

DISEÑO ARQUITECTÓNICO DE UN REFUGIO EN MATERIALIDAD BAMBÚ A PARTIR DE
HERRAMIENTAS PARAMÉTRICAS. ESTUDIO DE CASO EN SAO PAULO BRASIL.



ANGIE MELISSA MUÑOZ

JOHAN SEBASTIAN ROBLEDO LEON

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA DE POPAYÁN

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA

ARQUITECTURA

POPAYÁN, CAUCA

2023

DISEÑO ARQUITECTÓNICO DE UN REFUGIO EN MATERIALIDAD BAMBÚ A PARTIR DE
HERRAMIENTAS PARAMÉTRICAS. ESTUDIO DE CASO EN SAO PAULO BRASIL.

ANGIE MELISSA MUÑOZ

CODIGO : 90162052

JOHAN SEBASTIAN ROBLEDO LEON

CODIGO: 90172026

TRABAJO DE GRADO INVESTIGATIVO

PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE ARQUITECTO

DIRECTOR TRABAJO DE GRADO

ARQUITECTA AMMY VALENTINA CHILITO ERIRA

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA DE POPAYÁN

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA

ARQUITECTURA

POPAYÁN, CAUCA

2023



FUNDACIÓN
UNIVERSITARIA
DE POPAYÁN

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado "DISEÑO ARQUITECTÓNICO DE UN REFUGIO EN MATERIALIDAD BAMBÚ A PARTIR DE HERRAMIENTAS PARAMÉTRICAS. ESTUDIO DE CASO EN SÃO PAULO BRASIL.", presentado por los estudiantes **ANGIE MELISSA MUÑOZ MUÑOZ** y **JOHAN SEBASTIÁN ROBLEDO LEÓN** el día 05 de octubre de 2023, en modalidad de **TRABAJO DE GRADO INVESTIGATIVO**, ha sido aprobado al cumplir con los requisitos establecidos para optar al título de **ARQUITECTO**.

Director Trabajo de Grado
ARQ. AMMY VALENTINA CHILITO ERIRA

Jurado Interno de Trabajo de Grado
ARQ. MG. LIDA PATRICIA RIVERA PALOMINO

Jurado Interno de Trabajo de Grado
ARQ. FABIO ALFONSO ANDRADE SUAREZ

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco de corazón a Dios por el regalo de la vida y por su amor incondicional que me ha impulsado a culminar con gozo y alegría lo que un día comencé. Su fuerza ha sido mi impulso constante para hacer realidad este sueño que hoy celebro.

A mi amada familia, les dedico mis más profundos agradecimientos con todo mi amor. En los momentos de dificultad y cansancio, han estado a mi lado, levantando mis manos y fortaleciéndome. Les agradezco de corazón por su apoyo incondicional, por estar siempre presentes y por impulsar mis proyectos con su amor y confianza. Su amor, apoyo y aliento han sido fundamentales en mi camino hacia el éxito. Sin ustedes, no habría sido posible llegar hasta aquí. Estoy eternamente agradecida por tener una familia tan maravillosa como la nuestra.

Quiero expresar mi gratitud a mi asesora de tesis Arquitecta Ammy Valentina Chilito por su dedicación, paciencia y valiosa orientación a lo largo de este arduo proceso. Su experiencia y conocimientos han sido fundamentales para encauzar nuestras ideas y llevar a cabo la investigación que hoy presento. Me siento sumamente afortunada de haber contado con su apoyo incondicional y guía constante.

Por último, pero no menos importante, agradezco a mi Universidad por ser una mediadora entre el conocimiento y la acción, además de proporcionarme un entorno de aprendizaje enriquecedor, lleno de oportunidades y recursos que me han permitido desarrollar mis habilidades y conocimientos en mi campo de estudio.

ANGIE MELISSA MUÑOZ

Quiero expresar mi profunda gratitud a Dios, el ser supremo que me ha bendecido con la vida y ha permitido que todo en ella sea posible debido a su grandeza y amor incondicional. Su guía y protección han sido fundamentales en mi camino hacia el logro de mis metas y sueños.

A mi familia, quiero dedicarles mis más sinceros agradecimientos por su apoyo incondicional y desinteresado. En particular, quiero destacar el papel fundamental de mi querida madre, mi valiente padre y mi increíble hermano, quienes han creído en mí desde el principio y me han brindado la oportunidad de perseguir mis aspiraciones. Su constante aliento y confianza en mis capacidades han sido un motor que impulsa mi determinación y me ha llevado a alcanzar el éxito.

Agradezco a mi universidad que a través de sus profesores, he adquirido valiosos conocimientos que hoy me permiten desarrollar este proyecto, también por proporcionarme los recursos necesarios y por fomentar un ambiente propicio para mi crecimiento intelectual.

Además, quiero expresar mi sincero agradecimiento a mi compañera de tesis Angie Muñoz por su entrega y dedicación a lo largo del desarrollo de este proyecto. Su apoyo constante, su perspectiva invaluable y su trabajo arduo han sido un pilar fundamental en la realización exitosa de este emprendimiento. Su compromiso y colaboración han sido invaluable, y no puedo expresar suficientemente mi gratitud por su presencia en este camino.

JOHAN SEBASTIAN ROBLEDO LEON.

