PREDISEÑO DE PUENTE PEATONAL EN GUADUA ANGUSTIFOLIA UBICADO EN LA BARRIO SAN ANTONIO DE SASAIMA, CUNDINAMARCA

JUAN DIEGO COLORADO PELAEZ
JUAN DIEGO URREGO MEDINA

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA AGRARIA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
FACATATIVÁ
2024

PREDISEÑO DE PUENTE PEATONAL EN GUADUA ANGUSTIFOLIA UBICADO EN LA BARRIO SAN ANTONIO DE SASAIMA, CUNDINAMARCA

JUAN DIEGO COLORADO PELAEZ

JUAN DIEGO URREGO MEDINA

Trabajo de grado realizado en el área investigativa aplicada adscrita al programa UNIAGRARIA al campo para optar el título de ingeniero civil

Director

Maria Fernanda Culma Tamara

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA AGRARIA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

FACATATIVÁ

2024

JUAN DIEGO COLORADO PELAEZ

JUAN DIEGO URREGO MEDINA

PREDISEÑO DE PUENTE PEATONAL EN GUADUA ANGUSTIFOLIA UBICADO EN LA BARRIO SAN ANTONIO DE SASAIMA, CUNDINAMARCA

Trabajo de grado realizado en el área investigativa aplicada adscrita al programa UNIAGRARIA al campo como requisito parcial para obtener el título de ingeniero civil del programa de ingeniería civil de la Fundación Universitaria Agraria de Colombia.

APROBADO EL

Nota de aceptación

_____

_____

_____

_____

_____
Presidente del Jurado

_____
Jurado

_____
Jurado

FACATATIVÁ

Juan Diego Colorado Pelaez

Quisiera dedicar este trabajo a mi madre, Gloria Pelaez, por su amor infinito, apoyo incondicional y los innumerables sacrificios que ha hecho por mí. A mi padre, Roberto Colorado, por su constante aliento y confianza en mis capacidades. Su respaldo ha sido crucial para seguir adelante y enfrentar los desafíos con determinación. A mi hermana, Johana Colorado, por su inquebrantable apoyo y ánimo constante. Su presencia ha sido una fuente de fortaleza y motivación a lo largo de todo este proceso. Y a mis familiares, cuyo amor y apoyo han sido invaluables. Cada uno de ustedes ha contribuido a hacer posible este proyecto, y estoy profundamente agradecido por su comprensión y aliento continuo.

Juan Diego Urrego Medina

Dedico este trabajo con todo mi cariño a mi madre, Carolina Medina, y a mis hermanos, Miguel Medina, Susana Medina, Esteban Medina. A mi madre, por su amor incondicional, apoyo constante y sacrificios incalculables. A mis hermanos, por ser mi pilar de apoyo y mis más grandes animadores. Asimismo, dedico esta tesis a mi abuela, Ofelia Cruz, quien ha sido una fuente constante de sabiduría, fortaleza y cariño en mi vida. Este proyecto no habría sido posible sin el amor y el respaldo de mi familia. Gracias por estar siempre a mi lado.

AGRADECIMIENTOS

A la ingeniera Maria Fernanda Culma Tamara. Encargada del proyecto, por su invaluable apoyo y dedicación a lo largo de esta investigación. Su orientación experta en ensayos de guadua.

Al ingeniero Erick Jhoan Acosta Rodriguez. Por su invaluable ayuda y guía durante las etapas iniciales de este proyecto.

A la Universidad Uniagraria por su apoyo durante el desarrollo del proyecto de grado. Agradecemos profundamente el acceso y uso de las instalaciones del laboratorio, las cuales han sido fundamentales para la realización de los experimentos y análisis necesarios para completar el prediseño.

A mis compañeros por su valiosa ayuda y colaboración durante el desarrollo de este proyecto de grado. Apreciamos profundamente las opiniones y sugerencias constructivas que brindaron a lo largo del estudio.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN……..……..13
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y ALCANCE 14
2. OBJETIVOS 18
2.1. OBJETIVO GENERAL 18
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 18
3. JUSTIFICACIÓN 19
4. MARCO CONCEPTUAL Y TEÓRICO 21
4.1. MARCO GEOGRÁFICO 21
4.1.1. Ubicación Geográfica y Extensión. 21
4.1.2. Relieve, Clima y Aspectos Ambientales. 22
4.1.3. Aspectos Socioeconómicos. 23
4.1.4. Infraestructura Vial y Comunicaciones. 25
4.3. MARCO TEÓRICO Y HISTÓRICO 26
4.3.1. LA GUADUA 26
4.3.1.1. Generalidades de la guadua angustifolia. 26
4.3.1.2. Morfología de la guadua. 27
4.3.1.3. Propiedades físico-mecánicas de la guadua angustifolia. 30
4.3.1.4. Métodos de Inmunización de la Guadua. 31
4.3.3. PUENTES PEATONALES 34
4.3.3.1. Importancia y rol de los puentes peatonales. 34
4.3.3.2. Evolución de los puentes peatonales. 36
4.3.3.3. La Guadua como material alternativo en la construcción de puentes peatonales. 39
4.3.3.4. Puentes Peatonales en Guadua en Colombia. 42
4.3.4. MARCO LEGAL 50
4.3.4.1. Normativas para diseño de Puentes Peatonales. 50
4.3.4.2. Reglamentos para Laboratorios y Ensayos de Guadua. 51
5. METODOLOGÍA 53

6. DESARROLLO DE LA PROPUESTA 55
6.1. PREFACTIBILIDAD DEL PROYECTO 55
6.1.1. Ubicación del proyecto. 55
6.1.2. Registro fotográfico de la estructura actual. 56
6.1.3. Dimensionamiento de la estructura existente. 62
6.1.4. Evaluación del estado estructural actual del puente peatonal. 64
6.1.5. Condiciones del suelo en la ubicación del proyecto. 65
6.2. ENSAYOS DE LABORATORIO DE LA GUADUA ANGUSTIFOLIA. 66
6.2.1. Proceso de extracción de guadua angustifolia para muestras de laboratorio. 67
6.2.2. Ensayo a compresión. 75
6.2.3. Ensayo a flexión 78
6.4. DESARROLLO DISEÑO PARA EL NUEVO PUENTE 84
6.5. MODELAMIENTO EN SAP 2000 90
6.6. DISEÑO ARQUITECTÓNICO EN AUTOCAK 98
7. ANÁLISIS DE RESULTADOS 99
7.1. RESULTADOS LABORATORIO DE COMPRESIÓN 99
7.2. ANÁLISIS ENSAYO DE FLEXIÓN 102
7.4. RESULTADOS SAP 2000 103
8. CONCLUSIONES 105
9. RECOMENDACIONES 107
10. BIBLIOGRAFÍA 108
11. ANEXO 1. Carta de solicitud por parte de la comunidad expresando la necesidad. 113
12. ANEXO 2. Registro fotográfico muestras de laboratorio. 115
15. ANEXO 3. Graficas de Esfuerso vs Deformacion arrojadas por la maquina universal de laboratorios en los ensayos a flexion. 118
16. ANEXO 4. Resultados del Ensayo a Flexión de la Guadua en Excel 120
17. Anexo 5: Cálculos para el Avalúo de Cargas en Excel 121
19. ANEXO 6. Diseños arquitectónicos del puente peatonal. 122
20. Anexo 7. Modelamiento en SAP2000 126

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Dimensionamiento de la Estructura Existente……..…..62
Tabla 2: Datos obtenidos del ensayo a compresión…….77
Tabla 3: Datos de las muestras……82
Tabla 4: Caracterización de materiales……...83
Tabla 5: Datos generales de algunas estructuras…….84
Tabla 6: Datos esfuerzo ultimo a la compresión……100

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Puente peatonal actual del barrio San Antonio…….18

Figura 2: Distribución Geográfica y División Político-Administrativa del Municipio de Sasaima……..……21

Figura 3: Guadua angustifolia…….25

Figura 4: Partes de la guadua……..28

Figura 5: Vista interna puente peatonal Jenny Garzón ……...38

Figura 6: El Puente de Guadua Arnulfo Briceño…….42

Figura 7: El Guaducto de la UTP…….43

Figura 8: Puente peatonal en Santa Fe de Antioquia……...44

Figura 9: Puente en bambú del Colegio Liceo Francés……...45

Figura 10: Puente en Tierradentro, Cauca……...46

Figura 11: Puente en Mulaló, Valle del Cauca…….47

Figura 12: Puente Jenny Garzón en Engativá, Bogotá…….48

Figura 13: Puente en Santo Domingo, Medellín…….49

Figura 14: Fases del proyecto…….53

Figura 15: Ubicación del puente peatonal actual…….54

Figura 16: Vista general del puente peatonal……..55

Figura 17: Estado del tablero del puente peatonal……...56

Figura 18: Vista inferior del puente peatonal……..57

Figura 19: Estado de las columnas o soportes del puente peatonal……..57

Figura 20: Estado de la cercha del puente peatonal…….58

Figura 21: Estado de las columnas o soportes del puente peatonal……..59

Figura 22: Medición de la luz del puente……....60

Figura 23: Medición del ancho y largo de las placas de concreto del tablero……...60

Figura 24: Medición del espesor de las placas de concreto…….61

Figura 25: Mapa de la zona de extracción de Guadua Angustifolia…….67

Figura 26: Guadua seleccionada para la extracción de muestras…….68

Figura 27: Corte de guadua realizado por encima del primer nudo basal……....70

Figura 28: Refinamiento del corte del nudo basal para prevenir el estancamiento de agua…….71

Figura 29: Proceso de limpieza de la guadua: antes y después del descapote……..72

Figura 30: Muestras de guadua preparadas para los ensayos de laboratorio: compresión, humedad y flexión…….73

Figura 31: Diagrama sobre las medidas de las muestras para ensayo de compresión……..75

Figura 32: Muestra colocada en la máquina de compresión……76

Figura 33: Disposición de las muestras de guadua antes del ensayo de flexión……..…79

Figura 34: Proceso de posicionamiento y ensayo de flexión en la Máquina Universal de Ensayos……..80

Figura 35: Medición de la distancia de la falla en la muestra después del ensayo de flexión……...81

Figura 36: Dimensiones preliminares para la creación de la grilla……..90

Figura 37: Características físicas de la guadua……...91

Figura 38: Dimensiones de la guadua…….92

Figura 39: Datos área de cubierta……92

Figura 40: Trazado del puente peatonal……..93

Figura 41: Asignación de restricciones……...……94

Figura 42: Asignación de carga viva para las losas…….94

Figura 43: Asignación patrones de carga……95

Figura 44: Resultado análisis SAP 2000…….96

Figura 45: Vista general del diseño arquitectónico…….97

Figura 46: Deformaciones presentadas por las cargas……..103

GLOSARIO

ENSAYO DE FLEXION: Es un método para determinar la resistencia a la flexión de un material.

NODO: Se refiere a las secciones transversales en el tallo donde se produce un engrosamiento dividiendo la guadua en secciones.

PILAR: Es una estructura ubicada de forma vertical que se encarga de transmitir las cargas del puente al suelo.

TABLERO: Parte del puente por la cual caminan los peatones.

DEFORMACION: Es el cambio de forma bajo una carga que presenta un material en especifico este puede ser plástico o no plástico

CIMENTACION: Estructura subterránea que se encarga de sostener los pilares del puente y transmiten las cargas al suelo.

ZAPATA: estructura de cimentación que se encarga de distribuir las cargas del puente a una mayor área del suelo.

RESUMEN

El presente proyecto de grado tiene como objetivo el prediseño estructural de un puente peatonal ubicado en Sasaima Cundinamarca favoreciendo a la comunidad del sector. Se implementa como material principal la guadua angustifolia, la cual presenta diferentes características físicas que la hacen adecuada para su uso estructural. Para llevar a cabo este prediseño se planteó una metodología cuantitativa comenzado con la investigación y aplicación de las normas relacionadas a puentes peatonales y guadua como: NSR-10 capitulo G, NTC 5525, entre otras. Otra fase encontrada en la metodología es la realización de distintos laboratorios para determinar algunas propiedades de la guadua tales como tensión, humedad, compresión y flexión. Con estos resultados se espera realizar la modelación y algunos chequeos de la estructura para determinar que este en óptimas condiciones respecto a la normativa vigente.

PALABRAS CLAVE: Cargas, guadua angustifolia, ensayos físico-mecánicos, Modelamiento.

INTRODUCCIÓN

En muchas regiones rurales de Colombia, los puentes peatonales, siguen siendo una necesidad urgente debido la escasez de estos en las zonas rurales y al mal mantenimiento que se les ha hecho a los puentes ya construidos. En este contexto, el diseño de un puente peatonal es indispensable como también el cuidado al medio ambiente por esto se plantea la utilización de guadua como material principal de la estructura. La guadua, es conocida por su alta resistencia y bajo impacto ambiental, se presenta como una alternativa viable frente a los materiales convencionales como el concreto, la mampostería, metal y entre otros.

En Colombia, la guadua ha sido utilizada históricamente en la construcción de diversas estructuras, desde viviendas hasta puentes con el fin de presentar nuevas ideas innovadores que desplacen el uso de materiales convenciones.

Este trabajo explica cómo va a hacer el prediseño del puente peatonal ubicado en Sasaima-Cundinamarca, también por medio de las diferentes requisitos estructurales y normativas es posible dar algunas recomendaciones dependiendo de los resultados obtenidos.

El informe busca no solo abordar las necesidades estructurales de la comunidad de Sasaima más específicamente en el barrio San Antonio, sino también fomentar el uso de materiales sostenibles y promover un desarrollo más accesible.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y ALCANCE

Los puentes peatonales desempeñan un papel fundamental en la conectividad y la seguridad de las comunidades, teniendo gran influencia en áreas rurales y semirrurales. En estas zonas, infraestructuras como estas facilitan el acceso a servicios esenciales como la educación, la salud y el comercio, lo cual es crucial para el desarrollo socioeconómico. "A lo largo y ancho del mundo, cuatro de cada cinco personas que se enfrentan a condiciones de extrema pobreza viven en entornos rurales" (Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas, DAES, 2021). Según el Banco Mundial (2024), aproximadamente mil millones de personas viven en áreas rurales donde la infraestructura de transporte es deficiente. Esta falta de accesibilidad adecuada limita gravemente las oportunidades de desarrollo y calidad de vida de estas poblaciones y los vincula inextricablemente a la pobreza. En regiones como África, más específicamente en el país de Marruecos, las alternativas de transporte sostenible, entre las cuales entran los puentes peatonales, han demostrado mejorar significativamente la movilidad y reducir los tiempos de desplazamiento para actividades esenciales como asistir a la escuela o acceder a mercados locales. Este fenómeno se respalda con datos concretos; por ejemplo, en esta nación, la matriculación de las niñas en la escuela primaria aumentó del 17 % al 54 % cuando se mejoraron los caminos.

En América Latina, la infraestructura de transporte en áreas rurales y semirrurales aún enfrenta desafíos significativos. Aunque se han logrado avances en la infraestructura urbana, muchas áreas rurales carecen de accesibilidad adecuada, afectando negativamente a millones de personas que residen en zonas remotas. El Banco Interamericano de Desarrollo (2021) destaca que la inversión en infraestructura rural como carreteras y puentes tiene un impacto multiplicador en el desarrollo económico y la reducción de la pobreza. Por ejemplo, "En Lima, las personas que

viven en los distritos más pobres podrán acceder a 100,000 empleos adicionales gracias a una nueva línea de metro" (Banco Mundial, 2024).

En Colombia, la infraestructura de transporte en zonas rurales y semirrurales presenta desafíos particulares. Según Ivarsson, Canon y Maties (2023), a pesar del notable crecimiento económico y los avances en el desarrollo en las últimas dos décadas, Colombia sigue siendo uno de los países con mayor desigualdad en el mundo. Existen significativas brechas entre los principales centros urbanos y las vastas regiones rurales, que representan el 88 % del territorio del país. Estas áreas rurales, aunque tienen un enorme potencial para el desarrollo, enfrentan desafíos sistémicos importantes como el deficiente estado de las carreteras y puentes, lo que dificulta la conectividad y el acceso entre comunidades. Por otro lado, se estima que 10.6 millones de colombianos viven con baja accesibilidad a servicios básicos, estando a más de 60 minutos de distancia de centros de atención médica, educativos y servicios públicos. De esta población, el 63.6 % se concentra en departamentos rurales.

En el municipio de Sasaima, Cundinamarca, específicamente en el barrio San Antonio, existe una problemática que afecta a toda la comunidad del sector. El puente peatonal local que cruza el río Dulce se encuentra deteriorado e inoperante debido a las severas condiciones climáticas experimentadas durante la temporada de lluvias. La constante exposición a intensas precipitaciones y el aumento considerable del río debilitó los materiales y comprometió la integridad de la construcción. Este puente es vital para la comunidad, ya que conecta al barrio y población aledaña, como la vereda Mesetas, con la escuela local y con la parte urbana del pueblo. La problemática del puente peatonal en San Antonio también se origina por la falta de mantenimiento y la ausencia de una infraestructura alternativa adecuada, lo que ha exacerbado su

deterioro. Adicionalmente, la carencia de recursos y planes adecuados para el mantenimiento y renovación de infraestructuras críticas ha contribuido a la persistencia de este problema.

Por otro lado, el deterioro del puente ha obligado a los residentes, incluidos los niños que asisten a la escuela, a utilizar rutas alternativas más largas y difíciles, lo que aumenta el tiempo y la dificultad del desplazamiento. La falta de acceso eficiente a la parte urbana central y comercial del pueblo dificulta a los afectados acceder a servicios esenciales, impactando en su bienestar y productividad, además de limitar las oportunidades económicas y el desarrollo de la comunidad. Por otra parte, a pesar de la prohibición del uso del puente, algunas personas continúan transitándolo, exponiéndose a situaciones de inseguridad y al riesgo de accidentes debido a su condición inestable.

En respuesta a esta problemática, el presente proyecto propone el prediseño de un puente peatonal que se ubicará en donde se encuentra el actual, es decir, en el barrio San Antonio de Sasaima, Cundinamarca. Para el diseño del puente peatonal se optará por utilizar materiales no convencionales, como la guadua, que ha demostrado ser un material estructural óptimo y sostenible. La guadua no solo ofrece ventajas mecánicas y de resistencia, sino que también es favorable para el medio ambiente, alineándose con los principios de sostenibilidad y desarrollo regional promovidos por Uniagraria.

Este proyecto se enfoca en mejorar significativamente la calidad de vida de la comunidad. Al proporcionar una infraestructura segura y confiable, el nuevo puente permitirá a la comunidad moverse eficientemente entre la zona rural o semirrural y la urbana. El proyecto también representa un aporte significativo al desarrollo regional, al mejorar la infraestructura de transporte local y promover el bienestar de la comunidad. Contribuirá a la reducción de la pobreza y el aislamiento, fortaleciendo la cohesión social y fomentando el crecimiento económico a largo plazo. La

implementación de este puente peatonal transformará positivamente la vida cotidiana de los residentes del barrio San Antonio y sus alrededores, sirviendo como un modelo de desarrollo sostenible adaptado a las necesidades locales.

2. OBJETIVOS

2.1.OBJETIVO GENERAL

Realizar un prediseño del puente peatonal en guadua (Angustifolia) ubicado en el barrio San Antonio en el municipio de Sasaima.

2.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estimar las dimensiones preliminares del puente con base en un análisis de cargas teniendo en cuenta el cumplimiento de la normativa.
- Realizar la modelación en SAP 2000 contemplando las cargas de diseño y dimensiones para poder obtener un análisis detallado de la estructura
- Desarrollar ensayos de flexión y compresión en guadua siguiendo la norma NTC 5525, con el propósito de correlacionar los resultados obtenidos con los datos de referencia de la misma norma para evaluar la aplicabilidad de la guadua de la zona en usos estructurales.

3. JUSTIFICACIÓN

En la comunidad de Sasaima Cundinamarca más exactamente en el barrio San Antonio se encuentra un puente peatonal que debido a diversas condiciones climáticas de la zona se ha visto afectado gravemente en su infraestructura y ya no se permite el paso peatonal por el mismo, en la figura 1 se observa el puente mencionado. Dicha problemática ha perjudicado a la comunidad del barrio por distintas razones, entre las cuales se tiene que el puente es una vía que comunica con un colegio, también se comunica con la parte urbana del pueblo por lo tanto obliga a la comunidad a tomar otras rutas de tránsito que les llevaran más tiempo, otra razón es que aunque se ha prohibido el paso por el puente hay ciertas personas de la comunidad que siguen transitándolo generando inseguridad y posibles accidentes por su condición inestable.

Figura 1

Puente peatonal actual del barrio San Antonio



Nota. Elaboración propia.

A causa de las situaciones anteriores se optó por realizar un prediseño de un puente peatonal, con el fin de garantizar la seguridad de la comunidad al transitar por el puente, lograr que los niños puedan trasladarse adecuadamente y fácil al colegio, mejorar la calidad de vida de la comunidad y fomentar el desarrollo comunitario. La ejecución de dicho proyecto impactara de manera positiva en la cotidianidad de las personas en el barrio y contribuir al bienestar general de la zona.

