamento del Meta tiene capacidad de resistencia similares a los de otras regiones, también es importante ver como las normativas mencionadas y referenciadas en la investigación pueden arrojar resultados distintos, aunque el método para determinar el valor característico es el mismo en ambas normas, el esfuerzo admisibles se determina de una forma distinta, La normativa ISO 22156:2004 tiene en cuenta factores de modificación muy diferentes a la Normativa NSR-10, en donde el factor de seguridad y las cargas vivas, muertas y de viento son estándares, con respecto a unos factores, la normativa NSR-10 logra establecer unos factores de modificación con respecto a las diferentes condiciones a la que se puede someter la guadua angustifolia.
- La guadua angustifolia es un material flexible y resistente que en comparación con otros materiales usados para la construcción de puentes peatonales como el acero y concreto, es un material renovable, económico y sostenible, el cual al llevar a cabo los procedimientos necesarios para su uso en la construcción, podría llegar a consolidar una estructura eficiente y duradera, en esta investigación se vio reflejado que la guadua angustifolia logro obtener una resistencia a la tracción paralela de casi dos (2) toneladas, que en comparación con el concreto es muy alta, es por eso que en algunas literaturas e investigaciones la mencionan como el acero vegetal.

13.2. TRABAJOS FUTUROS

La utilización de la guadua como elemento estructural, no solo para puentes peatonales sino para cualquier estructura, puede sentar unas bases para que en un futuro estas construcciones sea más comunes de ver a lo largo y ancho del territorio colombiano.

También el estudio de sus propiedades mecánicas, es un aspecto fundamental para el desarrollo de posibles investigaciones, cabe la posibilidad de poder estudiar la determinación de los esfuerzos admisibles, sin necesidad de que su valor característico sea directamente proporcional al número de datos obtenidos en un ensayo, dado que la guadua puede ser diferente en todos sus tramos de composición del colmo.

14. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] V. Carmiol, “Bambú Guadua en puentes peatonales”, *TEM*, Vol 23, no 1, pp 29-38, marzo 2010.
- [2] J. Stamm, “*Construccion manual with bamboo*”, Colombia, dennamo adise 2014.
- [3] Sura.(2013, Feb 13), Riesgos Transito, [Online]. Available: <https://www.arlsura.com/index.php/173-noticias-riesgos-profesionales/noticias/2598-conductores-pasajeros-y-peatones>.
- [4] Alcaldia Villavicencio.(2017, May 10), Villavicencio mantuvo cifras de reducción de víctimas fatales en accidentes de tránsito,” 2017. [Online]. Available: <http://www.villavicencio.gov.co/NuestraAlcaldia/SalaDePrensa/Paginas/Villavicencio-mantuvo-cifras-de-reducción-de-víctimas-fatales-en-accidentes-de-tránsito.aspx>. [Accessed: 25-Nov-2018].
- [5] E. Salas Delgado, “Actualidad y futuro de la arquitectura de bambú en Colombia,” TDX (Tesis Dr. en Xarxa),Cataluña, Universidad politecnica de cataluña 2008.
- [6] O. Hidalgo, “*Manual de construcción con bambú guadua*“, Colombia, Universidad Nacional de Colombia, 2011.
- [7] J. Ugarte and M. Habusta, “*Bambú el milagro vegetal*”, Costa Rica, AIT, 2011.
- [8] A. Sabogal and E. Giraldo, “*La Guadua una alternativa sostenible*”, Colombia, Universidad Nacional de Colombia, 1999.
- [9] P. Luna, J. Lozano, and C. Takeuchi, “Determinación experimental de valores característicos de resistencia para Guadua angustifolia”, *Maderas. Cienc. y Tecnol.*, vol. 16, no. 20 , pp. 23–40, Junio 2014.
- [10] A. Ministerio de Transporte, INVIAS, AIS, “*Codigo Colombiano puentes, Colombia*”, 2014.
- [11] L. Sandoval, “*Puentes*“, Colombia Universidad Nacional de Colombia, 1986.
- [12] E. Muñoz, “*Ingenieria de Puentes*“, Colombia, Pontificia Universidad Javeriana, 2011.
- [13] IDU, “*Cartilla para puente peatonal prototipo para bogota*“, Bogota, 2009
- [14] AASHTO, *Lrfd Guide Specifications for the Design of Pedestrian Bridges*, vol.

5, no. 31. United States, 2009.

- [15] M. E. Vences, “Diseño Estructural Del Puente Lima Sobre El Canal Vía, Sullana, *Mater y compor*, vol. 13, pp. 168, Jan 2004.
- [16] C. Patricia and T. Tam, “Comportamiento estructural de la guadua angustifolia”, *Cienc y tecn*, vol. 14, pp. 3–7, Jul 2004.
- [17] S. Martinez, “Bambú Como Material Estructural,” Apr 2015.

ANEXOS

ANEXO A

PLANOS PUENTE PEATONAL EN MATERIAL VEGETAL

ANEXO B

MEMORIA DE CALCULO GUADUA ANGUSTIFOLIA

ANEXO C

FUERZAS ACTUANTES

ANEXO D

REPORTE SAP

ANEXO E

MODELO EN SAP

ANEXO F

MEMORIA DISEÑO ESTRUCTURAL INFRAESTRUCTURA Y RAMPAS DE ACCESO (CONSULTORIA NO AUTORIA)