Contenido

1.	Introducción	12
2.	Formulación Del Problema	14
3.	Objetivo General	17
3.1	Objetivos Específicos	17
4.	Justificación	18
5.	Estado del Arte	20
5.1	Marco Teórico.....	20
5.1.1	Arquitectura en Bambú	20
5.1.2	Arquitectura Paramétrica.....	22
5.2	Marco Conceptual	23
5.2.1	Arquitectura sostenible.....	23
5.2.2	Diseño Paramétrico	34
5.3	Marco Histórico	40
5.3.1	Historia y Evolución Del Bambú	40
5.3.2	Historia y Evolución De Diseño Paramétrico	44
5.4	Marco Contextual	45
5.4.1	Contexto Físico – Espacial.....	45
5.4.2	Contexto Físico – Ambiental	54
5.4.3	Contexto Socio Económico	58
5.4.4	Bambú en Brasil	59
5.4.4	Concepto	61
5.5	Marco Referencial.....	63
5.5	Marco Normativo.....	67
5.6.1	Normativa Internacional.....	67
5.5.2	Normativa Nacional y Local.	68
6.	Metodología.....	70
6.1	Tipo De Metodología.....	70

6.2	Etapas De Investigación.....	70
6.3	Técnicas e Instrumentos De Recolección De Información	71
6.4	Alcance del Trabajo.....	73
7.	Cronograma y Presupuesto.....	74
8.	Análisis de Resultados	75
8.1	Proceso de Diseño Paramétrico	75
8.1.1	Geometrización Base.....	76
8.1.2	Definición de Parámetros y Variables	80
8.1.3	Configuración de Diseño.....	85
8.2	Análisis Solar y de Vientos por Medio del Plugin LadyBug.....	87
8.2	Análisis Estructural y Simulación por Medio del Plugin Karamba	90
9.	Complementos Constructivos	95
9.1	Reforzamiento Estructural	95
9.2	Recubrimiento del refugio	97
10.	Conclusiones	100
11.	Bibliografía	102
12.	Anexos	108

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Brasil, Sao paulo, Guararema	45
Ilustración 2. Mapa Topográfico	47
Ilustración 3. Perfil Malla Vial Arterial	52
Ilustración 4. Perfil Malla Vial Intermedia.....	53
Ilustración 5. Perfil Malla Vial Local	53
Ilustración 6. Mapa Hidrográfico Área de Estudio, Guararema	54
Ilustración 7. Análisis Climático: Bóveda solar , Radiación solar , Vientos	56
Ilustración 8. Gráfico de temperatura, húmeda y precipitación.....	57
Ilustración 9. Interpretación Concepto "Bagua"	63
Ilustración 10. Iglesia Privada de Pereira	64
Ilustración 11. Restaurante Vedana	65
Ilustración 12. El Arco En Green School	66
Ilustración 13. Fase 1: Definición Geometría	76
Ilustración 14. Fase 2 : Creación y Transformación del Polígono Inscrito en la Circunferencia. 77	77
Ilustración 15. Fase 3 : Creación de la Estructura Geométrica Basada en Polígonos Inscritos ...	78
Ilustración 16. Emplazamiento con la geometría base	79
Ilustración 17. Fase 4 : Construcción de Superficies Hiperbólicas A	80
Ilustración 18. Construcción de Superficies Hiperbólicas B.....	81
Ilustración 19. Fase 6: Selección de Segmentos Opuestos	82
Ilustración 20. Fase 7 : Eje U y V de Tejido Estructural	83
Ilustración 21. Fase 8 : Estructura Principal en Bambú.....	84
Ilustración 22. Código del proceso de diseño por medio de plungin Galapagos	85
Ilustración 23. Variables del Plugin Karamba.....	86
Ilustración 24. Estructura final	87
Ilustración 25. Algoritmo LadyBug.....	87
Ilustración 26. Radiación solar y Rosa de vientos	88
Ilustración 27. Impacto de radiación solar sobre superficie de cubierta.	89
Ilustración 28. Tiempo de exposición solar.	90
Ilustración 29. Código Análisis Estructural	90
Ilustración 30. Puntos anclas y Aplicación de esfuerzo puntual	92
Ilustración 31. Esfuerzos a tracción y compresión.....	93
Ilustración 32. Diagrama de desplazamiento.....	94
Ilustración 33. Deformación estructural	94
Ilustración 34. Perímetros de paraboloides Doble	96

Ilustración 35. Inyección de Concreto.....	96
Ilustración 36. Guaya Metálica.....	97
Ilustración 37. Recubrimiento del refugio.....	99

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Etapa de crecimiento Guadua , moso Bambusa.....	30
Figura 2. Fotografías de diversos tratamientos que puede recibir el bambú.....	32
Figura 3. Tejido Tradicional.....	39
Figura 4. Global Natural Bamboo Hábitat 1980 - National Geographic.....	41

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Familias de bambú más comunes, Lobovikov (2007)	29
Tabla 2. Propiedades mecánicas establecidas por Hidalgo	32
Tabla 3. Categoría de uniones por Andry Widyowijatnoko (2012)	43
Tabla 4. Especies de bambú más comunes en Brasil.....	60
Tabla 5. Matriz De identificación De La Normativa Internacional Sobre Bambú.....	67
Tabla 6. Matriz De identificación De La Normativa Nacional Sobre Bambú	68
Tabla 7. Instrumentos de recolección de información etapa 1	71
Tabla 8. Instrumentos de recolección de información etapa 2	72
Tabla 9. Instrumentos de recolección de información etapa 3.....	72
Tabla 10. Cronograma.....	74
Tabla 11. Presupuesto	74
Tabla 12. Propiedades Mecánicas aplicadas al Bambú Mosso	91