Para este caso se realizará el prediseño del puente peatonal teniendo en cuenta que por debajo de dicho puente cruza un rio. También aplicando los principios institucionales de Uniagraria se optó por trabajar con materiales no convencionales. Según Sánchez y Mojica (como se citó en Linares. 2019):

> La función de cualquier material como elemento estructural exige fundamentalmente el conocimiento y propiedades físicas y mecánicas, con el fin de conocer la resistencia y la capacidad del material. Para ser un elemento óptimo de construcción debe presentar características que sean capaces de resistir diferentes cargas a la estructura que será sometida. (p. 42)

Teniendo en cuenta lo anterior se eligió la guadua como material principal ya que es óptima y posee las características adecuadas para utilizar en la zona. La guadua es un material innovador y posee notables ventajas en la construcción como para el ambiente.

4. MARCO CONCEPTUAL Y TEÓRICO

4.1.MARCO GEOGRÁFICO

4.1.1. Ubicación Geográfica y Extensión.

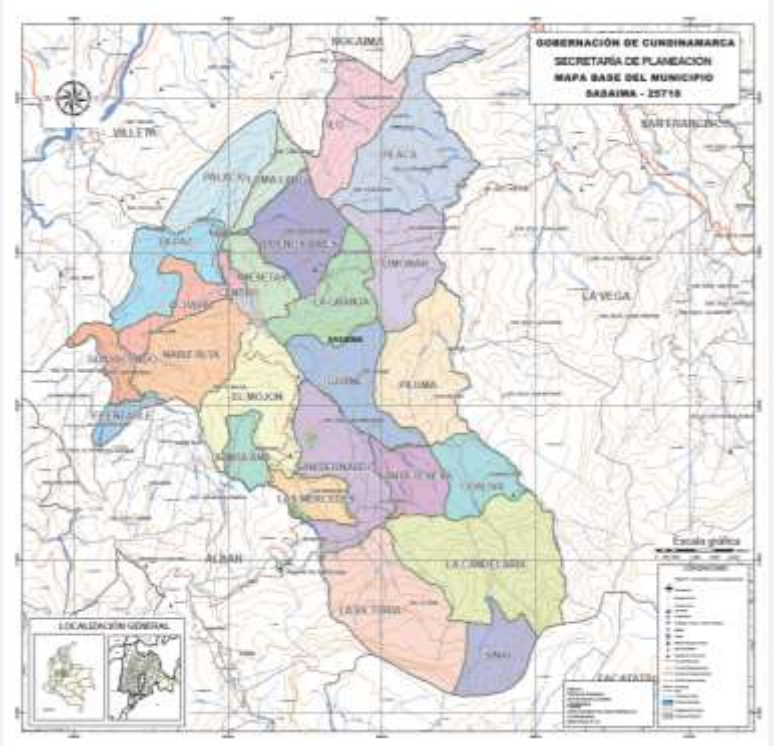
Sasaima es un municipio situado en el departamento de Cundinamarca, Colombia. Se encuentra ubicado en la región central del país, aproximadamente a 90 kilómetros al noroeste de Bogotá. Según Escobar (2018), como se menciona en el Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres:

> El municipio de Sasaima está ubicado sobre la zona noroccidental del Departamento de Cundinamarca. Pertenece a la Provincia del Gualivá, Situada al Noroeste de Bogotá. Su cabecera municipal se ubica a los 04º 58' 53" de latitud norte y 74º 26' 13" de longitud oeste. Tiene una superficie de 140 Km^2. Su altitud oscila entre los 850 y 1.950 msnm (p. 14).

Por otro lado, Según el Plan de Desarrollo de Sasaima 2024-2027, el municipio se encuentra en el piso térmico templado y abarca las cuencas de los ríos Dulce, Gualivá y Namay. Limita con los municipios de Villeta, Nocaima, La Vega, Facatativá y Albán, y su territorio, con una extensión de aproximadamente 111 km^2, está dividido en 24 veredas y varios barrios en la zona urbana. En la Figura 2 se presenta un mapa del municipio, donde se evidencia esta distribución geográfica.

Figura 2

Distribución Geográfica y División Político-Administrativa del Municipio de Sasaima



Nota. El mapa muestra la ubicación de las 24 veredas y los barrios del casco urbano de Sasaima, destacando su extensión territorial y límites geográficos con los municipios vecinos. Tomado del *Plan de Desarrollo de Sasaima 2024-2027* (p. 16), elaborado bajo la dirección de Luz Patricia Camelo Urrego. Alcaldesa.

4.1.2. Relieve, Clima y Aspectos Ambientales.

El municipio de Sasaima se caracteriza por una topografía variada, con accidentes orográficos como los cerros de La Nariz Alta, Guásimo, La Cruz, Viajal, La Morena, Las Peñas del Aserradero y El Alto del Águila. Los cuales configuran el paisaje y tienen un impacto directo

en el clima local, que mantiene una temperatura media aproximada de 22°C, característica del piso térmico templado en el que se encuentra Sasaima (Alcaldía Municipal de Sasaima, 2024).

En términos de suelos, Sasaima presenta suelos con un clima medio húmedo y muy húmedo. Estos suelos se distinguen por su alto contenido de materia orgánica y su casi neutralidad en pH, lo que los convierte en una base crucial para diversas actividades productivas, como el cultivo de caña panelera y café, así como para la construcción de infraestructura vial (Escobar, 2018).

El Plan de Desarrollo de Sasaima 2024-2027 también destaca la importancia de la protección y conservación del patrimonio natural del municipio. Bajo el enfoque "Sasaima Verde y Sostenible", se han planteado estrategias para enfrentar las deficiencias actuales, como la falta de un Esquema de Ordenamiento Territorial actualizado. Entre las medidas propuestas se encuentran la mejora de la accesibilidad al agua potable en áreas rurales y la implementación de prácticas que fomenten una relación equilibrada con el entorno natural. Esto incluye acciones como el reciclaje, la separación en la fuente, la reforestación con especies nativas y la adopción de prácticas agroecológicas (Alcaldía Municipal de Sasaima, 2024).

4.1.3. Aspectos Socioeconómicos.

Este municipio está ubicado en la cuenca del río Negro y su componente socioeconómico se impulsa a través de una comunidad que aprovecha los recursos naturales para su beneficio. La construcción de infraestructuras, la provisión de servicios y las actividades productivas son fundamentales para mejorar la calidad de vida de sus habitantes (Escobar, 2018).

Sasaima presenta una estructura económica basada en una combinación de ingresos tributarios y transferencias gubernamentales. Los ingresos más relevantes para el municipio incluyen el Impuesto Predial Unificado, el Impuesto de Industria y Comercio, la sobretasa a la gasolina y las estampillas. El Impuesto Predial Unificado, que se aplica sobre el valor de los bienes inmuebles, es crucial para financiar proyectos de infraestructura y servicios públicos esenciales. Este impuesto representa una parte sustancial de los ingresos municipales y permite el desarrollo de iniciativas locales (Plan de Desarrollo de Sasaima, 2024).

El Impuesto de Industria y Comercio, que grava las actividades económicas dentro del municipio, contribuye significativamente al presupuesto local. Este impuesto fomenta un entorno empresarial activo, impulsando el desarrollo económico de la región. La sobretasa a la gasolina, adicional al precio de venta del combustible, se utiliza principalmente para el mantenimiento y mejora de la red vial y el transporte público, garantizando una movilidad eficiente y segura para los ciudadanos (Plan de Desarrollo de Sasaima, 2024).

Las estampillas, impuestos aplicados a documentos oficiales y transacciones específicas, generan ingresos que financian diversos programas sociales, educativos y de salud, contribuyendo al bienestar general de la comunidad. Sin embargo, el municipio también depende en gran medida de las transferencias del Sistema General de Participaciones (SGP). Estas transferencias, provenientes del gobierno central, son esenciales para financiar sectores clave como la educación, la salud y el agua potable y saneamiento básico. Las transferencias del SGP permiten a Sasaima cumplir con sus obligaciones en estos sectores y mejorar la calidad de vida en la región (Plan de Desarrollo de Sasaima, 2024).

4.1.4. Infraestructura Vial y Comunicaciones.

Sasaima cuenta con una infraestructura vial que conecta el municipio principalmente con la capital del país y con otros municipios de la región, facilitando el transporte de bienes y personas. Las principales vías de comunicación incluyen la carretera que une Sasaima con Bogotá, la cual es fundamental para el desarrollo económico del municipio, ya que permite el transporte de productos agrícolas y otros bienes hacia mercados más amplios. Además, esta vía facilita el acceso a servicios en la capital, lo que es crucial para los residentes.

Otra ruta importante es la carretera que conecta a Sasaima con Villeta, sirviendo como enlace con otros municipios de Cundinamarca y como vía de acceso a la región del Gualivá, una zona de gran importancia turística y agrícola. Estas carreteras, aunque en general se encuentran en condiciones adecuadas, presentan desafíos en términos de mantenimiento y ampliación, especialmente durante la temporada de lluvias, cuando los deslizamientos de tierra pueden afectar la transitabilidad.

4.3.MARCO TEÓRICO Y HISTÓRICO

4.3.1. LA GUADUA

4.3.1.1. Generalidades de la guadua angustifolia.

La guadua es una variedad de bambú leñoso perteneciente a las familias de las gramíneas de la cual se encuentra en América 500 clases, de estas tan solo 20 hacen parte de las especies prioritarias de bambú de las cuales Colombia cuenta con una especie que se caracteriza por poseer las mejores propiedades físico-mecánicas del mundo y extraordinaria durabilidad: La Guadua angustifolia. Esta especie cuenta con incontables propiedades que la hacen ideal para diferentes campos, entre esos la construcción, contando además con ventajas como su sostenibilidad gracias a su auto multiplicación vegetativa y su alta velocidad de crecimiento, creciendo aproximadamente 11 cm por día y alcanzando su altura total de casi 30 m de altura en un tiempo de hasta 6 meses, esto en la región cafetera (Girón y Ibáñez, 2013).

Figura 3

Guadua angustifolia



Nota. La imagen muestra la guadua angustifolia en estado natural. Fuente: Girón y Ibáñez, (2013).

Según Guerrero (como se citó en Jaramillo et al, 2022) afirma hablando de la guadua angustifolia que:

> Guadua is globally recognized for its physical characteristics due to the fact that it has specimens up to 30 meters high and 20 centimeters in diameter; and for its resistance to bending and compression, where it can have typical values in compression between 400 and 600 kg/cm2; However, these physical mechanical properties present a considerable variation in their characteristic values due to cultivation factors [La guadua es reconocida mundialmente por sus características físicas debido a que cuenta con ejemplares de hasta 30 metros de altura y 20 centímetros de diámetro; y por su resistencia a la flexión y a la compresión, donde puede tener valores típicos en compresión entre 400 y 600 kg/cm^2; Sin embargo, estas propiedades físico-mecánicas presentan una variación considerable en sus valores característicos debido a factores de cultivo] (p. 742).

Por otro lado, un estudio realizado por Echezuría (2018) que busca una alternativa para construcciones y el existente déficit habitacional en Venezuela, plantea que la cadena de producción de la guadua destaca su rentabilidad individual en cada eslabón, lo que ofrece una oportunidad única para invertir en áreas de la cadena que requieran una inversión inicial limitada. Esto no solo garantizaría la estabilidad económica de las familias que explotan a los guaduales, sino que también crearía un mercado atractivo para posibles inversores.

4.3.1.2.Morfología de la guadua.

Las partes de la guadua son fundamentales para su adecuado aprovechamiento y manejo en procesos constructivos. A continuación, se describen las principales partes de la guadua angustifolia:

- Raíces**:** El sistema radicular está compuesto por raíces adventicias y fibrosas, además de los rizomas, que son modificaciones del tallo. Este sistema es fuerte y abundante, y de la activación de las yemas se generan nuevos rizomas y, por lo tanto, nuevos tallos.
- Culmo o Tallo**:** El culmo emerge del suelo con su máximo diámetro y puede alcanzar una altura de entre 18 y 22 metros en su etapa adulta. Es leñoso, recto, y ligeramente arqueado en la punta, formado por nudos y entrenudos huecos.
- Culmo: Se refiere al eje aéreo segmentado que está formado por nudos y entrenudos.
- Hojas caulinares: Son hojas modificadas de forma triangular, que cubren y protegen el culmo durante los primeros seis meses de su desarrollo.
- Renuevo: Es el nuevo individuo que emerge del suelo, producto de la propagación vegetativa, y que está cubierto por hojas caulinares.
- Nudos: Las partes sólidas del culmo, ubicadas entre los entrenudos, que aportan rigidez y resistencia estructural.
- Entrenudos: Segmentos huecos entre los nudos del culmo, cuya longitud varía y es crucial para la flexibilidad de la guadua.
- Culmo: Se refiere al eje aéreo segmentado que está formado por nudos y entrenudos.
- Socola: Es la labor silvicultural que consiste en eliminar vegetación herbácea y otros elementos que impidan la circulación dentro del rodal.
- Pubescencia: Se refiere a la presencia de pequeños pelos o vellosidad en la guadua.
- Hojas de Follaje: Son hojas lanceoladas, alternas y simples, ubicadas en las ramas. Varían en longitud entre 8 y 20 cm, y en ancho entre 1.5 y 3.5 cm.
- Flores: Las inflorescencias aparecen aproximadamente cada 6 meses en panículas pequeñas en los extremos de las ramas. Son poco vistosas, de color rosado claro.

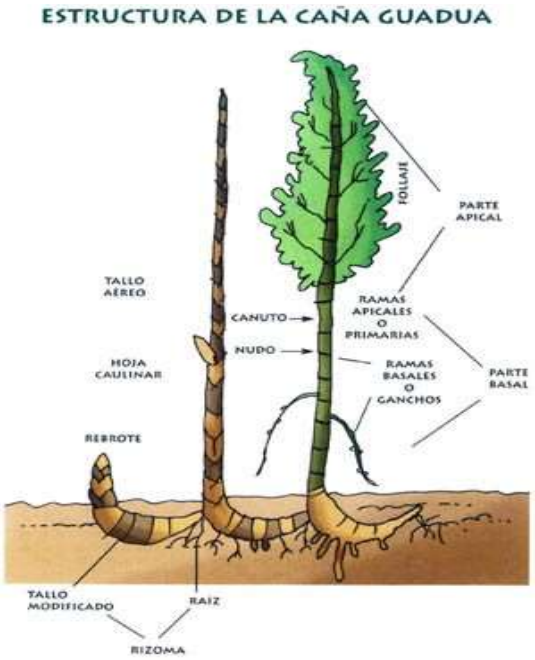
- Semillas y Yemas: Las semillas son espigas que se encuentran en los extremos de las ramas, similares a granos de arroz. Las yemas se localizan en tallos, ramas y rizomas, lo que facilita la propagación vegetativa de la planta.

(NTC 5300 - Cosecha y Postcosecha del Culmo de Guadua Angustifolia Kunth, 2004; Construcciones en Guadua, 2017).

La guadua, una planta versátil y resistente, es fundamental en la construcción de diversas estructuras debido a sus características estructurales únicas. Cada una de sus partes, desde las raíces hasta las yemas, contribuye a su funcionalidad y durabilidad, lo que la convierte en un recurso valioso en la arquitectura sostenible. En la figura 4, se pueden observar las partes de la guadua, destacando su estructura segmentada y sus elementos clave.

Figura 4

Partes de la guadua



Nota. Tomado de *Construcciones en Guadua*, 2017, https://construccionenguadua.wordpress.com/2017/05/18/primera-entrada-de-blog/.

4.3.1.3.Propiedades físico-mecánicas de la guadua angustifolia.

La guadua angustifolia es ampliamente valorada en la construcción y en diversas aplicaciones estructurales debido a sus destacadas propiedades físicomecánicas. Estas propiedades determinan su comportamiento bajo diversas cargas y condiciones ambientales, lo que resulta crucial para su selección y uso en proyectos arquitectónicos y de ingeniería. Comprender estas características permite a los diseñadores y constructores optimizar su uso, garantizando la seguridad y durabilidad de las estructuras construidas con este material. En este apartado se analizan las propiedades físicas y mecánicas más relevantes de la guadua angustifolia, destacando su resistencia y otras características esenciales para su aplicación en la construcción sostenible.

La guadua angustifolia es reconocida internacionalmente como una de las especies de bambú más valiosas, debido a su rápido crecimiento, alta productividad y características físicas que la hacen ideal para aplicaciones en la construcción sostenible y otras industrias. Su resistencia y versatilidad la destacan en un mercado global donde la demanda por materiales ecológicos y duraderos está en constante crecimiento (Rincón, 2024).

Además, las propiedades físicas de la guadua angustifolia pueden variar dependiendo de factores geográficos y ambientales, como la altitud, las condiciones de humedad, los patrones de lluvia y la duración de la exposición solar. Entre estas propiedades, destaca su capacidad de absorción y liberación de humedad, un fenómeno conocido como hidroscopia, lo cual influye directamente en su comportamiento estructural y en su aplicabilidad en diferentes contextos (Rincón, 2024).

Por otro lado, además de las propiedades físicas, es fundamental abordar también las propiedades mecánicas de la guadua angustifolia, las cuales son clave para su utilización en la

construcción y otras aplicaciones industriales. Según lo descrito por Hidalgo López (1974), la guadua, por su resistencia excepcional, se posiciona como un material de alta eficiencia estructural. En la zona del entrenudo, la resistencia a la tracción alcanza un máximo de 325 MPa, con un mínimo de 183 MPa, mientras que, en la zona del nudo, esta resistencia varía entre 348 MPa como máximo y 127 MPa como mínimo. El promedio máximo de resistencia en el entrenudo es de 264 MPa, y en los nudos es de 229 MPa. Además, el módulo de elasticidad máximo a la tracción es de 31,640 MPa, y el mínimo es de 14,062 MPa, lo que demuestra una notable capacidad de deformación antes de romperse. Respecto a la resistencia a la compresión, la guadua presenta un valor máximo de 86 MPa y un mínimo de 56 MPa, con un módulo de elasticidad a la compresión que varía entre 19,900 MPa y 15,187 MPa. Estas características la hacen adecuada para soportar cargas considerables sin comprometer su integridad. En cuanto a la resistencia a la flexión, los valores alcanzan un máximo de 276 MPa y un mínimo de 76 MPa, con un módulo de elasticidad máximo de 22,000 MPa y mínimo de 10,547 MPa. Finalmente, las fibras de la capa externa del tallo muestran una resistencia a la flexión de 253 MPa y una resistencia a la tracción que varía entre 309 y 330 MPa, mientras que la capa interna ofrece una resistencia a la flexión de 95 MPa y a la tracción de 148 a 162 MPa.

4.3.1.4. Métodos de Inmunización de la Guadua.

El bambú Guadua, durante el proceso de secado o en construcciones, es susceptible al ataque de termitas, polillas, hongos y otras plagas que pueden dañar sus fibras. Por esta razón, es esencial someter la guadua a un tratamiento de curado, cuyo objetivo es reducir el contenido de almidón y humedad de los tallos. Este tratamiento se combina con procesos químicos que hacen la guadua más duradera y menos propensa al ataque de plagas y a la intemperie. A continuación,

se presentan los métodos de inmunización más relevantes, de acuerdo con la Norma Técnica Colombiana NTC 5301.

- Tratamiento Natural.

El avinagrado consiste en cortar la Guadua angustifolia y dejarla en el sitio de corte, bajo sombra, durante al menos dos semanas para que ocurra un avinagramiento natural. Por otro lado, la inmersión en agua implica cortar la guadua y sumergirla completamente en agua dulce o salina durante un período mínimo de dos semanas.

- Inmersión en Soluciones.

Este método requiere de un recipiente con el preservante, en el cual se sumerge el material a tratar. Se pueden perforar los culmos de dos formas: longitudinalmente, perforando el diafragma de los nudos con una broca o varilla de 12,7 mm (1/2 de pulgada) a 15,8 mm (5/8 de pulgada) de diámetro, o transversalmente, haciendo dos perforaciones en cada canuto con una broca de diámetro máximo de 6,35 mm (1/4 de pulgada) cerca del nudo y de forma inclinada, evitando la continuidad en el sentido longitudinal de la fibra. La concentración de la solución preservante debe verificarse antes de cada uso.

- Difusión Vertical.

En este proceso, la guadua se coloca en posición vertical y se perforan todos los diafragmas o nudos, excepto el último inferior. El preservante se añade por la parte superior y se mantiene durante dos semanas. Luego, se perfora el último diafragma para extraer y reutilizar la solución preservante.

- Desplazamiento de Savia (Boucherie Modificado).

Este método utiliza equipo de inyección a presión, un recipiente para el preservante y boquillas flexibles. Mediante presión, se inyecta el preservante y se desplaza la savia del culmo. Se trabaja con culmos frescos o recién cortados, y se verifica la absorción del preservante usando tinturas inocuas en distintas secciones del culmo.

- Tratamiento Correctivo por Aspersión.

Este tratamiento se emplea en productos finales que han sido atacados por insectos. Se utiliza equipo como jeringas, fumigadoras o compresores para introducir el preservante al interior del canuto. En construcciones, se perforan los entrenudos del culmo perpendicularmente con una broca de 6,35 mm (1/4 de pulgada) en espiral para facilitar la penetración del preservante. Se recomienda sellar las perforaciones tras el tratamiento para evitar la evaporación rápida del preservante, y realizar un seguimiento para verificar la efectividad del proceso.