Resumen

El bambú ha ganado popularidad como material de construcción debido a su sostenibilidad, capacidad de renovación y resistencia, aunque su diseño estructural presenta desafíos debido a sus propiedades únicas. Para superar estos desafíos, el diseño paramétrico ha demostrado ser una herramienta invaluable en la construcción de estructuras eficientes y multifuncionales con bambú. El diseño paramétrico aprovecha la flexibilidad y curvatura natural del bambú para crear formas orgánicas y suaves que son difíciles de lograr con otros materiales. Es por esto que este trabajo de grado se enfoca en el diseño arquitectónico de un refugio de bambú, utilizando herramientas paramétricas en Sao Paulo, Brasil, con el propósito de analizar las posibilidades, limitaciones del bambú en el diseño y construcción de estructuras arquitectónicas. Se espera que los resultados demuestren el potencial del diseño paramétrico para generar geometrías complejas, optimizando el rendimiento del material y estructural del bambú, proporcionando información sobre los desafíos y oportunidades asociados con el diseño de estructuras más versátiles y eficientes. Esta investigación busca aumentar el interés sobre la importancia de adoptar prácticas respetuosas con el medio ambiente en el campo de la construcción. Además, se busca motivar a los estudiantes a utilizar el diseño paramétrico como una herramienta integral en sus proyectos arquitectónicos.

Palabras claves: Bambú, sostenibilidad, diseño paramétrico, estructuras eficientes, geometrías complejas.

Abstrac

Bamboo has gained popularity as a building material due to its sustainability, renewability and strength, yet its structural design presents challenges due to its unique properties. To overcome these challenges, parametric design has proven to be an invaluable tool in building efficient and multifunctional structures with bamboo. Parametric design takes advantage of bamboo's natural flexibility and curvature to create smooth, organic shapes that are difficult to achieve with other materials. This is why this degree work focuses on the architectural design of a bamboo shelter, using parametric tools in Sao Paulo, Brazil, with the purpose of analyzing the possibilities and limitations of bamboo in the design and construction of architectural structures. The results are expected to demonstrate the potential of parametric design to generate complex geometries, optimizing the material and structural performance of bamboo, providing information about the challenges and opportunities associated with the design of more versatile and efficient structures. This research seeks to increase interest in the importance of adopting environmentally friendly practices in the field of construction. In addition, it seeks to motivate students to use parametric design as an integral tool in their architectural projects.

key words: Bamboo, sustainability, parametric design, efficient structures, complex geometries.

1. Introducción

Como señala Rodríguez (2006) desde tiempos remotos, el bambú ha sido apreciado por la humanidad como una forma de mejorar la calidad de vida. Por esta razón, en la actualidad, muchas personas alrededor del mundo optan por el bambú como sustituto de materiales más costosos, debido a sus beneficios económicos y sostenibles. Se espera que en un futuro cercano su uso se vuelva masivo, tanto como fuente de energía, como alternativa de la madera de árboles, gracias a su capacidad de renovación y su naturaleza sostenible. Según Pascual y colaboradores (2009), ahora se utilizan técnicas avanzadas para convertir las cañas de bambú en contrachapados resistentes, tableros de fibras orientadas, vigas de soporte, tableros laminados encolados y tableros laminados enchapados, lo que demuestra su creciente aplicación y relevancia en la construcción moderna.

Aunque el bambú tiene evidentes ventajas, su uso ha sido restringido a estructuras temporales y construcciones de baja calidad, debido a la complejidad de las propiedades naturales del bambú aplicadas a la construcción, a la falta de datos de diseño estructural y la exclusión en los códigos de construcción. Para superar estos desafíos, el diseño paramétrico se presenta como una herramienta de gran utilidad, como afirma Morales (2012). Dado que este enfoque se basa en la creación de la geometría a través de la definición de una serie de parámetros iniciales y la programación de las relaciones formales que existen entre ellos. Esta metodología implica el uso de variables y algoritmos para generar un conjunto de relaciones matemáticas y geométricas, lo que permite no solo llegar a un diseño específico, sino también explorar todo el espectro de soluciones posibles que la variabilidad de los parámetros iniciales permita, lo cual facilita la creación de formas complejas y la evaluación de múltiples soluciones de diseño en poco tiempo. Asimismo, se pueden generar estructuras de bambú con geometrías optimizadas, adaptadas a las propiedades naturales del material y a los requerimientos específicos del proyecto. La aplicación de esta herramienta no solo facilita la creación de formas complejas y atractivas, sino que también permite la evaluación eficiente de diferentes soluciones de diseño, acelerando el proceso de toma de decisiones y reduciendo costos y errores en la construcción. En este sentido, según Morales (2012), al permitir la generación

automatizada de formas y estructuras complejas se eliminan las tediosas tareas repetitivas, la necesidad de cálculos manuales complicados y la posibilidad del error humano. Este método puede generar mayor eficiencia, precisión y calidad en la construcción de estructuras de bambú.

En este sentido, el propósito general de esta tesis es diseñar un refugio arquitectónico en materialidad bambú a partir de herramientas paramétricas. Para ello, se realizará un estudio de caso enfocado en la generación geométrica de estructuras. En este contexto, se presta apoyo en el diseño al proyecto de refugio en San Paulo, Brasil, desarrollado por la oficina de diseño y construcción Arquitectura BAMBOOM, dirigida por el arquitecto Xavier Pino. La construcción de este proyecto fue ejecutada por el maestro constructor Robert Harris, con el apoyo del consultor internacional Jorg Stamm, durante el año 2021.

Para alcanzar el objetivo general, se plantean tres objetivos específicos que abarcan desde la revisión bibliográfica y análisis de referentes, el diseño y modelado digital de la estructura en material bambú, utilizando la herramienta de diseño paramétrico Rhinoceros y su componente gráfico Grasshopper. Posteriormente, se realizarán simulaciones de variables para evaluar la eficiencia y la versatilidad de la estructura diseñada, y se analizarán los resultados obtenidos para elaborar conclusiones y recomendaciones sobre el uso del diseño paramétrico como herramienta para la generación geométrica de estructuras de bambú. Se utilizará una metodología mixta que combina enfoques de recolección de datos cualitativos y cuantitativos. Esto establecerá una base teórica sólida para el desarrollo del estudio, que abordará de manera integral los aspectos técnicos, estéticos y funcionales de la estructura diseñada.

En resumen, el diseño del refugio en Sao Paulo, Brasil, servirá como caso de estudio para mostrar cómo el diseño paramétrico puede ayudar a generar formas complejas y óptimas desde el punto de vista estructural como geométrico. Los resultados de esta investigación serán de gran utilidad para arquitectos, ingenieros e incluso constructores interesados en el uso del bambú como material de construcción sostenible y renovable.

2. Formulación Del Problema

Según Villegas (2003), el arquitecto colombiano Simón Vélez destaca que el bambú ha desempeñado un papel fundamental en la historia de la arquitectura Latinoamericana, siendo una técnica constructiva ancestral que ha permitido la construcción de estructuras resistentes y adaptables a las condiciones ambientales y culturales de la región. De igual manera en las regiones tropicales de Latinoamérica, es común la utilización de diversas especies de bambú locales para construir viviendas, medios de transporte, herramientas y otros elementos esenciales (Franco & Yessenia, 2017). Además, este material ha sido utilizado durante generaciones debido a su accesibilidad, durabilidad y eficacia para adaptarse a las condiciones ambientales de la zona. Este hecho indica que el bambú tiene una estrecha relación con la cultura y las tradiciones de la comunidad en la que se emplea.

Por lo tanto, Según González (2010), el bambú como material de construcción se considera dentro del concepto de arquitectura vernácula, que hace referencia a aquello que ha nacido y se ha originado en el mismo lugar donde se encuentra, es popular y sigue las ideas, normas o costumbres del pasado. Desafortunadamente, con la industrialización, estas prácticas han disminuido, lo que ha resultado en la pérdida de oficios ancestrales, la transformación de los materiales y la desaparición de las técnicas constructivas tradicionales (Tilleria González, 2010).

Gonzales (2010) señala que lamentablemente, en la actualidad existe una percepción equivocada de la arquitectura vernácula, la cual se relaciona erróneamente con lo rural y la escasez, relegando al bambú a un segundo plano, clasificándolo como un material de segunda categoría y transitorio en la arquitectura contemporánea. Esto disminuye el interés y la importancia de este material como una opción sostenible en el diseño y construcción de edificaciones. Además, los métodos constructivos tradicionales con bambú presentan ciertas limitaciones en términos de aprobación por parte de la población en general debido a que según Rodríguez (2006) la relevancia del bambú en una determinada región suele depender del nivel económico de la población local y de la preferencia por el uso de materiales más duraderos, esto quiere decir que su valor e importancia puede disminuir cuando se compara con opciones más duraderas ya ampliamente utilizadas como el acero y el concreto.

En consecuencia, la aplicación de estos métodos tradicionales en el campo de la ingeniería y la arquitectura se ve limitada debido a la falta de una demanda significativa por

parte de los clientes para el uso del bambú como elemento estructural y de diseño. No obstante, es alentador observar que algunos diseñadores y constructores han optado por utilizar este material como una opción sostenible en sus proyectos. Por consiguiente, esto ha tenido un impacto positivo ya que, según el maestro constructor Jörg Stamm (2008), en Latinoamérica, los métodos tradicionales de diseño y construcción en bambú se han tecnificado gracias a la experiencia y el conocimiento adquirido por diseñadores y constructores expertos en este material a lo largo de los años. Estos métodos tradicionales utilizados en el diseño de arquitectura en bambú se caracterizan por sus procesos análogos, los cuales suelen incluir técnicas de dibujo a mano alzada, diagramas bidimensionales y modelos a escala, entre otros. Si embargo, estos métodos presentan algunas restricciones importantes que deben ser consideradas como la falta de precisión y las dificultades para manejar diseños complejos o detallados. De igual forma, la habilidad manual del diseñador puede ser un factor determinante en el resultado final y pueden llevar más tiempo y ser más costosos que los procesos digitales. A pesar de que la edificación en bambú ofrece diversas ventajas como una alternativa sostenible, es importante abordar ciertas limitaciones, desafíos técnicos y culturales antes de que este material pueda ser ampliamente aceptado como un elemento estructural alternativo (Estrada Meza, 2022).

En general, Según Medrano (2016), el uso del bambú como material estructural requiere, en gran medida, del estudio y conocimiento de sus propiedades físico-mecánicas, así como de los procesos análogos de diseño y construcción. Estos aspectos han sido considerados un obstáculo para la óptima utilización del bambú en la construcción y diseño de edificaciones a gran escala, ya que pueden limitar la eficiencia y la innovación en el diseño. Por esta razón, los nuevos diseñadores de arquitectura contemporánea que percibe a este material como un elemento fundamental para combatir los efectos del cambio climático y la aplicación de soluciones sostenibles de construcción, ven al diseño paramétrico como una herramienta valiosa en la arquitectura en bambú. Como señala Mx (2019) la implementación del diseño paramétrico en proyectos con bambú representa un gran avance en la búsqueda de nuevas alternativas de diseño, debido a su capacidad para generar formas y estructuras complejas con un mayor grado de precisión y flexibilidad, convirtiéndose así en un gran aliado para la arquitectura sostenible.