4.3.3. PUENTES PEATONALES

4.3.3.1. Importancia y rol de los puentes peatonales.

Un puente peatonal es una estructura exclusivamente destinada al tránsito de personas, excluyendo cualquier tipo de vehículo motorizado como automóviles, motocicletas, camiones o trenes. Estos puentes están diseñados para soportar cargas ligeras y, por lo tanto, se prohíbe terminantemente el acceso de vehículos a motor. En cuanto a las bicicletas, su autorización para transitar por estos puentes varía según las especificaciones de cada uno.

Los puentes peatonales son elementos fundamentales de la planificación de la estructura urbana. Las funciones que desempeñan van desde proporcionar una forma segura de cruzar carreteras, vías, autopistas, vías férreas, obstáculos físicos, como un río, etc., evitando accidentes, contribuyendo a la reducción de la congestión del tránsito en estas infraestructuras viales y disminuyendo considerablemente el tiempo de los peatones a la hora de trasladarse de un punto de la ciudad a otro. Según Bejarano y Daza (2017), "los puentes peatonales son una estructura primordial para la movilidad de los transeúntes, son de vital importancia en las vías con mayor demanda de tráfico, por ello es importante conservarlos en buen estado para que su funcionamiento no sea interrumpido" (p.16). Sin embargo, a pesar de su indiscutible utilidad, los puentes peatonales también presentan desafíos y problemas.

Uno de los principales problemas es la exclusión y segregación en estas estructuras, es decir, la no contemplación de personas con discapacidades físicas o movilidad reducida a la hora de diseñar o construir estos puentes peatonales, y que encuentran difícil o imposible utilizar estos puentes debido a la falta de estructuras como rampas adecuadas o ascensores. Otro problema, según lo indicado por Andrade et al. (2020), es "que los puentes peatonales favorecen la velocidad

y facilitan el traslado de los automóviles sin garantizar la seguridad, movilidad y accesibilidad de las y los peatones" (p. 11). Además, de problemas como los altos costos de construcción y mantenimiento.

Hablando de los puentes peatonales en general. Cullen et al. (s.f.) afirma que: "Pedestrian structures function at the small end of the bridge scale for size and cost, but they often make a large-scale contribution to visual interest at the user level and to technical complexity at the engineering level" [Las estructuras peatonales funcionan en el extremo pequeño de la escala de puentes por tamaño y costo, pero a menudo hacen una contribución a gran escala al interés visual a nivel de usuario y a la complejidad técnica a nivel de ingeniería].

La construcción de puentes peatonales en guadua emerge como una opción atractiva para la solución de estos problemas, ya que estos diseños combinan a la perfección eficiencia, sostenibilidad y estética. La guadua es una de las plantas nativas más representativas de los bosques andinos, encontrándose en gran extensión del territorio colombiano, utilizada generalmente para construcciones en gran parte de la región de Latinoamérica. Castiblanco y Torres (2020) señalan que la guadua cuenta con "extraordinarias cualidades físicas, forma, peso liviano y propiedades estructurales que no solo superan a las de la mayoría de las maderas, sino que además pueden ser comparadas con las de acero y algunas fibras de alta tecnología" (p. 27). Gracias a esto, la guadua ha ganado gran popularidad en el mercado de la construcción. Además, es un material de muy bajo costo en comparación con otros materiales y es sostenible a largo plazo.

Actualmente en el campo de los puentes peatonales se centra en el aspecto de sostenibilidad ambiental, sin dejar de lado claro está la seguridad y eficiencia. Debido al creciente interés del hombre por la conservación del medio ambiente y la conciencia ambiental, se desarrolló la necesidad de buscar prácticas de construcción más amenas con el medio ambiente. El uso de la

guadua en la construcción de puentes peatonales representa una alternativa innovadora, ecológica, económica y llamativa.

4.3.3.2. Evolución de los puentes peatonales.

Los puentes se han utilizado como cruces de agua durante siglos, ya sea para cruzar un río, un arroyo o masas de agua más grandes, siendo esta la razón más común para su construcción. Los puentes peatonales suelen ser mucho más pequeños que los puentes diseñados para el tráfico vehicular; sin embargo, siguen cumpliendo la misma función, es decir, conectar dos puntos. Lo anterior es importante para comprender el origen de los puentes y entender que, gracias a estos limitadores naturales, el hombre tuvo que ingeniar maneras de cruzarlos, como lo menciona Espinosa et al. (2015) "El inicio de los puentes se presenta en la época de la prehistoria, donde el hombre ante la necesidad de cruzar un río une sus dos orillas por medio de un árbol, creando de esta manera una simulación de puente" (p. 8). Pero el problema era que estos tipos de puentes rudimentarios o pasos provisionales no tenían gran resistencia y generaban muchos accidentes. De tal manera que se generó la necesidad de la introducción de nuevos materiales y diseños que brindaran la característica de resistencia y se emplearon materiales como la roca. Espinosa et al. (2015) refiere que:

> Con la llegada del imperio romano se crea el puente en forma de arco, una innovación en cuanto a diseño arquitectónico; en lo referente a materiales se mantenía la utilización de la piedra como material resistente añadiéndole cemento. Después de la era romana se deja de lado el cemento para dar paso a la utilización del ladrillo y el mortero. (p. 8)

Siglos después, con la llegada de la Revolución Industrial y la introducción de los ferrocarriles, la construcción de puentes se convirtió en una necesidad crucial. Los trenes requieren trayectorias rectas siempre que sea posible. Si un río atraviesa su ruta, la única solución es erigir un puente lo suficientemente resistente para soportar el peso de un tren. Siendo el hierro el material en auge de ese entonces, se comenzó a implementar en estas construcciones, lo que trajo consigo el crecimiento de los puentes metálicos. Lamentablemente, el hierro es un material que no contaba con la resistencia elástica para las cargas que se le aplicaban, dando paso así a un nuevo material, el cual contaba con un alto límite elástico y permitía la construcción de puentes con mayor longitud, es decir, el acero. De esta manera, se inició una aceleración en la construcción e innovación de estas estructuras, llegando hasta lo que se conoce hoy en día (Espinosa et al. 2015).

En la actualidad, la construcción de puentes peatonales está en constante evolución, priorizando la sostenibilidad y la integración con la naturaleza. La utilización de materiales como la guadua ejemplifica esta tendencia, combinando tradición e innovación para crear estructuras seguras, estéticas y respetuosas con el medio ambiente.

El desarrollo de los puentes peatonales tiene sus raíces en la segunda mitad del siglo pasado. Este período fue testigo de un marcado incremento en la producción y la difusión masiva de automóviles, lo que generó un aumento significativo en el tráfico de vehículos motorizados dentro de las ciudades. Como resultado, se hizo evidente la necesidad de proporcionar vías seguras y accesibles para los peatones, separadas del flujo de vehículos, dando lugar al surgimiento de los puentes peatonales como solución a este desafío urbano emergente. En China se encuentra un puente peatonal único. Según Pérez y Gardey:

> El Lingzidi. Su construcción finalizó en 2012 y permitió a los vecinos del pueblo homónimo cruzar el río con facilidad para llevar a cabo sus tareas domésticas y laborales.

> Si bien se trata de una estructura pequeña, es de gran importancia para la economía local. (párr. 9)

De esta manera, se pone de manifiesto cómo la utilidad primigenia de esta edificación (cruzar ríos) perdura en la sociedad contemporánea, demostrando su vigencia y adaptabilidad a lo largo del tiempo.

El Instituto de Desarrollo Urbano (IDU, 2014) Determino que según "Los datos, extraídos de los documentos técnicos de las consultorías, y verificados mediante visitas de campo, que en Bogotá existen en total 350 puentes peatonales (párr. 2). Uno de los puentes peatonales más representativos de la ciudad de Bogotá es el puente peatonal de la calle 82 Jenny Garzón o común mente conocido como puente de guadua (vea figura 5), debido a que su estructura está conformada en mayor parte por elementos de guadua, marcando un rumbo hacia la sostenibilidad ambiental de la ciudad.

Figura 5

Vista interna puente peatonal Jenny Garzón



Nota. La figura muestra el diseño y arquitectura interna de puente peatonal Jenny Garzón. Fuente: Arias (como se citó en Flórez, 2020).

4.3.3.3. La Guadua como material alternativo en la construcción de puentes peatonales.

Jaramillo et al (2022) realizaron un estudio descriptivo de la guadua enfocado en la utilización de esta planta como material alternativo en la construcción de puentes peatonales motivados por la creciente necesidad de utilizar materiales que requieran un menor consumo de energía y tengan una menor carga contaminante. Al evaluar toda la información teórica recopilada llegaron a la conclusión de que la guadua es un material que estructuralmente se comporta de manera adecuada y que además es una alternativa sustentable y ecológica capas de remplazar los materiales tradicionales en la construcción, asimismo impone un nuevo estilo en la arquitectura.

También determinaron que Colombia es el segundo País de latino América en diversidad de especies de bambú lo que hace pertinente comenzar a incluir el uso de este material con mayor frecuencia en el diseño urbano de las ciudades.

De igual manera según el análisis de Castiblanco y Torres (2020) La guadua angustifolia kunth es un material que puede usarse en construcción, pero al ser expuesto a la intemperie sufre diversos daños en su estructura, lo que reduce su durabilidad a través del tiempo, siendo de gran importancia la preservación para alargar su vida útil, determinaron que algunos métodos de preservación utilizan aditivos químicos que tienen un impacto negativo en el medio ambiente. Por lo tanto, evaluaron el método de inmersión en acido de bórax como uno de los más prácticos y accesibles en términos de costos, eficiencia, menor impacto en el medio ambiente y, sobre todo, sin daño en la salud humana. Después de este proceso mencionado, las muestras de guadua inmunizadas demostraron una resistencia significativamente alta en comparación con las muestras en su estado natural, y no mostraron ninguna coloración extraña ante los rayos UV en el montaje realizado.

Daza y Bejarano (2017), en su trabajo de grado basado en la inspección visual de los puentes peatonales de la localidad de Engativá, en Bogotá, Colombia, con el fin de corroborar el estado de las estructuras, Determinaron que las patologías mecánicas tienen mayor relevancia gracias a que por medio de estas se pueden identificar singularidades asociadas a los procesos constructivos y a la durabilidad de la estructura. Además, llegaron a la conclusión de que los puentes peatonales son de gran ayuda para la seguridad de los usuarios respecto a los peligros que generan los vehículos, por esta razón es prudente tener presente siempre los procesos predictivos, preventivos y correctivos, pues en caso de una falla, se podría actuar de una manera más presurosa.

En otro orden de cosas, como se mencionaba anterior mente una de las alternativas económicas y ecológicas para este tipo de estructuras son los puentes peatonales en guadua, uno de los puentes en guadua más importantes de la ciudad de Bogotá, Colombia, es el puente Jenny Garzón en la Calle 80. Parra y Preciado (2018), hicieron un estudio sobre los daños estructurales que tenía este en ese entonces, del cual se pueden inferir numerosos aspectos importantes a la hora de diseñar y construir un puente en guadua, como que es importante que las cargas permanentes en la estructuras no sean de gran magnitud ya que como se nombre en el proyecto los daños se debieron al exceso de carga con la teja de barro y el recubrimiento del tablero ya que pesaban cerca de 70 toneladas, otro aspecto a tener en cuenta es que es importante inmunizar el material de guadua para aumentar su vida útil, en este caso El material natural del puente fue tratado en obra con soluciones químicas que reducen su vulnerabilidad ante el ataque de xilófagos, pero este además de no ser amigable con el medio ambiente no protegía la estructura de la radiación solar.

Asimismo, Lamus et al. (2014), en su trabajo que se basaba en una propuesta de módulos estructurales de Guadua angustifolia para la construcción de puentes peatonales, como una solución al déficit de infraestructura en caminos veredales. Determinó mediante una modelación numérica que el módulo es decir la guadua angustifolia puede ser empleada en la construcción de un puente con una luz libre máxima de 21 m sin que se superen los esfuerzos admisibles de esta, comprándolo con ensayos experimentales.

Por otro lado, Martin (2019), Determino que el diseño estructural de puentes peatonales modulares de Guadua angustifolia simplemente apoyados, con luces de 15.0m, 20.0m, 25.0m y 30.0m es viable. Propuso el uso de diferentes diámetros de guadua y la implementación de más elementos conforme aumenta la luz del puente y empleo el programa de análisis SAP2000 para determinar los esfuerzos actuantes y las deflexiones, utilizando el método de los esfuerzos

admisibles del capítulo G.12 del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 para el diseño de los elementos. Según los resultados obtenidos la deflexión fue el parámetro que definió la luz máxima de un puente simplemente apoyado con el módulo tipo definido y se consiguió un diseño innovador, agradable a la vista y de fácil construcción con elementos de guadua de diámetros que se encuentran dentro del rango común encontrado en el país.

4.3.3.4.Puentes Peatonales en Guadua en Colombia.

- Puente sobre la Avenida Libertadores y Rotonda Arnulfo Briceño, Jörg Stamm

Este puente fue diseñado y construido por el alemán Jörg Stamm en la ciudad de Cúcuta, Colombia. La estructura tiene 30 metros de largo y está techada con una membrana arquitectónica. La construcción combina técnicas tradicionales de guadua con elementos modernos como acero y cables tensores. Las torres piramidales están conformadas por paquetes de 5 y 6 guaduas, con un arco de 6 guaduas estabilizado por tirantas. La estructura incorpora un grouting de cemento en los canutos bajo carga para aumentar su resistencia. Se muestra en la Figura 6.

Figura 6

El Puente de Guadua Arnulfo Briceño



Nota: La imagen fue tomada por Jhon Jairo Jácome en 2014.

- Puente de Guadua de la UTP (Universidad Tecnológica de Pereira).

El puente de guadua de la UTP fue construido en 2001 como parte de un curso-taller dirigido por el carpintero alemán Jörg Stamm. La obra, de 40 metros de longitud y 2,5 metros de ancho, conecta los sectores suroccidentales y suroriental del campus universitario. Su diseño incluye cerchas de guadua en arco, un piso de concreto y una cubierta de teja de barro. Este puente destaca por su integración con el entorno natural del campus y su funcionalidad en la conexión entre áreas clave de la universidad. Se muestra en la Figura 7.

Figura 7

El Guaducto de la UTP



Nota: La imagen es de la Universidad Tecnológica de Pereira, artículo publicado en 2023.

- Puente peatonal en guadua ubicado en Santa Fe de Antioquia.

Este puente peatonal de 30 metros fue construido en Santa Fe de Antioquia bajo la dirección de Hellmut Luecker de Bamboo Technologies y con la participación de la alcaldesa local. La estructura, que pesa solo 8 toneladas, fue transportada íntegramente por una grúa móvil desde el sitio de ensamblaje hasta sus estribos en solo dos horas. El proyecto, que incluyó un taller teórico-práctico, se completó en solo cuatro semanas. Se muestra en la Figura 8.

Figura 8

Puente peatonal en Santa Fe de Antioquia



Nota: La imagen fue tomada de Stamm J., 2005, durante un curso de construcción de puentes en guadua.

- Puente en bambú ubicado en el Colegio Liceo Francés, Pereira.

Este puente, ubicado en el Colegio Liceo Francés en Pereira, fue construido en septiembre de 2001. La estructura tiene una luz de 52 metros y es un ejemplo destacado de la aplicación de la guadua en obras arquitectónicas escolares. La construcción refleja la capacidad del bambú para adaptarse a grandes luces, ofreciendo una solución estructural eficiente y sostenible. Se muestra en la Figura 9.

Figura 9

Puente en bambú del Colegio Liceo Francés



Nota: La imagen fue tomada por Frankli Amaury Hoyos Ortiz en 2009.

- Puente en el municipio de Tierradentro, Cauca.

Este puente tipo Hove, ubicado en el municipio de Tierradentro en el departamento del Cauca, fue construido en 1995. La estructura cuenta con un arco de carga y un arco de piso, con una luz de 35 metros. Este puente es un ejemplo de cómo la guadua puede ser utilizada en regiones rurales para conectar comunidades, integrando técnicas tradicionales con principios modernos de ingeniería. Se muestra en la Figura 10.

Figura 10

Puente en Tierradentro, Cauca



Nota: La imagen fue tomada de Stamm J., 2005, durante un curso de construcción de puentes en guadua.

- Puente ubicado en el corregimiento de Mulaló, Valle del Cauca.

Este puente, construido en 2005 en el corregimiento de Mulaló, municipio del Valle del Cauca, tiene una luz de 20 metros y una geometría tipo Hove con un arco de carga y un arco de piso. La estructura colgante es un testimonio de la versatilidad de la guadua en la creación de soluciones duraderas para puentes en áreas rurales. Se muestra en la Figura 11.

Figura 11

Puente en Mulaló, Valle del Cauca



Nota: La imagen es de 2022, de los autores Eleni Eleftheriou, Luis Felipe Lopez Muñoz, Guillaume Habert, y Edwin Zea Escamilla.

- Puente Jenny Garzón.

El puente Jenny Garzón es un puente peatonal cubierto ubicado en la localidad de Engativá, Bogotá. Construido para sortear dos vías muy transitadas, el puente tiene una luz de 46 metros y se destaca por su estructura estabilizada mediante una estructura espacial incorporada al techo. La obra fue realizada por Simón Vélez, quien optó por construir la estructura "in situ" usando andamios de guadua. Se muestra en la Figura 12.

Figura 12

Puente Jenny Garzón en Engativá, Bogotá



Nota: La imagen es de Simón Vélez, 2012, publicada en Pintores y Escultores de Colombia.

- Puente en Santo Domingo, Medellín.

Este puente de guadua, con una luz de 60 metros, fue concebido en 2005 y construido en Medellín gracias a un convenio entre el Sena y la Alcaldía de Medellín. La estructura fue diseñada y construida por aprendices del Sena, pero colapsó debido a un diseño estructural inadecuado y falta de mantenimiento, lo que provocó el desplome de la cubierta. Se muestra en la Figura 13.

Figura 13

Puente en Santo Domingo, Medellín



Nota: La imagen fue tomada por David Sánchez y publicada en la Revista Semana en 2013.

4.3.4. MARCO LEGAL

4.3.4.1. Normativas para diseño de Puentes Peatonales.

Para el diseño de puentes peatonales en Colombia, es fundamental seguir las normativas establecidas que garantizan la seguridad, durabilidad y funcionalidad de estas estructuras. Entre las principales normativas aplicables se encuentra el Código Colombiano de Puentes CCP 14, que establece los requisitos mínimos de diseño, construcción y mantenimiento de puentes en el país. Esta normativa incluye disposiciones técnicas detalladas sobre los materiales, cargas, métodos de cálculo y criterios de diseño que deben observarse para garantizar que los puentes peatonales sean seguros y eficientes.

Además, se debe tener en cuenta la Norma NRS-10, específicamente en el Capítulo G.12, que aborda las Estructuras en Guadua. Este capítulo proporciona directrices sobre el uso de la guadua en la construcción de puentes peatonales, asegurando que se respeten los criterios de sostenibilidad, resistencia y adaptación a las condiciones ambientales del lugar. La correcta aplicación de estas normativas es esencial para el éxito de los proyectos de construcción en guadua, un material que, si bien tiene grandes ventajas, requiere de un manejo especializado para asegurar su desempeño a largo plazo.

4.3.4.2. Reglamentos para Laboratorios y Ensayos de Guadua.

El análisis y la certificación de la guadua utilizada en construcción deben seguir un riguroso proceso de control de calidad. En este sentido, los Reglamentos para Laboratorios y Ensayos de Guadua incluyen una serie de normas técnicas que son indispensables para evaluar las propiedades mecánicas y la durabilidad del material. La NTC 5525 y la NTC 5300 son normas colombianas que especifican los métodos de ensayo para determinar las características físicas y mecánicas de la guadua, garantizando que cumple con los estándares requeridos para su uso en estructuras.

Por otro lado, la ISO 21151 - 1:2004 Bamboo es una norma internacional que establece los procedimientos para el ensayo y evaluación del bambú, incluyendo la guadua, utilizada en construcciones. Esta norma es especialmente relevante cuando se busca comparar la calidad del material con estándares internacionales.

Finalmente, la DIN EN 52 186 de 1976 proporciona lineamientos sobre los métodos de prueba y criterios de evaluación de la guadua en contextos europeos, asegurando que el material cumple con los requisitos de resistencia y estabilidad necesarios para su uso en construcción. Estos

reglamentos son esenciales para garantizar que la guadua utilizada en los proyectos de construcción cumpla con los estándares más altos de calidad y seguridad.