En conclusión, para explorar la combinación de la arquitectura en bambú y la tecnología de diseño paramétrico, se llevará a cabo un estudio de caso en Sao Paulo, Brasil. Esta ciudad se caracteriza por la construcción de grandes edificios modernos, como señala García (2014) las cuales se inspiran en el movimiento moderno influenciado por propuestas del arquitecto Le Corbusier, que reflejan las necesidades de representación simbólica de un estado totalitario, lo

que ha tenido implicaciones negativas en el medio ambiente y la identidad cultural de la ciudad, debido a que está fue diseñada en torno al automóvil con una densidad urbana alta, amplias avenidas, muchas zonas verdes y grandes funciones agrupadas, lo que aumenta los desplazamientos. Adicionalmente, como menciona López (2012) el uso de materialidades como el concreto y el acero permitió a los arquitectos modernistas crear formas geométricas simples y limpias, así como también explorar la idea de "la casa como máquina para habitar". Este concepto estableció las bases teóricas y prácticas para el desarrollo de edificaciones en las cuales la plasticidad del concreto les brindó la libertad de experimentar con volúmenes, superficies y espacios compactos, sin embargo, el uso generalizado de materiales como el concreto y el acero en la arquitectura modernista ha tenido un impacto significativo en el medio ambiente de Brasil y especialmente de una ciudad como Sao Paulo. Es decir que la producción de concreto, por ejemplo, según Valderrama y colaboradores (2011) requiere grandes cantidades de energía y emite una cantidad considerable de dióxido de carbono (CO₂) durante su proceso de fabricación. Además, la extracción y procesamiento de los materiales necesarios para la producción de acero también contribuyen a la emisión de gases de efecto invernadero y la degradación ambiental; Otro aspecto a tener en cuenta es la huella de carbono asociada con la construcción de estructuras de concreto y acero debido a que estos materiales tienen un alto peso y requieren un transporte intensivo, lo que resulta en un mayor consumo de energía y una mayor emisión de CO₂. En respuesta a estos desafíos, se ha desarrollado un enfoque más sostenible en la arquitectura contemporánea, donde los arquitectos buscan activamente alternativas más ecológicas. Estas alternativas incluyen el uso de materiales sostenibles, la implementación de técnicas de construcción más eficientes desde el punto de vista energético y la integración de elementos naturales en los diseños arquitectónicos.

En este contexto, es evidente la importancia de optar por soluciones más sostenibles en el diseño y la construcción de estructuras arquitectónicas, así que, por esta razón se desarrollará un refugio en bambú que evoque la memoria de las construcciones vernáculas de Latinoamérica y muestre la importancia del bambú como material de construcción sostenible, optimizando su uso a través de herramientas de diseño paramétrico. De esta manera, se busca ofrecer opciones diferentes de arquitectura contemporánea y contribuir a los nuevos desafíos que implica la construcción de estructuras arquitectónicas en contextos como Sao Paulo.

3. Objetivo General

Diseñar un refugio arquitectónico en materialidad bambú a partir de herramientas paramétricas. Estudio de caso en Sao Paulo Brasil.

3.1 Objetivos Específicos

Para alcanzar este objetivo general, se proponen los siguientes objetivos específicos:

1. Realizar una revisión bibliográfica sobre la arquitectura en bambú, el diseño paramétrico, las propiedades mecánicas y estructurales del bambú, así como las técnicas de construcción adecuadas para su implementación.
2. Diseñar con herramientas paramétricas seleccionadas (Rhinoceros y Grasshopper) un refugio en materialidad bambú en Sao Paolo, Brasil.
3. Analizar los resultados obtenidos, construir conclusiones y recomendaciones sobre el uso del diseño paramétrico como herramienta para la generación geométrica y la optimización en la construcción de estructuras de bambú.

4. Justificación

Estrada Meza y sus colaboradores (2022) resaltan la sostenibilidad del bambú como un recurso natural renovable, gracias a su rápido crecimiento y abundancia en zonas tropicales y subtropicales, así como a su menor impacto ambiental del 20%, comparado con otros materiales de construcción. Estos factores hacen del bambú una alternativa viable y respetuosa con el medio ambiente.

En el siglo XXI, el diseño enfrenta desafíos en el equilibrio entre la responsabilidad social y ambiental en un mundo interdisciplinario, como señala Navarrete (2014). Para abordar estos temas, los procesos de diseño deben revisar sus fundamentos conceptuales y procedimentales e incorporar perspectivas de otras disciplinas. En este sentido el diseño paramétrico se presenta como una herramienta clave para crear estructuras de bambú estables, resistentes y seguras. Además, Seguí (2021) destaca que la arquitectura paramétrica tiene como objetivo diseñar un sistema que considere todas las variables involucradas, incluyendo aspectos como el contexto, la función, la estructura y el rendimiento del edificio, para lograr un enfoque más integral en el proceso de diseño.

La relevancia de este proceso de diseño radica en su capacidad para configurar de manera lógica elementos geométricos. Como explica Navarrete (2014) el diseño paramétrico se fundamenta en el enfoque bottom-up, lo que implica establecer una lógica basada en relaciones específicas y adaptadas a las necesidades sociales y contextuales del proyecto en cuestión. Esta metodología posibilita realizar ajustes y modificaciones durante todo el proceso de diseño, con el fin de alcanzar un producto final que se adapte de manera precisa a las exigencias específicas del proyecto.

La motivación detrás de esta investigación radica en la necesidad de encontrar soluciones innovadoras para abordar los desafíos que enfrenta la industria del diseño y la construcción. En este sentido, el propósito principal es demostrar cómo la implementación de herramientas paramétricas puede mejorar la eficiencia y versatilidad de las estructuras en bambú, por medio de procesos como analizar y optimizar la distribución de los elementos de

bambú para garantizar un uso óptimo del material y reducir el desperdicio. Además, al poder simular y evaluar digitalmente el comportamiento estructural, se pueden identificar y corregir posibles puntos débiles antes de la construcción física, lo que ahorra tiempo y recursos.

Para ilustrar la importancia del bambú como material de construcción, se ha seleccionado el diseño de un refugio en Sao Paulo, Brasil. En este contexto particular, el uso del bambú como material de construcción adquiere una relevancia destacada ya que Según Back (2022) esta ciudad es conocida por su densidad urbana y la necesidad de soluciones sostenibles. En consecuencia, Sao Paulo ofrece un escenario ideal para demostrar los beneficios del bambú en términos de sostenibilidad, eficiencia, estética y adicionalmente el estudio y reconocimiento de lo vernáculo enriquece la historia local, promueve los oficios tradicionales y contribuye a la comprensión y preservación de culturas en peligro de extinción.

Además, mediante la implementación de herramientas paramétricas, es posible facilitar la exploración geométrica como la estandarización de los componentes de bambú, lo que simplificará el proceso de construcción, además se reducirá el tiempo de ejecución según Morales (2022). Esta combinación de factores puede hacer del bambú una opción más eficiente, versátil y económica para la construcción de estructuras en Sao Paulo así como en otros contextos urbanos similares.

5. Estado del Arte

5.1 Marco Teórico

Según Garzón (2021), la arquitectura sostenible implica abordar el diseño, la gestión y la construcción de estructuras arquitectónicas de manera racional, aprovechando los recursos naturales y culturales del entorno para minimizar su impacto ambiental. Además, la aplicación de herramientas tecnológicas como el diseño paramétrico y los sistemas algorítmicos amplía las posibilidades en el diseño arquitectónico sostenible, como menciona Cubillos González (2012). Estas tecnologías, impulsadas por los avances en sistemas informáticos y digitales, contribuyen a procesos matemáticos y geométricos que buscan satisfacer las necesidades humanas a través de la adaptación y flexibilidad de los elementos arquitectónicos. En el ámbito de la arquitectura sostenible, hay una posibilidad significativa entre el uso del bambú como material de construcción y el empleo del diseño paramétrico como una herramienta innovadora para la generación de geometrías complejas. Como afirma Mx (2019) la combinación de la arquitectura con bambú y el diseño paramétrico brinda un escenario fascinante en el cual convergen la sostenibilidad y la innovación. En consecuencia, el presente marco teórico se centrará en destacar y explorar las ideas fundamentales que respaldan la importancia de dos enfoques arquitectónicos específicos: la arquitectura en bambú y la arquitectura paramétrica. Ambos enfoques representan tendencias significativas dentro del campo de la arquitectura sostenible y han capturado la atención de arquitectos, diseñadores y expertos en el tema.

5.1.1 Arquitectura en Bambú

Con base a lo expuesto por Laborda (2018), en la última década, la arquitectura en bambú ha ganado gran interés debido a la preocupación por el cambio climático y la necesidad de encontrar soluciones sostenibles en la construcción. En arquitectura, el bambú se ha convertido en un ícono de la sostenibilidad y se emplea principalmente en estructuras ligeras, como puentes, pérgolas y techos. Además de su funcionalidad, el bambú también tiene un valor decorativo y es apreciado en todo el mundo por su belleza natural y resistencia (Cózar, 2023). Hoy en día, hay arquitectos destacados por ser promotores en el uso del bambú como un

medio para la sostenibilidad, tales como la arquitecta estadounidense Elora Hardy, el arquitecto colombiano Simón Vélez y el arquitecto vietnamita Vo Trong Nghia.

Según Franco (2022), durante la Bienal de Venecia en 2016, el reconocido arquitecto colombiano Simón Vélez describió al bambú como el "acero vegetal", esta denominación se debe a las numerosas ventajas que presenta, tales como su bajo costo, su renovabilidad, su gran resistencia y fácil accesibilidad, Además a lo largo de su trayectoria, ha experimentado con diferentes avances, como la incorporación de concreto en los puntos de unión, con el fin de fortalecer la capacidad estructural de la parte más vulnerable del sistema.

Por otro lado como señala Griffiths (2022) en una entrevista realizada en 2014 por Dezeen, Vo Trong Nghia también ha abordado el tema del bambú en su obra, se refirió al bambú como el "acero ecológico del siglo XXI", centrándose en la integración de la naturaleza en el diseño arquitectónico. Además, señaló que este material, que se encuentra en abundancia y es accesible en su país de origen, Vietnam, resulta especialmente idóneo para la construcción de espacios semi abierto o abiertos.