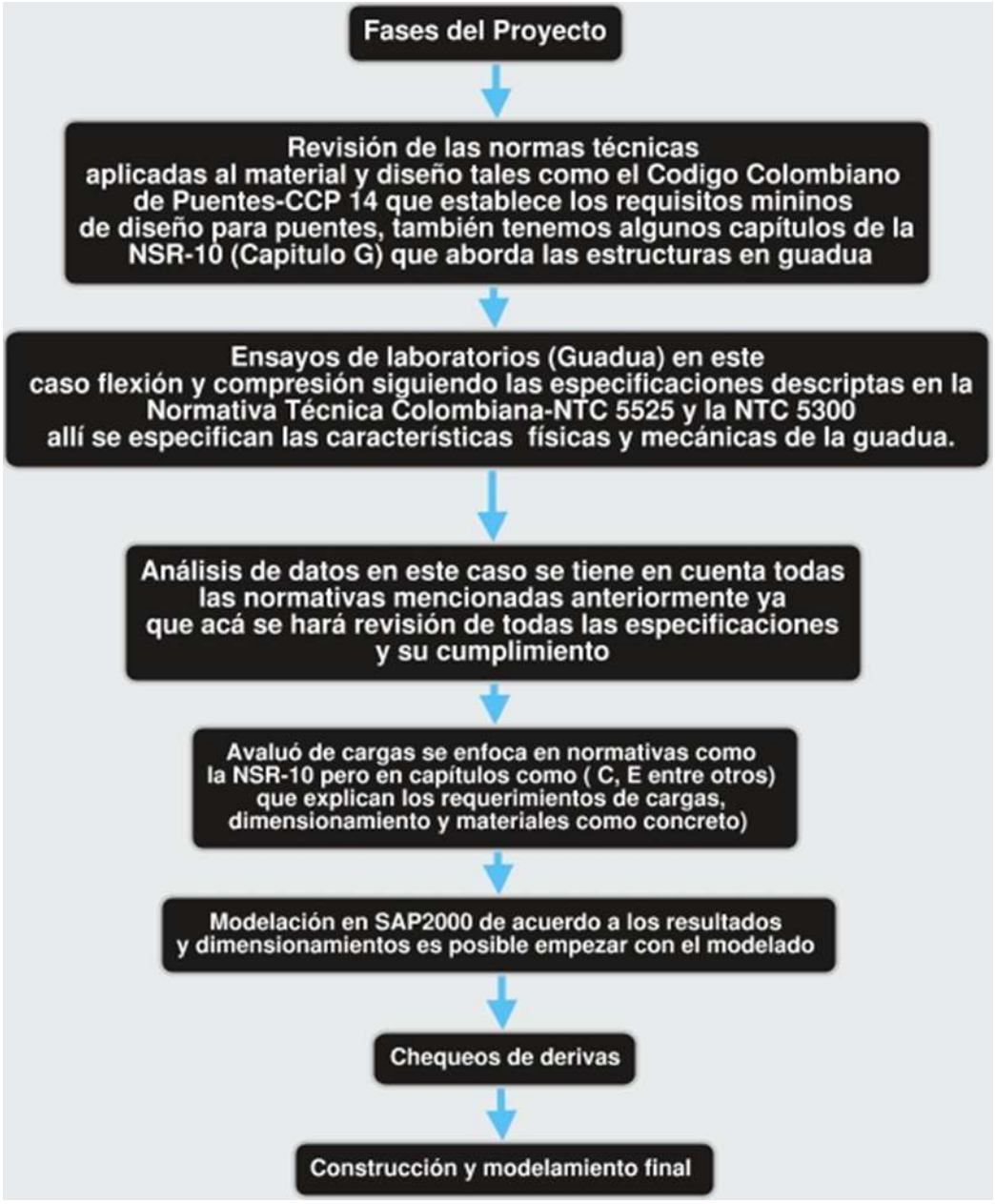
5. METODOLOGÍA

El presente proyecto está enfocado en una metodología cuantitativa, por ende, presenta un análisis cuantitativo, tanto de la estructura como del material alternativo a utilizar en el prediseño del puente peatonal.

Para la parte cuantitativa se realiza una serie de laboratorios como: esfuerzo de compresión y esfuerzo de flexión. Con el fin de correlacionar estos resultados con los datos que se encuentran en la norma NTC-5525, con esto plasmar una idea si es posible utilizar la guadua que se encuentra en la zona para su uso estructural. También en esta metodología cuantitativa se elabora un modelamiento en SAP 2000 teniendo en cuenta algunos cálculos realizados en Excel relacionados al avalúo de cargas y predimensionamiento de la estructura; Con el objetivo de tener una visión general de la estructura y diseño. La metodología descrita en este proyecto se compone de varias fases, como se observa en la imagen 14. Se busca ofrecer una visión general del proceso realizado para el prediseño del puente peatonal en guadua ubicado en el barrio San Antonio, permitiendo una comprensión clara del enfoque desarrollado.

Figura 14

Fases del proyecto



Nota. Elaboración propia

6. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

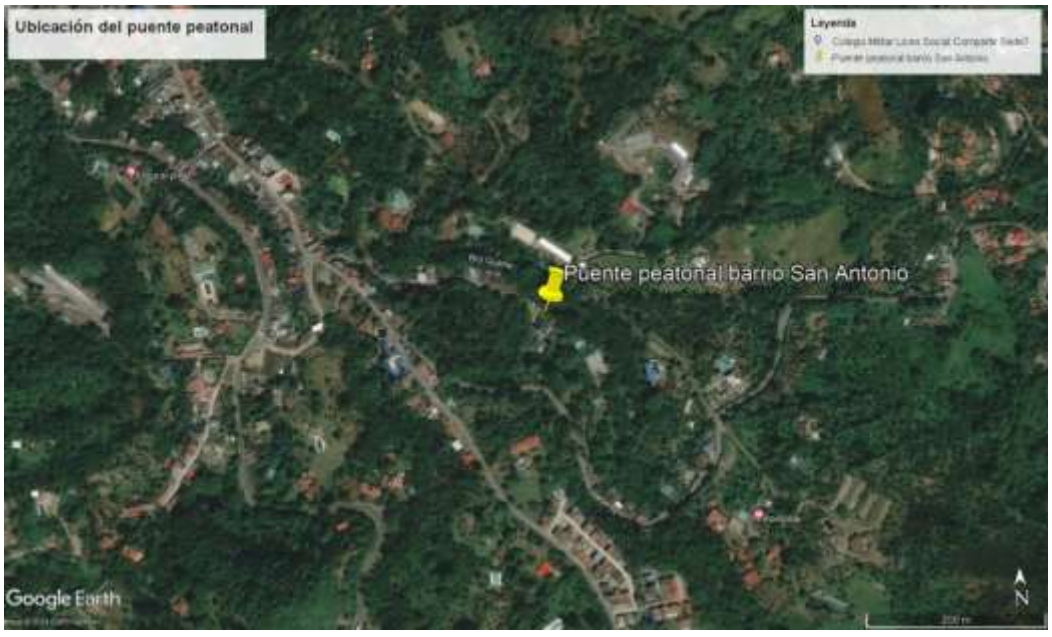
6.1.PREFACTIBILIDAD DEL PROYECTO

6.1.1. Ubicación del proyecto.

El proyecto del puente peatonal se encuentra ubicado en el barrio San Antonio, colindante con la vereda Mesetas, sobre el río Dulce. Las coordenadas exactas de la ubicación son 4°57'34.3"N 74°25'46.1"W. Estas áreas están situadas adyacentes al casco urbano del municipio, facilitando la conexión entre diferentes sectores de la comunidad. En la Figura 15, se puede ver el mapa que ilustra la ubicación precisa del proyecto en relación con el río Dulce y los barrios circundantes.

Figura 15

Ubicación del puente peatonal actual



Nota. Elaboración propia basada en Google Earth.

6.1.2. Registro fotográfico de la estructura actual.

En el marco del proyecto, se llevó a cabo una inspección visual para evaluar el estado actual de la estructura es decir el puente peatonal ubicado en el barrio San Antonio, sector urbano de Sasaima, Cundinamarca. El objetivo principal fue identificar los deterioros y daños que podrían comprometer la seguridad y funcionalidad del puente. Esta inspección se realizó el 19 de junio de 2024, a las 02:00 PM, y permitió recopilar información crucial para el análisis y posterior rediseño. A continuación, se presentan las imágenes capturadas durante la inspección.

Iniciando en la figura 16, se muestra una vista general del puente peatonal, permitiendo apreciar su estructura en su totalidad. Se evidencia que el puente presenta signos evidentes de deterioro en diferentes componentes, lo que resalta la urgencia de intervenir y mejorar las condiciones actuales del puente.

Figura 16

Vista general del puente peatonal



Nota. Elaboración propia.

Continuando con la inspección, en la figura 17 se puede observar el estado actual del tablero del puente, el cual está compuesto por plaquetas prefabricadas de concreto. Estas placas muestran un claro deterioro, con fisuras y grietas que indican una pérdida de resistencia del concreto debido a la fatiga acumulada a lo largo de 20 años de operación. Además, se aprecia la presencia de humedad en los laterales de las plaquetas, lo que ha llevado a la carbonatación de los aceros de refuerzo, agravando aún más el estado del tablero.

Figura 17

Estado del tablero del puente peatonal



Nota. Elaboración propia.

La figura 18, capturada desde debajo del puente, permite evaluar el estado de la estructura inferior. Aquí, se observan signos de deterioro avanzado en las vigas y otros componentes estructurales, lo que sugiere la necesidad de un análisis más profundo para determinar la estabilidad del puente.

Figura 18

Vista inferior del puente peatonal



Nota. Elaboración propia.

Al observar la figura 19, se aprecia el estado de las columnas que soportan el puente. Estas presentan fisuras considerables y un desgaste crítico en el recubrimiento de concreto, con áreas donde el acero de refuerzo está expuesto, lo que indica un alto grado de degradación estructural.

Figura 19

Estado de las columnas o soportes del puente peatonal



Nota. Elaboración propia.

En la figura 20 se evidencia el estado de la cercha que actúa como viga principal del puente. La estructura metálica presenta un deterioro alarmante, con oxidación y corrosión severa, y pérdida de material en varias secciones, lo que compromete su capacidad de carga.

Figura 20

Estado de la cercha del puente peatonal



Nota. *La información de esta figura se basa en el trabajo titulado "Informe de visita técnica", realizado por Juan Sebastián Muñoz Mojica y revisado por María del Pilar Cruz Feo, Secretaría de Infraestructura y Planeación del Municipio de Sasaima, Cundinamarca, el 22 de febrero de 2024.*

Al observar la figura 21, se aprecia el estado de las columnas que soportan el puente. Estas presentan fisuras considerables y un desgaste crítico en el recubrimiento de concreto, con áreas donde el acero de refuerzo está expuesto, lo que indica un alto grado de degradación estructural.

Figura 21

Estado de las columnas o soportes del puente peatonal



Nota. Elaboración propia.

Finalmente, se realizaron mediciones clave que se muestran en las siguientes imágenes. En la figura 22, se observa la medición de la luz del puente, un dato esencial para el cálculo de carga y el rediseño estructural. La figura 23 muestra la medición del ancho y largo de las placas de concreto del tablero, mientras que en la figura 24 se presenta la medición del espesor de estas placas, información crucial para evaluar el avaluó de cargas para el proyecto.

Figura 22

Medición de la luz del puente



Nota. Elaboración propia.

Figura 23

Medición del ancho y largo de las placas de concreto del tablero



Nota. Elaboración propia.

Figura 24

Medición del espesor de las placas de concreto



Nota. *Esta figura pertenece a el trabajo titulado "Informe de visita técnica", realizado por Juan Sebastián Muñoz Mojica y revisado por María del Pilar Cruz Feo, Secretaría de Infraestructura y Planeación del Municipio de Sasaima, Cundinamarca, el 22 de febrero de 2024.*

6.1.3. Dimensionamiento de la estructura existente.

Este dimensionamiento se realizó con base en la visita técnica documentada en el "Informe de visita técnica" de la Secretaría de Infraestructura y Planeación del Municipio de Sasaima, Cundinamarca, complementada con nuestro registro fotográfico. Este análisis nos proporciona una visión detallada de las condiciones actuales del puente peatonal, la cual es fundamental para el diseño y rediseño del puente. La información obtenida nos permitirá evaluar el estado de la estructura existente y determinar las dimensiones y características necesarias para el nuevo diseño. La estructura actual del puente peatonal cuenta con los siguientes componentes:

- **Tablero en placas de concreto:** Las placas de concreto reforzado que conforman el tablero del puente tienen dimensiones de 0.97 m por 1.3 m, con un espesor de 0.04 m.

- **Estructura portante en acero:** Se desarrolla como un sistema de cerchas longitudinales arriostradas concéntricamente, ancladas a los pilotes de concreto armado de manera horizontal a lo largo de la estructura.

- **Cimentación, concreto armado:** La cimentación consta de dos pilotes superficiales de concreto armado ubicados en ambos extremos del puente, un sistema de vigas y columnas en el primer tercio de su longitud en sentido suroeste-noreste, y un sistema de entrega de cargas al suelo mediante zapatas.

A continuación, en la Tabla 1, se muestran estas especificaciones junto con otros dimensionamientos clave de la estructura del puente peatonal.

Tabla 1

Dimensionamiento de la Estructura Existente

Elemento	Especificaciones	Dimensiones
Tablero	Placas de concreto	0.97 m x 1.3 m, Espesor: 0.04 m
Cimentación	Concreto armado	Pilotes superficiales, vigas y zapatas
Columnas	Concreto reforzado	Sección: 0.30 m x 0.25 m, Altura: 3.20 m
Vigas y cerchas metálicas	Metal	Sección: 0.30 m x 0.25 m, Largo: 1.90 m
Altura del puente (Galibó)	-	8.00 m
Longitud del puente	-	19 m
Barandas	Tubería metálica	Altura: 1.05 m

Nota. Elaboración propia.

6.1.4. Evaluación del estado estructural actual del puente peatonal.

El bienestar de las estructuras es fundamental para garantizar la seguridad y funcionalidad de las vías de comunicación que sirven a nuestras comunidades. En el caso del puente peatonal que conecta la Vereda Mesetas con el Barrio San Antonio en Sasaima, Cundinamarca. Según el informe técnico de la Secretaría de Infraestructura y Planeación del Municipio de Sasaima, Cundinamarca (2024), complementado con nuestra inspección visual y el registro fotográfico realizados, se estima que su estado actual es sumamente preocupante, presentando daños estructurales graves que comprometen la seguridad de sus usuarios.

En la estructura del puente, se evidencia que las barandas de pasamanos han sido severamente afectadas por la exposición constante a las condiciones meteorológicas. Estas muestran signos claros de corrosión, pérdida de estabilidad y acumulación de suciedad en toda su extensión. Estos daños no solo afectan la estética del puente, sino que también representan un peligro directo para los peatones, al comprometer la función de las barandas como elementos de protección lateral.

Por otro lado, el tablero de la pasarela, compuesto por placas de concreto, muestra daños estructurales significativos. Las grietas longitudinales han ocasionado el desprendimiento del agregado, lo que ha llevado a una pérdida notable de la resistencia a la flexión del tablero. Además, en varias secciones, el acero de refuerzo es visible, lo que indica una exposición prolongada que incrementa el riesgo de fallas bajo cargas mínimas. Este deterioro es resultado de la fatiga del material tras dos décadas de uso, acompañado de la presencia constante de humedad, que ha acelerado la carbonatación y corrosión del acero de refuerzo. Asimismo, la estructura portante de acero del puente presenta un nivel avanzado de corrosión que ha provocado una pérdida

significativa de sección en las vigas longitudinales. Este deterioro compromete gravemente la estabilidad del puente, ya que genera discontinuidades en los elementos principales de soporte, incrementando los esfuerzos a tensión y el riesgo de colapso.

Es tal el grado de deterioro que, de acuerdo con el informe técnico de la Secretaría de Infraestructura y Planeación mencionado anteriormente, se ha dispuesto el cierre indefinido del puente y la prohibición total del paso peatonal por el mismo, como medida preventiva para salvaguardar la vida e integridad de la comunidad. Esta decisión subraya la gravedad de los daños observados y la necesidad urgente de una intervención para mitigar los riesgos asociados al uso del puente en su estado actual.

6.1.5. Condiciones del suelo en la ubicación del proyecto.

Esta información se basa en el estudio del suelo titulado "Estudio de Suelos para la Construcción de Puente Peatonal en Celosía Metálica entre el Barrio San Antonio y la Vereda Mesetas," realizado por Carlos Andrés Peláez en 2019. El estudio se centró en la exploración geotécnica del área, incluyendo la toma de muestras inalteradas y remoldeadas para llevar a cabo pruebas de laboratorio. Estas pruebas permitieron determinar parámetros clave como la resistencia al corte y la estabilidad del suelo, esenciales para formular las recomendaciones de cimentación necesarias para la construcción del puente.

Los resultados del estudio indicaron que el suelo en la ubicación del puente corresponde a un perfil de suelo tipo C. Además, se determinó una capacidad de carga admisible de 8 ton/m², lo que proporciona un criterio fundamental para el diseño geotécnico de las cimentaciones y asegura que la estructura pueda soportar las cargas requeridas de manera segura y eficiente.

6.2. ENSAYOS DE LABORATORIO DE LA GUADUA ANGUSTIFOLIA.

Para la realización de los ensayos de laboratorio, nos basamos en una serie de normas técnicas que aseguran la calidad y consistencia en la evaluación de las propiedades mecánicas de la guadua. En particular, seguimos los lineamientos establecidos en las normas colombianas NTC 5525 y NTC 5300, que detallan los métodos de ensayo para determinar las características físicas y mecánicas de este material. A nivel internacional, se tuvo en cuenta la ISO 22157-1:2004, que especifica los procedimientos para el ensayo del bambú, incluyendo la guadua, en construcciones, permitiendo comparar los resultados obtenidos con estándares globales. Adicionalmente, se consideraron los lineamientos de la DIN EN 52 186 de 1976, que proporcionan criterios de evaluación y métodos de prueba relevantes en contextos europeos.

Es importante destacar que, aunque estos ensayos de laboratorio ofrecen información valiosa sobre las propiedades de la guadua, no son suficientes para caracterizar el material de manera completa. Los resultados obtenidos se utilizarán como una correlación con las normas mencionadas, es decir, servirán como una referencia comparativa para evaluar la idoneidad de la guadua local en el proyecto. Esto es especialmente relevante dado que la guadua utilizada en los ensayos proviene de la zona aledaña al lugar donde se llevará a cabo el proyecto, y comparte condiciones similares a las de cualquier guadual en el sector. De esta manera, los ensayos permitirán determinar si la guadua disponible en el área es adecuada para ser utilizada en la estructura del puente, en caso de que se opte por usar la guadua de estos cultivos. Sin embargo, en el diseño final del puente peatonal se emplearán los valores universales y establecidos para la guadua, según las normas técnicas correspondientes, para garantizar que la estructura cumpla con los estándares de seguridad y rendimiento requeridos.

Los ensayos realizados incluyen:

- Extracción de la guadua.
- Ensayo a compresión.
- Ensayo a flexión.

En la extensión de cada ítem, se explica la metodología utilizada, detallando el paso a paso y los equipos empleados para cada ensayo.

6.2.1. Proceso de extracción de guadua angustifolia para muestras de laboratorio.

Para el proceso de extracción de la guadua angustifolia utilizada en los laboratorios del proyecto, se siguieron una serie de pasos planificados de acuerdo con las directrices establecidas en la norma NTC 5300, que regula la cosecha y postcosecha del culmo de guadua angustifolia Kunth. Esta norma proporciona pautas esenciales para garantizar la calidad y sostenibilidad del material a lo largo del proceso de extracción. A continuación, se describe cómo se seleccionó el sitio de extracción, las técnicas empleadas para cortar y recolectar la guadua, con el fin de asegurar que el material mantuviera su calidad y sostenibilidad a lo largo del proceso.

1. Ubicación sitio de extracción

La guadua angustifolia utilizada en este proyecto se extrajo de la finca Monserrate, ubicada en la vereda Chapaima del municipio de Villeta, Cundinamarca, en las coordenadas 4°56'45"N 74°31'45"W, a una altitud de 1242.64 metros sobre el nivel del mar, como se muestra en la figura 25. Esta ubicación fue seleccionada debido a la disponibilidad abundante de guadua en la zona,

además de su proximidad, semejanzas ambientales y similitud de condiciones climáticas con el lugar del proyecto.

Figura 25

Mapa de la zona de extracción de Guadua Angustifolia



Nota. La imagen muestra la ubicación de la zona de extracción de la guadua angustifolia utilizada para los ensayos de laboratorio. Fuente: elaboración propia, descargado de Google Earth.

2. Selección de la guadua

La caña de guadua se debe cortan en su etapa madura. Según Fundación Jatun Sacha y la Corporación Centro de Datos para la Conservación Ecuador (CDC Ecuador, 2005) "La caña está madura cuando se han caído todas las hojas caulinares y tiene líquenes en todo su tallo. Muestra un color grisáceo a parduzco" (p. 10). Teniendo en cuenta lo anterior se seleccionó la guadua que se muestra en la figura 26 para el proceso de corte.

Figura 26

Guadua seleccionada para la extracción de muestras



Nota. Elaboración propia.

3. Preparación para la extracción

Antes de iniciar el proceso de extracción de la guadua angustifolia, se llevaron a cabo varias etapas de preparación para asegurar una operación eficiente y sostenible.