Asimismo Elora Hardy ha trabajado en la creación de estructuras sostenibles y respetuosas con el medio ambiente, y su estilo se caracteriza por la combinación de la tradición balinesa con la innovación (Hardy , 2015). Este material local es extremadamente resistente, lo que permite la creación de estructuras curvilíneas e imponentes con una gran sensación de luminosidad y comodidad. (Galiana , 2022).

En conclusión, la arquitectura en bambú demuestra cómo la combinación de técnicas y materiales tradicionales con un diseño moderno puede dar como resultado estructuras ligeras y sostenibles. La incorporación de modelos estéticos de diferentes culturas a la arquitectura contemporánea refleja la diversidad y la preocupación por la sostenibilidad. Este enfoque ha dado lugar a estructuras únicas que combina la estética, la función y la responsabilidad ambiental. En resumen, la construcción con bambú es una fuente de inspiración para el mundo

de la arquitectura y una tendencia creciente hacia soluciones de construcción más sostenibles y eficientes.

5.1.2 *Arquitectura Paramétrica*

De acuerdo con Seguí (2021), la arquitectura paramétrica implica crear un sistema de parámetros o variables, así como un conjunto de restricciones, a partir de los datos iniciales introducidos en un software. Esto permite producir una amplia variedad de diseños altamente personalizados y complejos utilizando algoritmos versátiles que pueden ser modificados cambiando las variables. Conforme a lo indicado por Morales (2012), la arquitectura paramétrica ofrece una respuesta creíble y sostenible a la crisis de la modernidad que dio lugar aproximadamente 25 años de búsqueda estilística en la arquitectura. Aunque existen críticas que afirman que esta metodología produce objetos o diseños atroces y contrastantes con el entorno inmediato, la teoría de Schumacher sostiene que la arquitectura paramétrica es capaz de crear una estética coherente y unificada.

Para Dávila (2019) el trabajo de Zaha Hadid estuvo fuertemente influenciado por la teoría de la complejidad y la estética de las formas naturales. Hadid utilizó la tecnología paramétrica para para diseñar formas complejas y orgánicas que serían imposibles de crear manualmente, desafiando las convenciones tradicionales de la arquitectura. Sus creaciones parecían estar en constante movimiento y cambio, dejando un legado en la arquitectura paramétrica que ha inspirado a una generación de arquitectos y diseñadores.

Según Cilento (2017), el Manifiesto Paramétrico, presentado y discutido por Patrik Schumacher en "The Dark Side Club" durante la 11ª Bienal de Arquitectura de Venecia en 2008, respalda los fundamentos de la arquitectura paramétrica. El manifiesto sostiene que los métodos paramétricos ofrecen un conjunto flexible de componentes que permiten una amplia gama de variaciones. En contraste con las geometrías rígidas del pasado, el parametricismo se basa en la creación de entidades animadas e interactivas, como splines, nurbs y subdivisiones, que funcionan como bloques de construcción para sistemas dinámicos.

Por otro lado Chen (2022) resalta a Zuo Studio (oficina de arquitectura y diseño con sede en Pekín, China). Chen señala que el enfoque de Zuo se basa en la exploración de nuevas formas de diseño y construcción, utilizando un software paramétrico para diseñar formas innovadoras con materiales sostenibles.

5.2 Marco Conceptual

La sostenibilidad en la arquitectura está adquiriendo cada vez más relevancia gracias al uso de técnicas y materiales tradicionales. La arquitectura vernácula inspira el diseño sostenible al enfocarse en la armonía con el entorno y en la búsqueda de soluciones climáticas (Chui Betancur et al., 2022). Por otro lado, la arquitectura contemporánea experimenta una transformación significativa en el proceso de diseño, el uso de materiales innovadores y técnicas de simulación (Pires y Pereira, 2020). El diseño paramétrico juega un papel importante en la complejidad geométrica del diseño contemporáneo, basándose en el desarrollo tecnológico y la exploración de los sistemas naturales y sus geometrías.

En este contexto, se explorará la relación entre la sostenibilidad y el diseño paramétrico con el propósito de comprender cómo aplicar estos conceptos para desarrollar un refugio que se integren armónicamente con el entorno, a la vez que se minimiza el impacto ambiental a través de la optimización de los materiales utilizados en la construcción.

5.2.1 *Arquitectura sostenible*

Uno de los primeros y más influyentes informes sobre el tema fue el "Informe Brundtland", publicado en 1987 por la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo de las Naciones Unidas, presidida por Gro Harlem Brundtland. En este informe, se definió el concepto de desarrollo sostenible como "satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades" (Informe Brundtland, 1987). Tal como menciona Aquae (2021), Brundtland ha sido fundamental en la concienciación y educación de la población sobre la importancia de la sostenibilidad.

Otro autor relevante es Ken Yeang, conocido por su enfoque en la "arquitectura ecológica", el cual se centra en el uso de materiales naturales y técnicas de diseño que fomentan la integración del edificio con el entorno natural. De acuerdo con Couzens (2012) utiliza una combinación de tecnologías y estrategias para maximizar la eficiencia energética y reducir el impacto ambiental de los edificios.

En contraste con lo anterior, Acosta (2009) destaca la contribución de la arquitectura sostenible al desarrollo social y económico de un país, así como su impacto en el ambiente, la economía y la sociedad durante todo el ciclo de vida de la edificación u obra construida. Para abordar este tema, propone alternativas conceptuales y estrategias prácticas, como la transición hacia el desarrollo sostenible, la minimización de los impactos ambientales de la construcción y la generación de conocimiento sistemático que contribuya a la resolución de los problemas derivados de las actividades de la arquitectura y construcción, así como a los problemas asociados a la extracción indiscriminada de recursos naturales y la generación de residuos y contaminación. Por lo tanto se destaca la importancia de abordar la sostenibilidad en la construcción, además de ser una ventaja ,se promueve la cultura generado conciencia en la sociedad sobre la importancia de preservar el medio ambiente y fomentar un desarrollo sostenible.