- Se realizó una limpieza del redondo de la guadua para permitir el acceso y el trabajo seguro dentro del mismo. Esta limpieza incluyó la remoción de maleza, ramas caídas y cualquier otro obstáculo que pudiera dificultar el movimiento y las operaciones de corte.

- Para garantizar la seguridad a la hora de extraer la guadua, se emplearon diversos equipos de protección individual. En este caso se utilizaron botas con punta de hierro, las cuales proporcionaron protección adicional para los pies contra impactos y objetos punzantes. Por

otro lado, se utilizaron gafas de protección visual para proteger los ojos al momento del corte de la guadua.

- Las herramientas de corte fueron preparadas meticulosamente para asegurar su eficacia y seguridad. En este proyecto se utilizó un machete, el cual fue afilado con una lima para facilitar cortes limpios y precisos en el campo. Las motosierras, por otro lado, se utilizaron específicamente para dividir y extraer las muestras de guadua una vez que estas fueron transportadas desde el guadual. Las motosierras se lubricaron adecuadamente, se afiló la cadena y se verificó que contaran con suficiente combustible para toda la actividad

- Como se explica en el paso dos, se realizó una selección cuidadosa de la guadua para evitar cortar una guadua en etapas no adecuada, como en etapa joven o sobremadura. La selección se centró en identificar la guadua en etapa madura, siendo la adecuada para el proyecto. Este proceso aseguró que se cortara la guadua que cumpliera con los criterios de edad y estado óptimos, evitando así afectar la estructura y salud del guadual y promoviendo su regeneración sostenible.

4. Corte

El corte de la guadua se llevó a cabo utilizando técnicas diseñadas para minimizar el daño a la planta madre y asegurar su regeneración. Como menciona el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2003), los cortes de guadua se realizan por encima del primer nudo basal para evitar la formación de depósitos de agua. Estos cortes se efectúan durante la fase de menguante y en la madrugada, momentos en los cuales la guadua presenta menor contenido de agua y concentración de carbohidratos, lo que aumenta su resistencia a los ataques de insectos. Por tanto, se trabajó durante las horas de la mañana para aprovechar las condiciones climáticas favorables y

también para reducir el estrés en las plantas. Siguiendo lo establecido por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural la guadua fue cortada a una altura adecuada para así promover un nuevo crecimiento generando un cultivo sostenible como se muestra en la figura 27.

Figura 27

Corte de guadua realizado por encima del primer nudo basal



Nota. Elaboración propia.

5. Refinamiento del Corte del Nudo Basal

Para garantizar la calidad y sostenibilidad del material de guadua, se realizó un refinamiento del corte del nudo basal después de la extracción. Este ajuste consistió en cortar la guadua a ras del nudo basal para evitar el estancamiento de agua, que podría causar pudrimiento y atraer insectos. Este procedimiento también facilita el crecimiento de nuevos ejemplares en el cultivo, promoviendo la regeneración del guadual y asegurando una fuente continua de guadua

para futuros proyectos. Este refinamiento no solo mejora la durabilidad del material, sino que también apoya la sostenibilidad del cultivo, garantizando la salud y productividad del guadual a largo plazo.

Figura 28

Refinamiento del corte del nudo basal para prevenir el estancamiento de agua



Nota. Elaboración propia.

6. Limpieza de la Guadua

Una vez que la guadua fue extraída y se refinó el corte del nudo basal, se procedió a la limpieza del material, también conocida como descapote. La limpieza de la guadua implicó la eliminación de ramas laterales, hojas y cualquier otro residuo que pudiera interferir con su manejo y posterior uso. Este proceso se llevó a cabo utilizando como herramienta un machete para asegurar que la guadua quedara libre de obstrucciones. El descapote se realizó con el objetivo de facilitar

el transporte de la guadua desde el sitio de extracción hasta el lugar de almacenamiento debido que, al eliminar las ramas y hojas, la guadua se volvió más manejable y ocupó menos espacio, permitiendo un transporte más eficiente. En la figura 29 se puede observar el proceso de limpieza, mostrando un antes y un después de cómo estaba la guadua inicialmente y cómo quedó tras el proceso de descapote.

Figura 29

Proceso de limpieza de la guadua: antes y después del descapote.



Nota. Elaboración propia.

7. Proceso de Desangrado de la Guadua

Las secciones de guadua fueron colocadas en un área adecuada para el desangrado, en un ambiente ventilado y protegido de la luz solar directa para evitar cambios bruscos en la temperatura. Los culmos fueron dispuestos en una inclinación leve para permitir que el jugo interno, conocido como savia, drene de manera natural. Este proceso de desangrado se realizó

durante un período prolongado, de 2 semanas. Lo que ayudó a reducir la humedad interna del material y prevenir problemas de putrefacción.

8. Selección y División de la Guadua para Muestras

Una vez la guadua se encontraba en el lugar de almacenamiento, se procedió a la extracción de las muestras necesarias para los ensayos de laboratorio. Este proceso involucró el uso de motosierras para realizar los cortes principales y machetes para afinar y obtener las láminas específicas requeridas para las pruebas. Las muestras se prepararon meticulosamente para asegurar su adecuación a los distintos tipos de ensayos previstos. Como se muestra en la figura 30, se pueden observar las diversas muestras preparadas para los ensayos de compresión, humedad y flexión.

Figura 30

Muestras de guadua preparadas para los ensayos de laboratorio: compresión, humedad y flexión.



Nota. Elaboración propia.

Es importante mencionar que la guadua utilizada en este proyecto no pasó por un proceso de inmunización, ya que el objetivo principal era realizar ensayos de laboratorio y no fines constructivos. La inmunización es un tratamiento que se realiza para proteger la guadua contra organismos dañinos y para mejorar su durabilidad en construcciones. En este caso, dado que la guadua solo se utilizó para pruebas de laboratorio, la falta de este tratamiento no influye en los resultados de los ensayos, que se enfocan en las propiedades mecánicas del material en su estado natural.

6.2.2. Ensayo a compresión.

Para este laboratorio se busca presentar un método para fallar la guadua a compresión con el fin de hallar la fuerza máxima en la que puede ser sometida la guadua. Dicho ensayo evaluara sus características mecánicas y su viabilidad como material estructural teniendo en cuenta el fallo de esfuerzo a compresión, siguiendo los requerimientos de la Normativa Técnica Colombiana NTC-5525. Este ensayo tiene el propósito de correlacionar los datos obtenidos con los valores especificados en la normativa NTC-5525, verificando la factibilidad de poder utilizar la guadua ubicada en la zona para construcción del puente. Sin embargo, a la hora de plasmar el modelo se utilizarán los resultados que arroja la norma.

Equipo

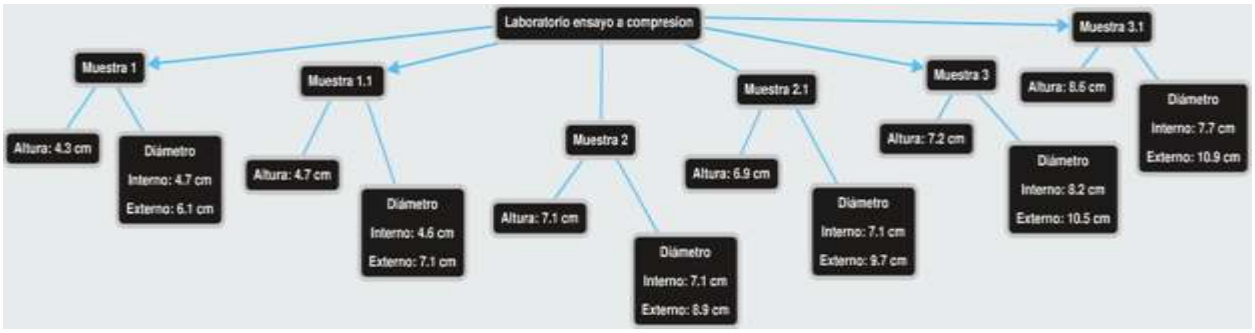
- Máquina de compresión: Maquina diseñada específicamente para determinar la deformación de un material aplicando una fuerza de compresión
- Muestras: Para este laboratorio se obtuvo 4 muestras de diferente diámetro y largo
- Decámetro: Herramienta utilizada para medir las dimensiones de las muestras.

Procedimiento

Se empieza con la preparación de las muestras en este caso se tiene 6 muestras las cuales poseen un diámetro interno y externo diferentes en la figura 31 se explica un poco mejor estos datos a trabajar. También hay que tener en cuenta que de estas 6 muestras hay 3 sin nudo y 3 con nudo (Ver anexo 2) con el fin también de observar si este aspecto afecta o no la resistencia a la compresión de la guadua.

Figura 31

Diagrama sobre las medidas de las muestras para ensayo de compresión



Nota. Elaboración propia

Después se llevan las muestras a la máquina de compresión una por una como se observa en la figura 32. Allí la maquina aplicara fuerza hasta que falle la guadua.

Figura 32

Muestra colocada en la máquina de compresión



Nota. Elaboración propia

Ya por último apenas la maquina haya detectado que la guadua fallo mostrara en pantalla el esfuerzo último en Mpa y la fuerza aplicada en Kn estos datos deben anotarse y el procedimiento repetirse para las otras muestras. Ya con los datos obtenidos como se ven en la tabla 1 se proceden a realizar los cálculos respectivos.

Tabla 2

Datos obtenidos del ensayo a compresión

Muestras	Fuerza (Kn)	Esfuerzo (Mpa)
Muestra 1	60.87	3.44
Muestra 1.1 (Nodo)	73.99	4.18
Muestra 2	108.14	6.12
Muestra 2.1 (nodo)	112.87	6.38
Muestra 3	147.6	8.35
Muestra 3.1 (Nodo)	112.87	6.38

Nota. Elaboración propia

6.2.3. Ensayo a flexión

En este laboratorio se busca evaluar la resistencia de láminas de guadua sometidas a un ensayo de flexión, determinando la fuerza máxima que pueden soportar antes de fallar y el módulo de elasticidad nominal. Se consideró como variable la distancia de los nudos a lo largo de las muestras, que influyen en la resistencia. Aunque este ensayo proporciona información valiosa sobre la capacidad de resistencia de la guadua, no es suficiente para caracterizar completamente el material. Sin embargo, al correlacionar los resultados obtenidos con las normas técnicas, se podrá evaluar si la guadua del sector donde se realizará el proyecto es adecuada para su uso estructural.

Equipo

- Máquina universal de ensayos: Utilizada para aplicar una carga que induce flexión en las láminas de guadua. La máquina trabaja en Newtons (N) y proporciona el valor máximo de carga, la deformación, y una gráfica de carga vs. deformación.
- Decámetro: Herramienta utilizada para medir las dimensiones de las muestras.
- Muestras: Para este laboratorio se obtuvieron 5 muestras con diferentes largos y anchos.

Procedimiento

Las muestras utilizadas en el ensayo consistieron en 5 láminas de guadua (Ver anexo 3 y 4), las cuales fueron cuidadosamente medidas con un decámetro para asegurar la precisión en las dimensiones. Aunque el largo de las muestras era casi uniforme, los nudos se encontraban en diferentes posiciones a lo largo de cada lámina. Esto permitió analizar cómo la ubicación del nudo influía en la resistencia de la guadua al someterse a la flexión. Es fundamental contar con muestras adecuadamente cortadas y preparadas, tal como se ilustra en la Figura 33, donde se observa la disposición de las muestras listas para el ensayo.

Figura 33

Disposición de las muestras de guadua antes del ensayo de flexión.



Nota. Elaboración propia.

El ensayo se realizó mediante flexión de tres puntos utilizando una Máquina Universal de Ensayos. En esta máquina, se fijan los soportes en los extremos de la muestra a la distancia determinada de 8 cm, conforme a las especificaciones del ensayo. Una vez que se ha ajustado la distancia de los soportes, se posiciona la muestra de guadua con la parte exterior hacia arriba, que es la superficie donde se aplicará la carga. A continuación, se procede a iniciar el ensayo, donde el soporte central de la máquina ejerce una presión controlada en el centro de la muestra, induciendo la flexión. Este proceso puede observarse en la Figura 34.

Figura 34

Proceso de posicionamiento y ensayo de flexión en la Máquina Universal de Ensayos.



Nota. Elaboración propia.

Durante el ensayo, la máquina registra en tiempo real la carga aplicada y la deformación experimentada por la muestra. Cuando se alcanza la máxima resistencia o carga que la guadua puede soportar, el equipo detiene la aplicación de presión, y se retira la muestra para proceder con las mediciones post-ensayo. Utilizando un decámetro, se mide cuidadosamente la distancia desde el extremo de la muestra hasta el punto de falla. Este procedimiento se documenta en la Figura 35.

Figura 35

Medición de la distancia de la falla en la muestra después del ensayo de flexión.



Nota. Elaboración propia.

Las muestras se fallaron a una velocidad constante de 2 mm por segundo. La Máquina Universal de Ensayos registró tanto el valor máximo de carga como la deformación en función del tiempo, lo cual se reflejó en una gráfica de carga vs. deformación. Además, se recopilaron los datos específicos de cada muestra, incluyendo las dimensiones, la posición del nudo y la distancia de la falla, los cuales se resumen en la Tabla 3 a continuación.

Tabla 3

Datos de las muestras

Muestra	Largo (cm)	Ancho (cm)	Separación de Apoyos (cm)	Distancia del Nudo (cm)	Distancia de Falla (cm)	Distancia del Nudo a la Falla (cm)
1	28,1	4,5	8	19,8	13,8	6,0
2	30,5	4,4	8	16,5	16,5	0,0
3	30,6	4,4	8	16,0	16,0	0,0
4	30,3	4,3	8	9,2	15,0	-5,8
5	19,5	4,3	6	11,9	11,9	0,0

Nota. En los casos donde la distancia del nudo a la falla es negativa, indica que la falla ocurrió en la mitad opuesta de la muestra respecto al nudo. Elaboración propia.

6.4.DESARROLLO DISEÑO PARA EL NUEVO PUENTE

- **Localización del proyecto:** El puente peatonal se ubica en el barrio San Antoni Sasaima-Cundinamarca. Se visito la zona varias veces para hacer el reconocimiento del lugar y las afectaciones que tiene la estructura.

- **Materiales:** En el presente proyecto se opta por utilizar la guadua como material principal en la estructura, este material ofrece practicas ecologías y sostenibles por lo que le da un enfoque ambiental al proyecto.

- **Características y cargas:** La estructura se plantea tipo cercha, de acuerdo con el análisis del entorno y estudios de suelo se llevó a cabo una cimentación superficial y zapatas aisladas. También se van a considerar el cálculo de cargas vivas y muertas de la estructura.

- **Propiedades mecánicas de los materiales:** Para este caso en la tabla 4 se puede identificar algunas características de los materiales a trabajar en la estructura.

Tabla 4

Caracterización de materiales

Guadua ANGUSTIFOLIA (Norma NTC-5525)	
Peso especifico	600-900 kg/m^3
Resistencia a la tracción	40-60 MPA
Resistencia a la compresión	20-30 MPA
Resistencia a la flexión	30-50 MPA
Módulo de elasticidad	10000-20000 MPA

Nota. Elaboración propia

- **Análisis de cargas:** Para este caso se hace énfasis en la carga vivas y carga muerta que presentara la estructura (Ver anexo 5). Antes de iniciar los cálculos de las cargas es necesario dejar planteado unas especificaciones como los vistos en la tabla 5.

Tabla 5

Datos generales de algunas estructuras

Ítem	Detalle	
Ubicación	Sasaima	
Concreto F'c	25	Mpa
Luz	19	m
Ancho del puente	2.2	m
Losa de concreto		
Espesor concreto	0.05	m
Columnas de concreto		
Ancho	0.4	m
Largo	0.4	m
Altura	3.3	m
Guadua		
Capacidad de carga	20	Mpa

Nota. Elaboración propia

- Ahora se debe calcular el volumen de la losa.

$$Vlosa = L * A * E$$

$$Vlosa = 19\ m * 2.2\ m * 0.05\ m = 2.09\ m\text{^}3$$

Donde:

L es la luz del puente

A es el ancho del puente

E es el espesor de la losa

Después se debe calcular el peso de la losa.

$$Plosa = Vlosa * Pc$$

$$Plosa = 2.09\ m^3 * 25 = 52.25\ kn$$

Donde:

Pc es el peso específico del concreto

A continuación, se calcula la carga uniforme por metro en la losa.

$$Cu = \frac{Plosa}{L}$$

$$Cu = \frac{52.25\ kn}{19\ m} = 2.75\frac{kn}{m}$$

Seguidamente se lleva a cabo el cálculo del volumen de las columnas y el peso de estas.

$$Vcol = Lcol * Acol * Acol$$

$$Vcol = 0.5\ m * 0.5\ m * 3.2\ m = 0.8\ m\text{^}3$$

$$Pcol = Vcol * Pc$$

$$Pcol = 0.8\ m * 25 = 20\ kn$$

Se define el numeró de columnas para la estructura, en este caso se definieron 2 columnas. Ya por último para el diseño de las columnas se calcula el peso total de las columnas.

$$Pcol = 20\ kn * 2 = 40\ kn$$

Luego se llevará cabo los cálculos para la viga, comenzando con el volumen de la viga y después el peso.

$$Vv = \pi * (r)^2 * L$$

$$Vv = \pi * (0.07)^2 * 22 = 0.29\ m\text{^}3$$

$$Pv = \frac{(Vv * 700) * 9.81 * L}{1000}$$

$$Pv = \frac{(0.29 * 700) * 9.81 * 19}{1000} = 2.01\ kn$$

Ya por último en el cálculo de la viga se saca el peso total de las vigas.

$$Ptv = Pv * \#\ vigas$$

$$Ptv = 2.01 * 4 = 8.03$$

Para este paso ya empezamos ca calcular la carga muerta (W)

$$W = Ptv + Pcol + Plosa$$

$$W = 8.03 + 40 + 52.25 = 100.28\ kn$$

Después se calcula la carga uniforme total:

$$Wu = \frac{W}{L}$$

$$Wu = \frac{100.28}{19} = \frac{5.28kn}{m}$$

Ya por último se calcula la carga viva de la estructura. En este caso se haya primero el área total.

$$AT = \frac{L}{A}$$

$$AT = \frac{19}{2.2} = 41.8$$

Para el cálculo de la carga viva se debe tener el área total y también el valor de la carga peatonal. En este caso se acudió a la normativa AASHTO la cual determinar un valor constante de 4.4 kn/m^2.

$$CL = 41.8 * 4.4 = 167.2\ kn$$

- **Cimentación Superficial:** Empleada para soportar cargas de una edificación mediante la distribución de estas cargas en una amplia área de contacto con el suelo, generalmente situada cerca de la superficie. Para este caso se optó por este tipo de cimentación, por esto

se deben realizar una serie de cálculos para determinar las medidas de la cimentación y otros elementos como las zapatas.

Primero se necesita la carga total de la estructura para esto se sumaron la carga viva y la muerta.

$$Ct = 167.2 * 89.98 = 257.18\ kn$$

Después se calcula el área requerida y también se debe tener presente que el estudio de suelos arrojo la Capacidad de Carga Admisible del Suelo es de 80 Ton.

$$Ct = 167.2 * 89.98 = 257.18\ kn$$

Luego se hallará la carga que tendrá cada columna, para esto se debe dividir la carga total con el numero de columnas en la estructura.

$$Ccol = \frac{253.08}{2} = 128.59\ kn$$

A continuación, se buscará el área de las zapatas teniendo en cuenta que debe dividir la carga admisible por las cargas que tiene cada columna.

$$Ccol = \frac{128.59}{80} = 1.627$$

Para calcular los lados que tendrá la zapata se determina en la siguiente ecuación

$$Lado = Raiz\ (1.607) = 1.27m$$

Se opta por un espesor de zapata de 0.35m y ya por ultimo se calcula la capacidad de carga de las zapatas

$$Ccz = 80 * 1.607 = 128.59\ kn/m\text{^}2$$

Para confirmar que el suelo puede soportar las cargas de la cimentación, se realiza la siguiente formulación.

$$Ps = 257.18\frac{kn}{3.21} = 80kn/m\text{^}2$$

Dado que la presión sobre el suelo es igual a la capacidad de carga admisible del suelo, la cimentación superficial parece ser adecuada en términos de la capacidad de carga del suelo.

El espesor de las zapatas debe ser suficiente para resistir las cargas sin fallos estructurales. Un espesor de 0.35 m es generalmente adecuado para cimentaciones superficiales.

- Avaluó de cargas por unidad de losa:

  Carga Muerta = 1.3 kN/m^2

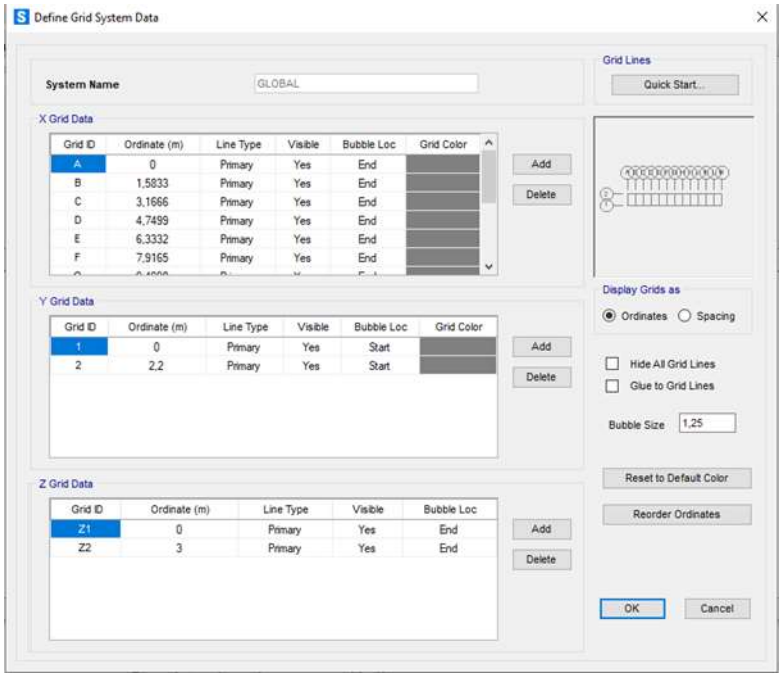
  Carga Viva = 4.4 kN/m^2

6.5.MODELAMIENTO EN SAP 2000

Al abrir la aplicación de SAP 2000 y crear un nuevo proyecto dejara ver una ventana con varias opciones de modelado para este caso se escoge “Grid Only” como se observa en la figura 36. Después se comienza a ingresar las dimensiones del puente, como se hará un diseño tipo cerchas y el puente tiene una longitud de 19 metros se dividirá en 12 secciones de 1.58 metros.

Figura 36

Dimensiones preliminares para la creación de la grilla

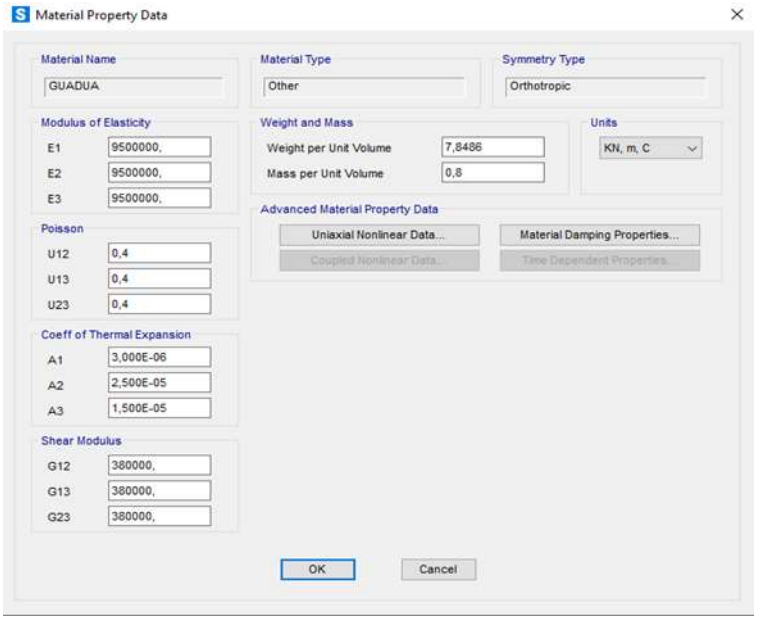


Nota. Elaboración propia

A continuación, se creará los materiales a trabajar el diseño, para este caso se dirigen a "Define" luego a "Materials". Se desplegará una ventada donde se selecciona "Add new material". En esta sección se definirán las características de la guadua según la norma NSR-10 capitulo G y dichos valores se pueden observar en la imagen 37.

Figura 37

Características físicas de la guadua

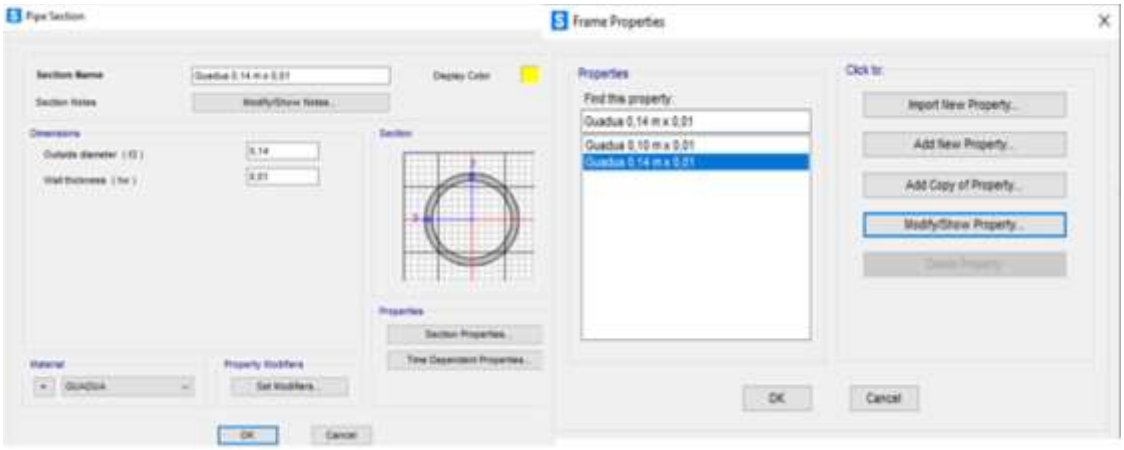


Nota. Elaboración propia

Después de definir los materiales a trabajar se debe definir las secciones de los elementos. Para esto se dirige a la ventana de "Define", entrar a "Section properties" y luego dar click en "frame sections". Se desplegará una ventana a donde se debe ingresar a "Add new property", se desplegaravarias opciones se tendrá que dar click en la imagen de "Pipe". Al ingresar en esta sección se asigna las dimensiones de la guadua como se muestra en la figura 38. Para este caso se van a utilizar dos diámetros de guadua de 10 cm y 14 cm con un espesor de 0.01 m.

Figura 38

Dimensiones de la guadua

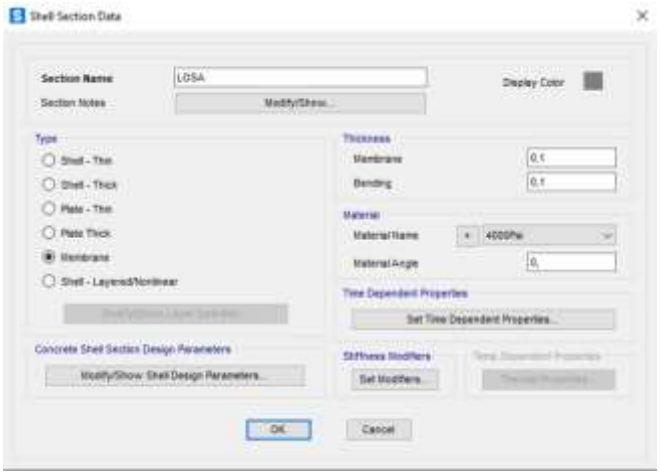


Nota. Elaboración propia.

Luego hay que asignar las ares, para esto hay que dirigirse a "Define" dar click en "Section properties e ir a "área Sections" se desplegara una venta donde se creara una nueva área. Para esta rea hay que asignarle algunos datos como se observa en la figura 39.

Figura 39

Datos área de cubierta

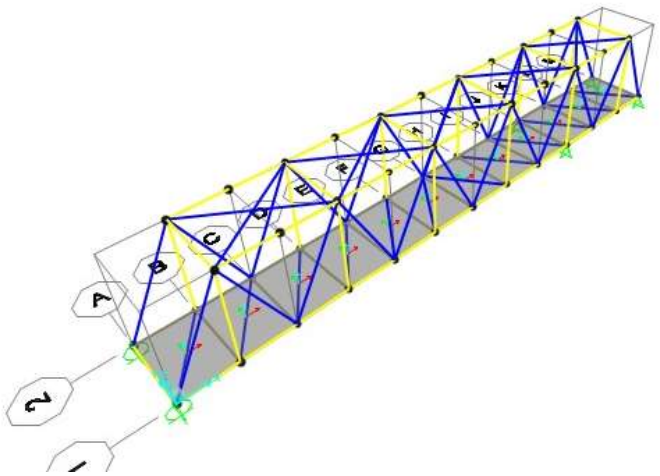


Nota. Elaboración propia

El siguiente paso es dibujar con los materiales creados el puente, para esto se selecciona la opción “Draw frame/cable” . Surgirá una venta en la cual se ira alternando los dos tipos de diámetros a utilizar y se empezará a crear la forma del puente. Al terminar el trazado se obtendrá algo parecido a la figura 40. Despues darán click en la opción “ Draw poly área” para dibular las losas del puente.

Figura 40

Trazado del puente peatonal

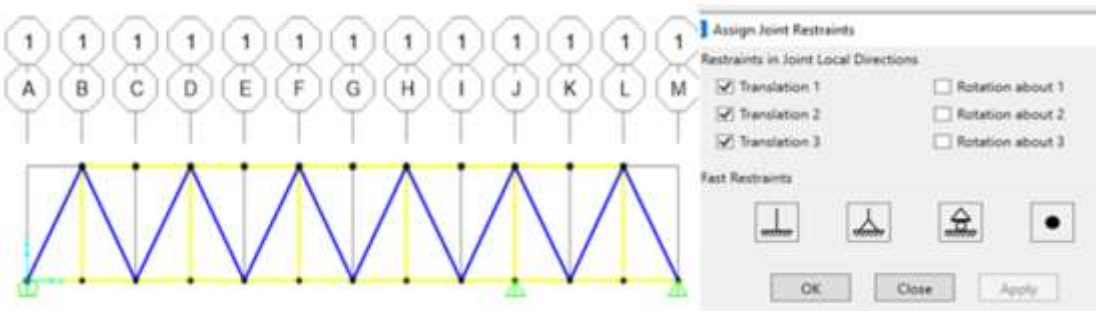


Nota. Elaboración propia

El siguiente paso es asignar los apoyos, para van a las opciones que se encuentran en la parte superior específicamente a “Assing”, luego van a “Joint” y dan click en “Restraints”. aparecerá una ventana donde se elegirá la opción “Pinned” y esta restricción ira al lado derecho. Para el ldo izquierdo del diseño se utiliza una restricción “Roller” como observamos en la figura 41 las restricciones quedaran de la siguiente forma.

Figura 41

Asignación de restricciones

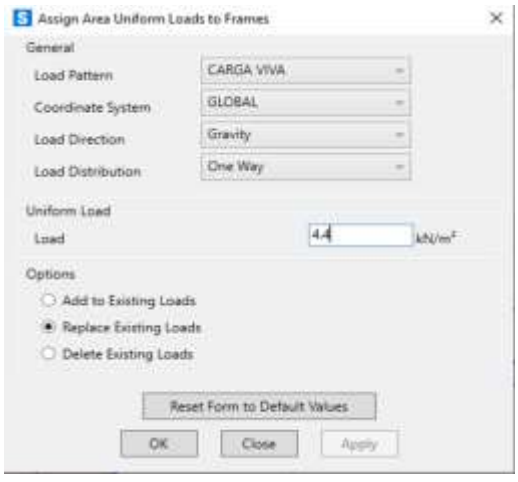


Nota. Elaboración propia

Ahora asignaremos las cargas vivas y muertas calculadas con anterioridad a las secciones del diseño. Se empieza asignando las cargas vivas y muertas a las losas de concreto, para esto seleccionan todas las losas, luego se dirigen a "Assing" dan click en "Area loads" después "Uniform to frame (Shell)" . en esta parte asignaremos la carga viva de 4.4 kn como se muestra en la figura 42. Este proceso se realiza igual para asignar la carga muerta.

Figura 42

Asignación de carga viva para las losas

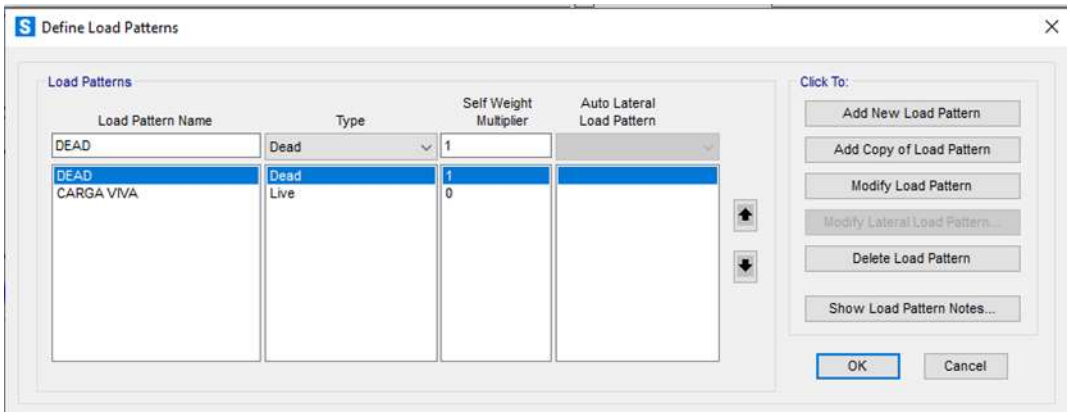


Nota. Elaboración propia

Después se dirigen a “define” buscan la opción “Load patterns” y en esta sección agregaremos los patrones de carga viva y muerta como se evidencia en la figura 43.

Figura 43

Asignación patrones de carga

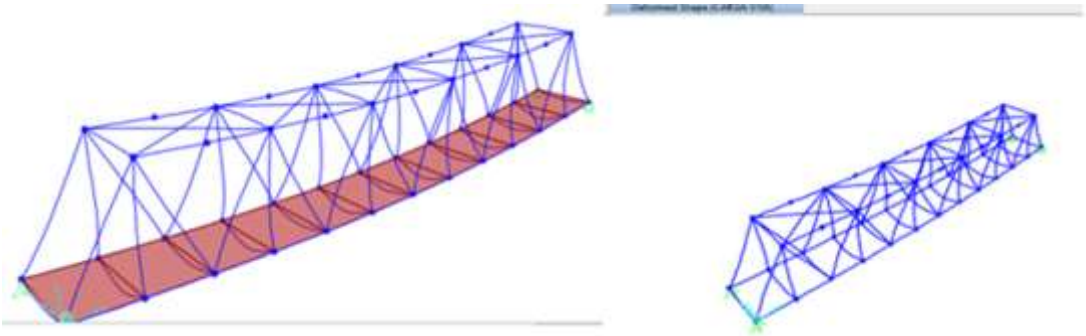


Nota. Elaboración propia

Ya por último vamos a correr el análisis por parte de SAP 2000 para determinar varios aspectos de la estructura (Ver anexo 7). Una vez terminado el análisis como se observa en la figura 44 la estructura presento una deformación sin embargo posteriormente se llevarán a cabo uno cálculos para determinar si la deformación aes aceptable.

Figura 44

Resultado análisis SAP 2000



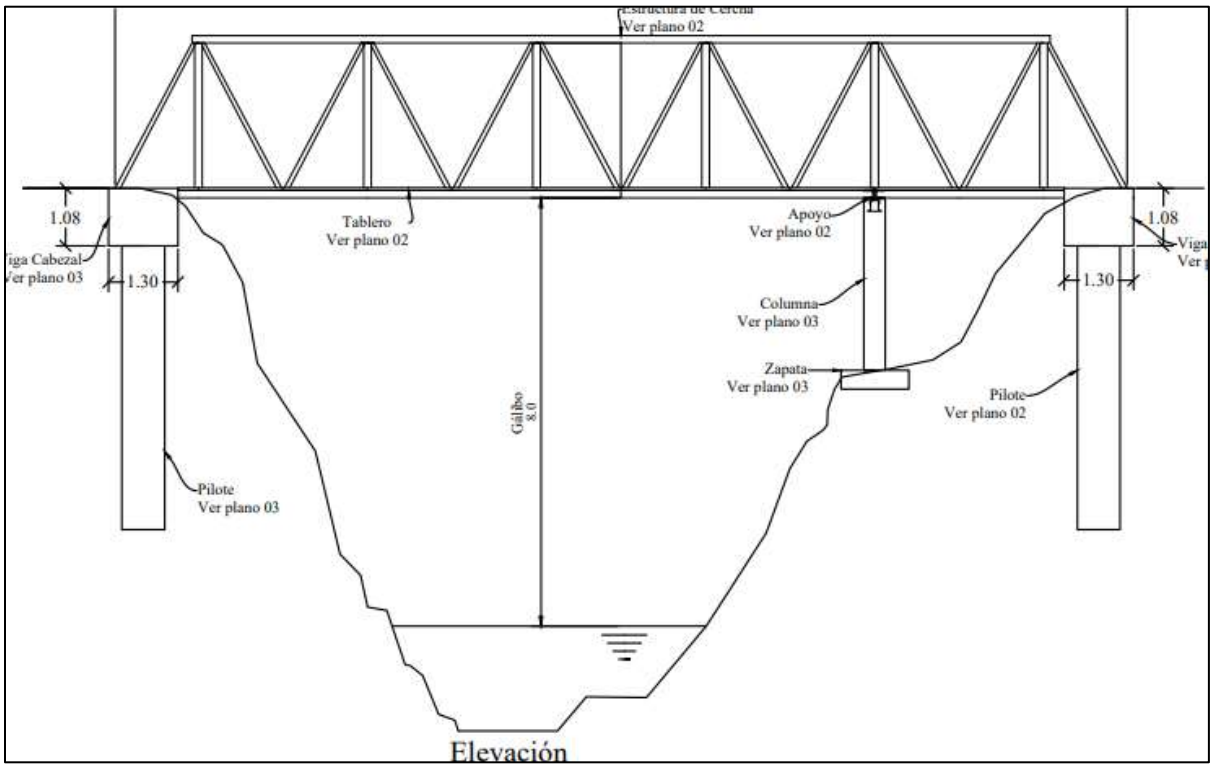
Nota. Elaboración las dimensiones de un propia

6.6.DISEÑO ARQUITECTÓNICO EN AUTOCAK

Luego de haber realizado el modelamiento en SAP 2000 se presentarán algunos bosquejos de las vistas (Ver anexo 6) que tendrán los elementos estructurales del puente peatonal. Para esto revisar la imagen 45

Figura 45

Vista general del diseño arquitectónico



Nota. Elaboración propia.

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

7.1.RESULTADOS LABORATORIO DE COMPRESIÓN

Primero se debe calcular el esfuerzo ultimo de compresión teniendo en cuenta la siguiente ecuación:

$$\sigma = F/A$$

Donde:

F es la carga máxima a la cual la muestra falla en N

A es el área de la sección trasversal en mm^2

σ es el esfuerzo ultimo de compresión en N/mm^2

Antes de realizar esta fórmula debemos hallar el área de la sección transversal de la guadua, para esto se aplicó la siguiente formula:

$$A = (\pi * \frac{Dex^2 - Din^2}{4})$$

Donde:

A es el área de la sección trasversal en mm^2

Dex es diámetro externo de la guadua en mm^2

Din es el diámetro interno de la guadua en mm^2

Para este caso se utilizó los datos de la primera muestra, se debe tener en cuenta que para este ensayo se tienen 3 muestras con nodo y 3 muestras sin nodo para observar un poco los resultados y comparar

$$A = (\pi * \frac{Dex^2 - Din^2}{4})$$

$$A = \left(\pi * \frac{6.1^2 - 4.7^2}{4}\right) = 11.9\ cm\text{^}2$$

Como necesitamos el resultado en mm^2 procedemos a multiplicar por 100 como se muestra a continuación:

$$A = 11.9 * 100 = 1187.5\ mm\text{^}2$$

También se debe tener en cuenta que en el laboratorio la fuerza aplicada está en Kn es necesario tenerla en N (Newton), para esto se aplica la siguiente formula:

$$F = 60.87 * 1000 = 60870\ N$$

Teniendo la sección transversal y la fuerza en N se puede calcular el esfuerzo ultimo a la compresión como se especifica continuación:

$$\sigma = \frac{60870\ N}{1187.5\ mm\text{^}2} = 51.3\ N/mm\text{^}2$$

Para terminar el procedimiento anterior se debe repetir para cada muestra y obtener el esfuerzo ultimo a la compresión como se observa en la tabla 6

Tabla 6

Datos esfuerzo ultimo a la compresión

Muestras	σ N/mm^2
Muestra 1	51.3
Muestra 1.1 (Nodo)	32.2
Muestra 2	47.8
Muestra 2.1 (nodo)	32.9
Muestra 3	43.7
Muestra 3.1 (Nodo)	24.1

Nota. Elaboración propia

De acuerdo con los resultados obtenidos y teniendo en cuenta la tabla 6. Se puede observar que las muestras de guadua con presencia de nodos han tenido un incremento significativo a la resistencia a compresión en comparación con las muestras de guadua sin nodo. Sin embargo, hay que aclarar que debido al numero limitado de muestras, no es posible caracterizar el material de manera concluyente. Este estudio y normas como la NTC 5525 pueden ser de referencia preliminar para futuras investigaciones de la guadua sobre todo la perteneciente a la zona para construcciones.

7.2.ANÁLISIS ENSAYO DE FLEXIÓN

Como se observa en las gráficas los 5 ensayos (Ver anexo 3) a flexión presentan una actividad similar respecto a la deformación que presentan durante un tiempo determinado, hasta llegar al punto de fallo y allí la gráfica cae abruptamente. De acuerdo con los resultados la muestra 1 fue la que tuvo la mayor cantidad en la deformación del material. Durante el ensayo y corroborando con los datos arrojado es posible que 1 o 2 muestras no hayan sido tomadas adecuadamente porque en sus graficas se observa que no se tomó bien las medidas.

Para finalizar este laboratorio fue hecho con fines para corroborar si el material de la zona era acto o no para construcciones en este caso la de un puente peatonal. Sin embargo, se relaciona con esta información la norma NTC-5525 donde se encontrará toda la información referente a los ensayos y caracterización del material.

.

7.4.RESULTADOS SAP 2000

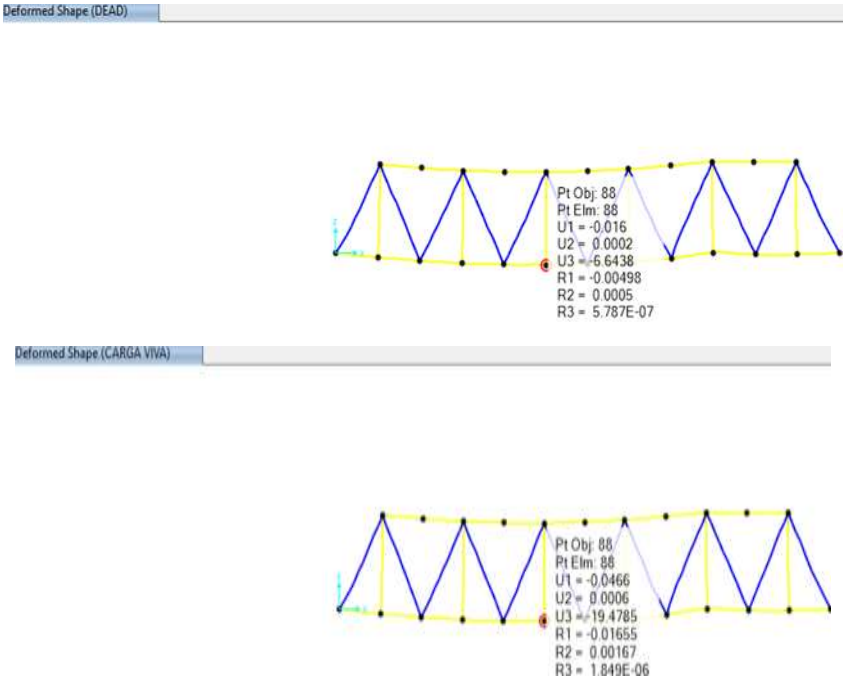
Por medio del siguiente calculo se comprueba que la deformación presentada en la estructura no supere la máxima.

$$Dmax = \frac{19\ m * 1000}{800} = 23.75\ mm$$

Por último, vamos a confirmar las deformaciones causadas por las diferentes cargas como se observa en la figura 46 la carga viva presenta una deformación de 19,47 mm y para la carga muerta una deformación de -6,64 mm en el punto con mayor nivel de formación. Ante estos resultados como se observa ninguno supero la deformación máxima que podría tener la estructura, en el caso que este valor supere el máximo dependiendo del rango entre los valores se aconseja replantear el diseño, si la diferencia no es mucha se puede dejar así ya que lo único que presentaría son vibraciones sobre todo si la estructura es metálica. Para este caso los valores son positivos. Entorno a la deflexión de la estructura.

Figura 46

Deformaciones presentadas por las cargas



Nota. Elaboración propia

8. CONCLUSIONES

Según los resultados obtenidos, se logró elaborar de manera adecuada el prediseño del puente peatonal en guadua ubicado en el barrio San Antonio, cumpliendo con los requisitos establecidos por el Código Colombiano de Puentes CCP 14, la Norma NRS-10 (capítulo G), la NTC 5525, la NTC 5300 y la norma DIN EN 52 186 de 1976. El presente prediseño se caracteriza por ser sostenible y funcional.

El análisis de cargas aplicado y la aplicación de las diferentes normativas encontradas permitió el calculo acertado de las diferentes estructuras del puente. Este proceso avanzo positivamente ya que no hubo ninguna inconsistencia a la hora de asignar dimensiones a la estructura. Además, que posteriormente se realizaran otras pruebas para determinar si las características de la estructura son las adecuada para soportas las cargas previstas.

La modelación realizada en SAP arrojo resultados satisfactorios teniendo en cuenta la incorporación de diversos procesos como calculo de cargas de diseño, dimensiones específicas entre otros. Al finalizar el proceso de modelación se cumplió con todos los aspectos evaluados por la aplicación. El uso de aplicaciones como complemento a los cálculos le brinda una mayor seguridad a la estructura ya que por medio de este es posible identificar con precisión los puntos críticos y las áreas de mayor carga. Por ejemplo, en nuestro caso se tiene que al lado derecho de la estructura se encuentra el área con mayor deformación a las cargas, sin embargo, este dato no es tan alto para necesitar realizar algún cambio.

Respecto a los dos laboratorios realizados (Flexión y Compresión); Se llevaron a cabo con el fin de correlacionar estos datos con la norma para que en propuestas futuras las estructuras

puedan integrar el uso de la guadua como material principal con sus respectivos estudios y normativas.

9. RECOMENDACIONES

- Para mantener la durabilidad y mantenimiento adecuado para laa estructura en guadua, se recomienda el uso de inmunizantes como aceite de linaza o aceite de Teak los cuales son altamente efectivos además que brindan una resistencia adicional al agua. Utilizar estos inmunizantes no solo contribuirá a que la estructura tenga más años de vida útil, sino que también promoverá prácticas sostenibles.

- Se recomienda realizar y anexar estudios adicionales que complementen la construcción del puente, tales como estudios hidrográficos, topográficos y de suelos actuales. Estos estudios proporcionarán una comprensión más completa del entorno y las condiciones del sitio, mejorando así la eficacia de la información utilizada en el diseño. La incorporación de estos análisis permitirá optimizar la estructura, asegurando su estabilidad y durabilidad a largo plazo.

- Para la parte de los laboratorios llevados a cabo se recomienda continuar con este estudio y realizar los ensayos propuestos por la norma NTC-5525 para lograr dar una caracterización adecuada del material. Con el fin de utilizar el guadúa en futuros proyectos estructurales.

10. BIBLIOGRAFÍA

Alcaldía Municipal de Sasaima. (2023). *Plan de desarrollo de Sasaima 2024-2027. Sasaima Verde y Sostenible.* Documento digital no publicado.

Andrade, S., Chaparro, V., Martínez, E., & Pérez, F. (2020). *Evaluación de puentes peatonales de la ciudad de Chihuahua, México: Un estudio descriptivo sobre caminabilidad y accesibilidad universal.* Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/344675603

Bejarano, A., & Daza, J. (2017). *Diagnóstico de las patologías físicas, químicas y mecánicas presentes en los puentes peatonales de la localidad de Engativá en Bogotá D.C.* Recuperado de file:///C:/Users/juanc/Downloads/DIAGN%C3%93STICO%20DE%20LAS%20PATOLOG%C3%8DAS%20F%C3%8DSICAS,%20QU%C3%8DMICAS%20Y%20MEC%C3%81NICAS%20PRESENTES%20EN%20LOS%20PUENTES%20PEATONALES%20DE%20LA%20LOCALIDAD%20DE%20ENGATIV%C3%81%20EN%20BOGOT%C3%81%20D.C..pdf

Castiblanco, L., & Torres, H. (2020). *Análisis de las propiedades físicas y mecánicas del culmo de guadua angustifolia en la construcción y estudio de un método de protección a la intemperie.* Recuperado de https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/25180

CONTEC. (2017). *NTC 5300: Cosecha y postcosecha del culmo de guadua angustifolia Kunth.* Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.

Construccionenguadua. (2017). *Construcciones en guadua ¿qué es el bambú?* Recuperado de https://construccionenguadua.wordpress.com/2017/05/18/primera-entrada-de-blog/

Cullen, R., Lopez, I., Smith, J., Sletten, J., & Price, K. (s.f.). *Walk this way: pedestrian bridges - unique design and análisis.* Recuperado de https://www.aisc.org/globalassets/nsba/conference-proceedings/2020/lopez_smith_bio-paper.pdf

Eleftheriou, E., Lopez Muñoz, L. F., Habert, G., & Zea Escamilla, E. (2022). *Parametric Approach to Simplified Life Cycle Assessment of Social Housing Projects. Sustainability*, 14(12), 7409. https://doi.org/10.3390/su14127409

Espinosa, C., García, C., & Trujillo, C. (2015). *Seminario internacional análisis, diseño y construcción de puentes.* Recuperado de https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/17123/ANALISIS%2C%20DISE%C3%91O%20Y%20CONSTRUCCI%C3%93N.pdf?sequence=1

Escobar, R. (2018). *Plan municipal de gestión del riesgo de desastres.* Municipio de Sasaima. Recuperado de http://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/handle/20.500.11762/28931

Flórez, M. (2020). *Simón Vélez Marcelo Villegas arquitecto del primer puente sostenible de la Capital Colombiana, Bogotá D.C., utiliza la guadua como material alternativo de construcción urbana.* Recuperado de Un cambio pionero sostenible para el urbanismo Capitalino: Puente Jenny Garzón | Arquitectura (arquitecturayempresa.es)

Fundación Jatun Sacha & CDC Ecuador. (2005). *Manual para el manejo y aprovechamiento de caña guadua. Conservación en áreas indígenas manejadas.* BIOFOR Consortium. Recuperado de file:///C:/Users/juanc/Downloads/DOC-20240716-WA0002..pdf

Girón, D., & Ibáñez, C. (2013). *La guadua: una maravilla natural de grandes bondades. EcoHabitar.* Recuperado de https://ecohabitar.org/la-guadua-una-maravilla-natural-de-grandes-bondades/

Hidalgo López, O. (1974). *Bambú, su cultivo y aplicaciones.* Estudios Técnicos Colombianos Ltda. Recuperado de Bambú; su cultivo y aplicaciones en : fabricación de papel, construcción, arquitectura, ingeniería, artesanía. (agrosavia.co)

Hoyos Ortiz, F. A. (2009). *La guadua: Otra bendición más que tributo a la guadua.* Recuperado de https://armadoenestruccturasengua.blogspot.com/2009/07/la-gudua-otra-bendicion-mas-que-tributo.html

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (CONTEC). (2013). *NTC 5525. Guadua – Requisitos para su uso en construcción.* ICONTEC.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificaciones (INCONTEC). (2010). *NSR-10: Norma sismorresistente 2010.* ICONTEC.

Instituto de Desarrollo Urbano. (2014). *Bogotá tiene 350 puentes peatonales y 389 puentes vehiculares; así lo determinó el inventario de puentes que realizó el IDU.* https://www.idu.gov.co.

Jaramillo, H., Gomez, J., & Suárez, A. (2022). *Design In Guadua Angustifolia For A Pedestrian Bridge In Potreros Cocorná Antioquia.* Recuperado de https://www.webology.org/data-cms/articles/20221102015728pmWEBOLOGY%2019%20(5)%20-%2061.pdf

Jácome, J. J. (2014). *El puente de guadua Arnulfo Briceño.* Recuperado de https://cronicasdecucuta.blogspot.com/2014/06/586-el-puente-de-guadua-arnulfo-briceno.html

Lamus, F., Urazán, C., & Andrade, S. (2014). *La Guadua angustifolia como alternativa para la construcción de puentes peatonales.* Recuperado de https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1215&context=ep

Martin, J. (2019). *Puentes modulares peatonales de luces cortas en Guadua angustifolia*. Recuperado de https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/75886

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2003). *Evaluación y documentación de prácticas sobresalientes sobre el manejo de la cosecha y maduración de la guadua en el departamento del Huila.* Fundación para el Desarrollo de la Ingeniería. Recuperado de Manual de guadua (doc-developpement-durable.org)

Muñoz Mojica, J. S., & Cruz Feo, M. del P. (2024). *Informe visita técnica.* Secretaría de Infraestructura y Planeación del Municipio de Sasaima, Cundinamarca.

Norma Técnica Colombiana [NTC] 5301. (2024). *Preservación y secado del culmo de guadua angustifolia kunth.* Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC).

Parra, J., & Preciado, J. (2018). *Análisis de patología estructural en puente de guadua angustifolia kunth - caso de estudio puente Jenny Garzón Calle 80.* Recuperado de https://www.semanticscholar.org/paper/An%C3%A1lisis-de-patolog%C3%ADa-estructural-en-puente-de-Ram%C3%ADrez-Moreno/73013069457c7a2185fb234fc00d5ade15aa443e

Pérez, J., & Gardey, A. (2022). *Puente peatonal - Qué es, estructura, definición y concepto.* Disponible en https://definicion.de/puente-peatonal/

Rincón, J. (2024). *Caracterización de las propiedades físico - mecánicas de la guadua angustifolia kunt proveniente de la ciudad de villavicencio (meta).* Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás. Recuperado de https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/54729/2024juanrincon.pdf?sequence=7&isAllowed=y

Semana. (2013). *Medellín: El puente de guadua que también colapsó.* Recuperado de https://www.semana.com/nacion/articulo/colapso-puente-de-guadua-en-medellin/363057-3/

Stamm, J. (2005). *Curso de construcción de puentes en guadua.* Publicación interna.

Universidad Tecnológica de Pereira (UTP). (2023). *El Guaducto está en buenas condiciones de seguridad.* Recuperado de https://bamboo.utp.edu.co

11. ANEXO 1. Carta de solicitud por parte de la comunidad expresando la necesidad.

Sasaima-Cundinamarca, 2 de octubre de 2023
Oficio No. AMS-2023-010-144

Ingeniero
DIEGO BEDOYA
Coordinador Académico
Fundación Universitaria UNIAGRARIA
Correo electrónico. - bedoya.diego@uniagraria.edu.co
Facatativá-Cundinamarca

Ref.- Presentación estudiantes de la facultad de Ingeniería Civil.

Respetado Doctor:

La Administración Municipal "Sasaima Cree, Sasaima Avanza", en cabeza de nuestro Alcalde DANNY ENRIQUE RICO ZAMORA presenta un cordial saludo, deseándole éxitos en la dirección de su cargo.

Por medio del presente me permito presentar a los jóvenes: JUAN DIEGO URREGO MEDINA, identificado con la cédula de ciudadanía No. 1.000.713.021 de Sasaima y JUAN DIEGO COLORADO PELAEZ, identificado con la cédula de ciudadanía No. 1.003.566.198 de Villeta, estudiantes de la facultad de Ingeniería Civil de la Fundación Universitaria Uniagraria de la sede del Municipio de Facatativá, quienes van a adelantar en el Municipio de Sasaima bajo la supervisión de la Secretaría de Infraestructura y Planeación la elaboración del proyecto "pre diseño puente peatonal Barrio San Antonio" como trabajo de grado.

Cordialmente,

JOSE ALFREDO BASTO SANCHEZ
Secretario de Infraestructura y Planeación
Sasaima-Cundinamarca

Elaboró..- Juliana Silva Varón-Secretaria Ejecutiva
Revisó.- Neidy Yineth Medina Medina-Asesora Jurídica

12. ANEXO 2. Registro fotográfico muestras de laboratorio.

ANEXO 2. Registro fotográfico muestras de laboratorio.



Probeta #1 Ensayo de compresión



Probeta #2 (Nudo) Ensayo de compresión



Probeta #3 Ensayo de compresión



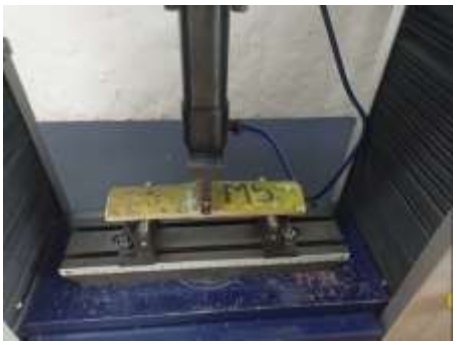
Probeta #4 (Nudo) Ensayo de compresión



Probeta #3 Ensayo de compresión



Probeta# 4 (Nodo) Ensayo de compresión



Probeta #5 Ensayo a flexión



Probeta #4 Ensayo a flexión



Probeta #3 Ensayo a flexión



Probeta #2 Ensayo a flexion



Probeta #1 Ensayo de flexión

15. ANEXO 3. Graficas de Esfuerso vs Deformacion arrojadas por la maquina universal de laboratorios en los ensayos a flexion.

ANEXO 3. Graficas de Esfuerso vs Deformacion arrojadas por la maquina universal de laboratorios en los ensayos a flexion.



Probeta #1 Grafica de flexion



Probeta #2 Grafica de flexión



Probeta #3 Grafica de flexión



Probeta #4 Grafica de flexión



Probeta #5 Grafica de flexión

16. ANEXO 4. Resultados del Ensayo a Flexión de la Guadua en Excel

Este anexo incluye un archivo en formato Excel que contiene los valores de los resultados del ensayo a flexión de la guadua. En este archivo, se encuentran organizados los datos obtenidos durante los ensayos, tales como las cargas aplicadas, deformaciones registradas, y otros parámetros relevantes para el análisis estructural del material.

Para acceder al archivo, puede dirigirse al archivo adjunto o ingresar al siguiente enlace donde encontrará el documento en una carpeta de Google Drive:

https://drive.google.com/drive/folders/1x8i87KBjpFwnVC7eViJbEyEdOXgO_zLY?usp=drive_link

17. Anexo 5: Cálculos para el Avalúo de Cargas en Excel

Este anexo incluye un archivo en formato Excel que contiene los cálculos detallados para el avalúo de cargas en el prediseño del puente peatonal. El archivo presenta las fórmulas utilizadas, los valores ingresados, y los resultados de los cálculos necesarios para el análisis estructural del puente.

Para acceder al archivo, puede dirigirse al archivo adjunto o ingresar al siguiente enlace donde encontrará el documento en una carpeta de Google Drive:

https://drive.google.com/drive/folders/1x8i87KBjpFwnVC7eViJbEyEdOXgO_zLY?usp=drive_link

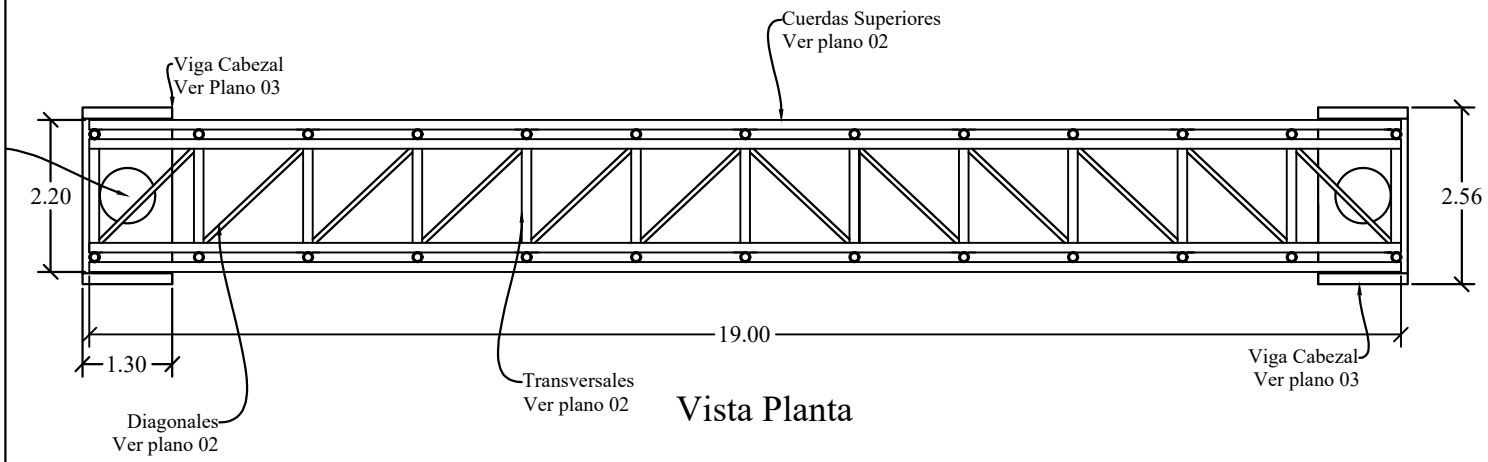
19. ANEXO 6. Diseños arquitectónicos del puente peatonal.

En este anexo se incluye el archivo digital generado en AutoCAD, que contiene el diseño arquitectónico del puente peatonal ubicado en el barrio San Antonio. El diseño presenta las dimensiones estructurales, la distribución espacial y los detalles constructivos organizados en vistas y planos técnicos. Estos permiten una comprensión clara del proyecto.

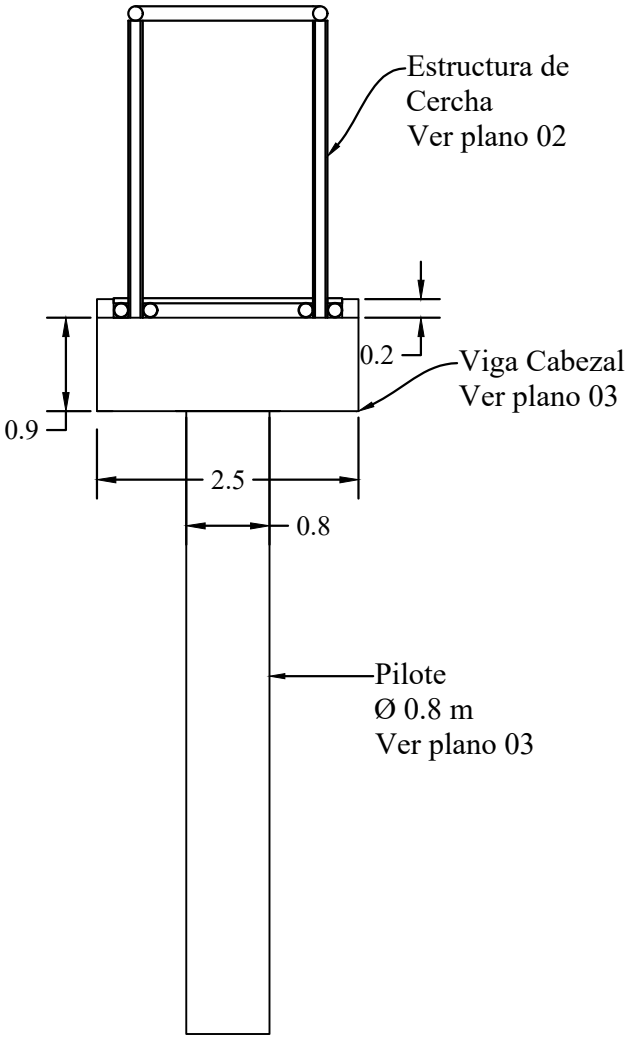
Además de acceder al archivo en formato .dwg en el siguiente enlace, a continuación, se puede visualizar el diseño en formato de imágenes ampliadas, que permiten examinar los detalles del puente de manera más clara y directa. Este formato está incluido dentro de este documento, facilitando la revisión del diseño sin necesidad de software especializado.

Enlace:

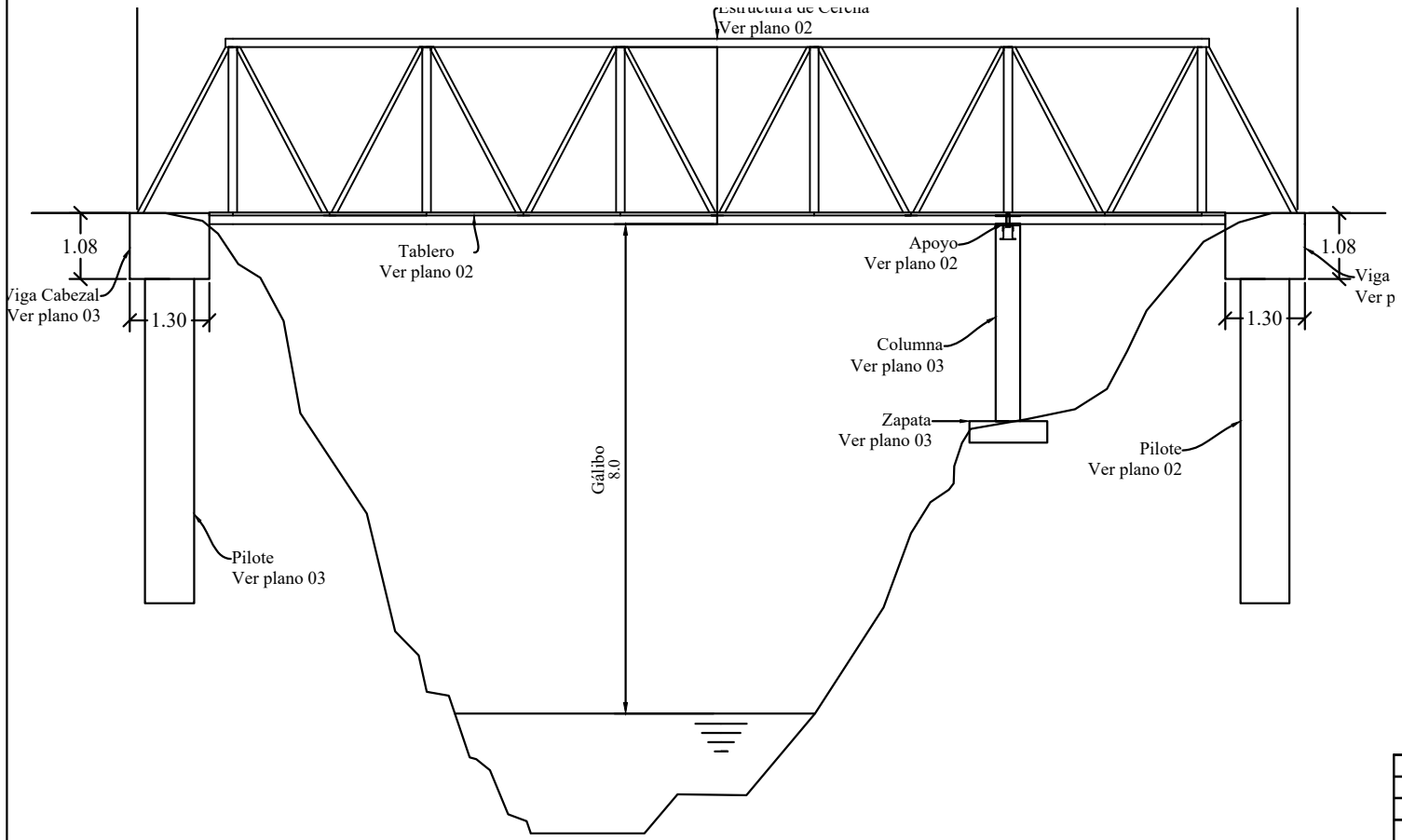
https://drive.google.com/drive/folders/1x8i87KBjpFwnVC7eViJbEyEdOXgO_zLY?usp=drive_link



Vista Planta

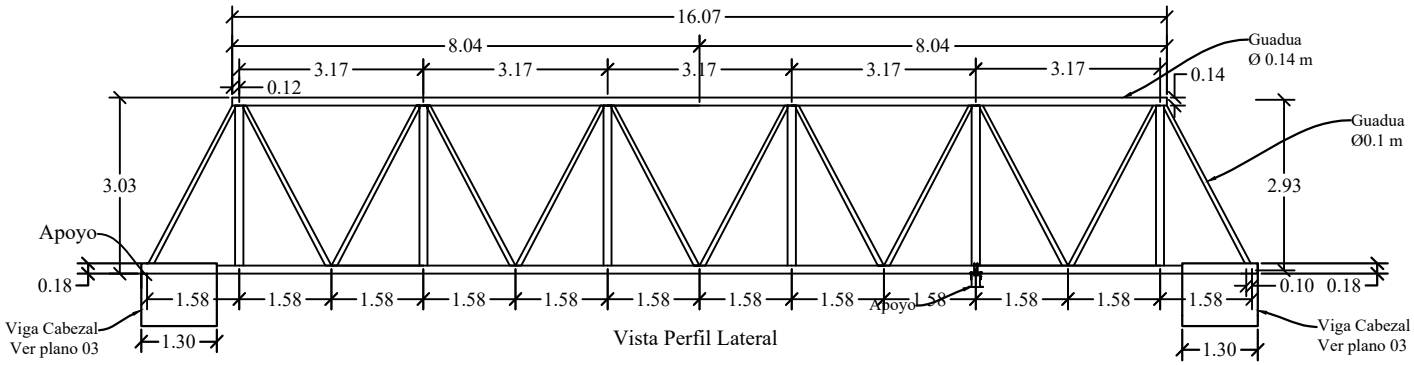


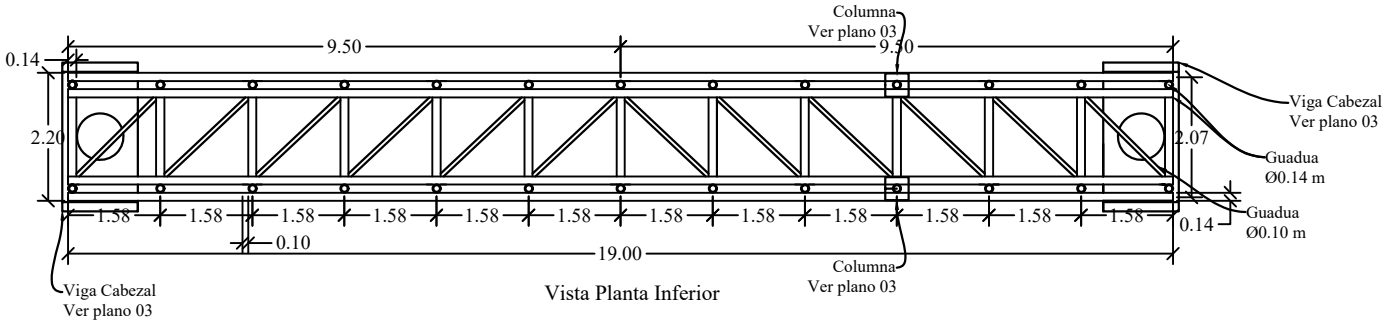
Sección Transversal

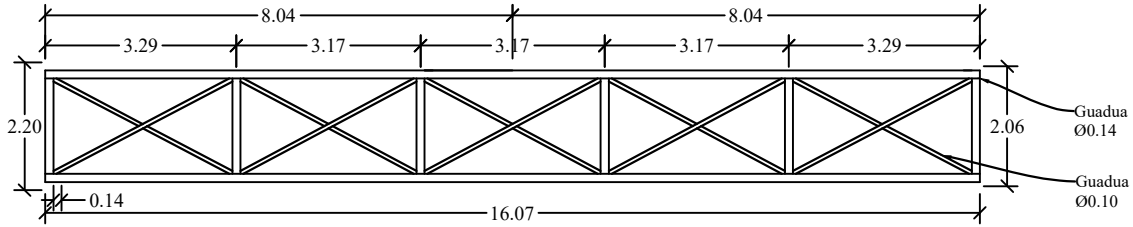


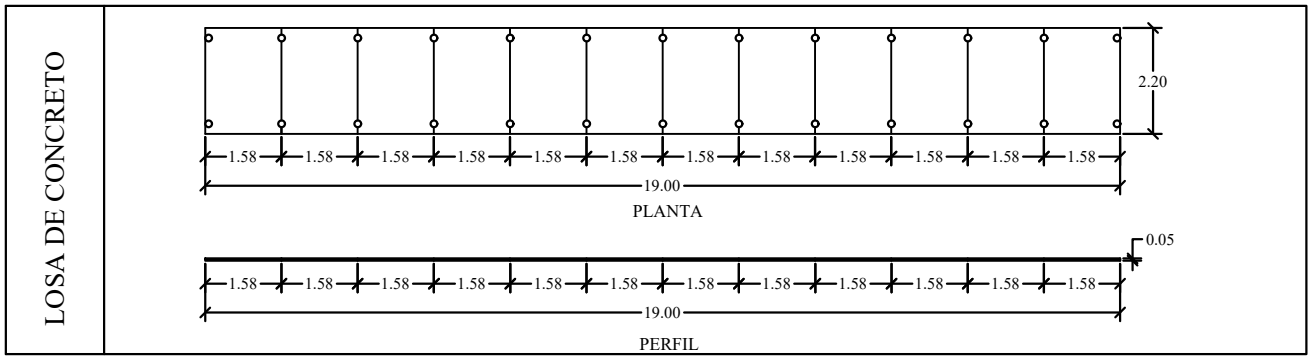
Elevación

UNIDADES	DIBUJADO	JUAN COLORADO / JUAN URREGO	UNIAGRARIA
m	REVISADO	MARIA FERNANDA CULMA	
ESCALA	FECHA	19/09/2024	
1 : 1	LAMINA / TAREA		Nº DE PLANO
	PUENTE PEATONAL BR. SAN ANTONIO SASAIMA		01

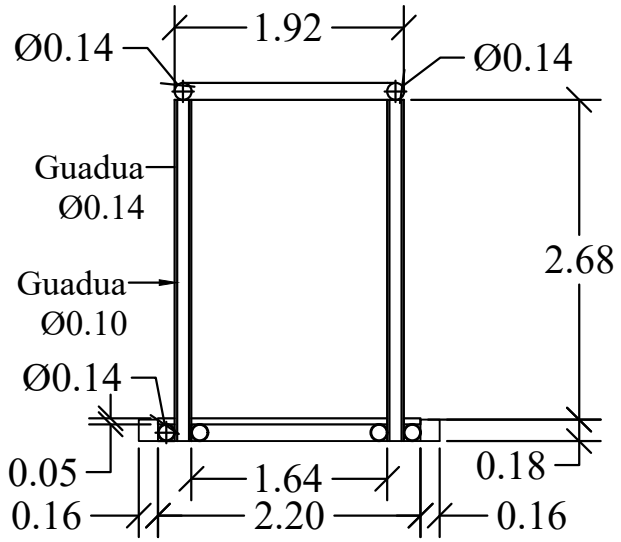




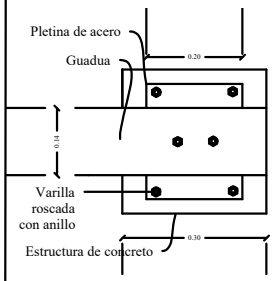




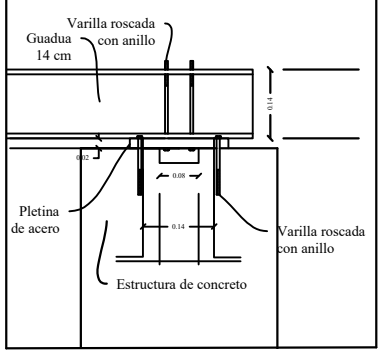
Sección Transversal



Apoyo Planta

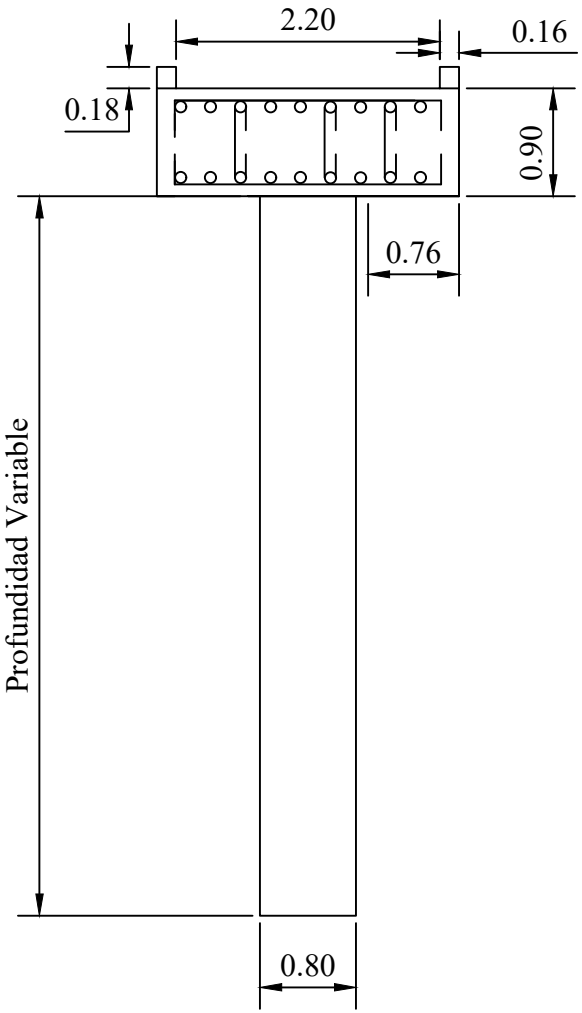


Apoyo Perfil

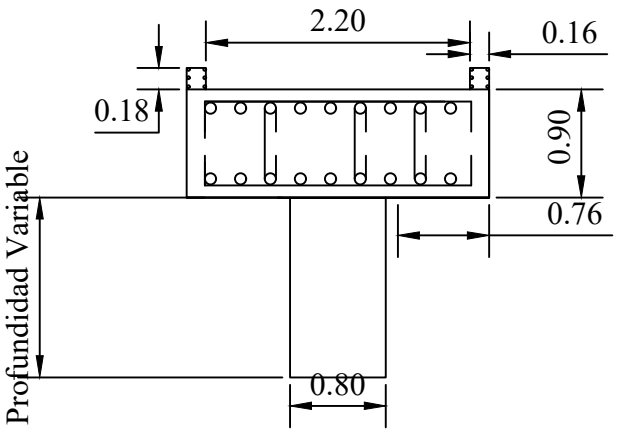


UNIDADES	DIBUJADO	JUAN COLORADO / JUAN URREGO	UNIAGRARIA
m	REVISADO	MARIA FERNANDA CULMA	
ESCALA	FECHA	19/09/2024	
1 : 1	LAMINA / TAREA		Nº DE PLANO
	PUENTE PEATONAL BR. SAN ANTONIO SASAIMA		02

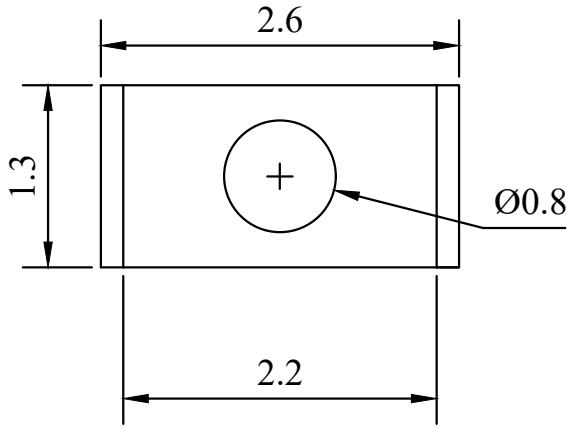
Vistas de Zapatas y Columnas



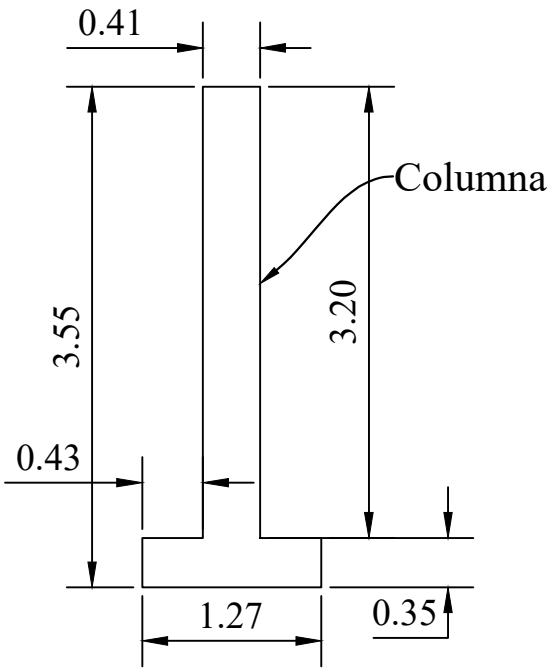
Vista Longitudinal



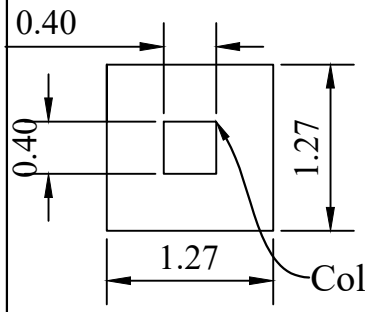
Vista Transversal



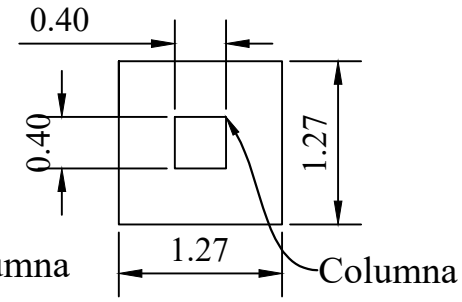
Vista Planta



Vista Lateral



Vista Planta
Zapata



Vista Planta
Zapata

UNIDADES	DIBUJADO	JUAN COLORADO / JUAN URREGO	UNIAGRARIA
m	REVISADO	MARIA FERNANDA CULMA	
ESCALA	FECHA	19/09/2024	
1 : 1	LAMINA / TAREA		Nº DE PLANO
	PUENTE PEATONAL BR. SAN ANTONIO SASAIMA		03

20. Anexo 7. Modelamiento en SAP2000

Este anexo contiene el archivo digital generado en SAP2000, el cual incluye el modelamiento del puente peatonal ubicado en el barrio San Antonio. En este archivo, se puede observar la comprobación del prediseño estructural del puente, con las simulaciones y análisis correspondientes, que permiten verificar la viabilidad del proyecto desde el punto de vista estructural.

Para acceder al archivo, puede dirigirse al archivo adjunto o ingresar al siguiente enlace donde encontrará el documento en una carpeta de Google Drive:

https://drive.google.com/drive/folders/1x8i87KBjpFwnVC7eViJbEyEdOXgO_zLY?usp=drive_link