En conclusión, la labor de estos autores y otros defensores de la arquitectura sostenible ha sido crucial para promover una construcción más responsable con el medio ambiente y concienciar a la sociedad sobre la importancia de un desarrollo más sostenible. Además, no solo se trata de una cuestión ambiental, sino que también tiene un impacto positivo en la economía y en la sociedad en general.

Arquitectura Vernácula

La arquitectura vernácula es un estilo de construcción que se ha desarrollado de manera local y se adapta a las condiciones específicas de cada lugar y cultura. Como indica Vargas (2021) la arquitectura vernácula es un fenómeno cultural arraigado en la relación entre el entorno natural y la comunidad local. Por tanto, la arquitectura vernácula es una expresión de

la cultura y la identidad local, en donde se destaca su valor como patrimonio cultural y como una respuesta sostenible a las condiciones ambientales y sociales. Igualmente para Tillería (2010) la valoración de lo vernáculo en la arquitectura es fundamental para comprender y conservar la identidad cultural y el patrimonio de una región. Es necesario adoptar enfoques sostenibles y políticas adecuadas para su rescate, evitando la pérdida de estas formas de arquitectura en medio del crecimiento urbano y el aumento a la tendencia de utilizar elementos decorativos o estilos arquitectónicos de forma superficial y exagerada, sin tener en cuenta la autenticidad y contexto cultural de la zona rural en la que se encuentran. El estudio y reconocimiento de lo vernáculo enriquece la historia local, promueve los oficios tradicionales y contribuye a la comprensión y preservación de culturas en peligro de extinción.

En este contexto, la autora Bernal (2021) destaca la importancia de la arquitectura vernácula como el reflejo de la cultura y contexto demográfico de cada región, lo que enriquece la cultura local y utiliza materiales propios del lugar trabajados de manera artesanal. Esta arquitectura surge de la necesidad del ser humano de adaptarse al entorno, empleando materiales de proximidad como madera, bambú y piedra natural. Las edificaciones vernáculas suelen ser viviendas y centros comunes, como escuelas, construidas con técnicas tradicionales y materiales locales. Para diferenciar una obra vernácula de otra, se debe comprobar que se ha construido con técnicas tradicionales y empleando materiales locales para no contaminar el medio ambiente en caso de abandonar la construcción.

En el libro "Arquitectura Vernácula de México" (López, 1987), se destaca cómo esta forma de arquitectura refleja la fusión de las culturas prehispánica e hispánica, y ha servido como fuente de inspiración para los arquitectos contemporáneos. Además se destaca la variedad de materiales utilizados en esta arquitectura en diferentes lugares, se enfatiza que la arquitectura vernácula no solo se limita al espacio doméstico sino también a la arquitectura pública, Roy-Pinot (2023).

Por tanto, la arquitectura vernácula es un fenómeno cultural que se adapta a las condiciones locales y es un reflejo de la identidad y la cultura de las comunidades. Además, la

arquitectura vernácula puede servir como fuente de inspiración para la arquitectura contemporánea y contribuir a la sostenibilidad y resiliencia en la actualidad. Es crucial preservar y promover la arquitectura vernácula como parte integral del patrimonio arquitectónico de las comunidades.

Bio Construcción

La corporación Iberdrola (2023) define la bioconstrucción como una técnica de construcción que busca el respeto hacia los seres vivos y el medio ambiente. Su finalidad es alcanzar una integración armoniosa del edificio con su entorno y para lograr este objetivo, es necesario contar con un conocimiento completo del entorno natural y cultural en el que se construirá el edificio. Aunque la bioconstrucción puede parecer un concepto moderno, según Iberdrola en realidad se remonta a tiempos antiguos en los que se utilizaban materiales naturales como la tierra, la piedra y la madera para construir casas y refugios. Muchas de estas construcciones todavía se pueden ver hoy en día en aldeas y pueblos alrededor del mundo.

La bioconstrucción comparte muchos principios con la construcción ecológica o sostenible, pero su enfoque va más allá, no solo se tienen en cuenta los materiales y técnicas de construcción más amigables con el medio ambiente, sino también el impacto en el entorno natural, la salud y bienestar de las personas. Para lograr un enfoque sostenible en la construcción, es fundamental considerar los siguientes aspectos: la gestión responsable del suelo, la conservación y uso eficiente del agua, la selección de materiales que minimicen la emisión de compuestos orgánicos volátiles y la instalación de sistemas de ventilación adecuados, la construcción de edificios con alta eficiencia energética, el fomento del consumo y desarrollo local, así como la promoción del reciclaje y la reutilización de materiales (Iberdrola, 2023).

Otro de los autores que ha escrito sobre bioconstrucción es Ramon Aguirre Morales, quien en su libro " Bioconstrucción en el mundo detalles constructivos " publicado en 2022 explica los fundamentos de la bioconstrucción y proporciona un importante testimonio de construcción sostenible con raíces principalmente americanas. Abarca diferentes componentes

constructivos y recoge la construcción tradicional con tierra, madera, bambú, piedra y otros materiales naturales, mostrando el ingenio popular para construir un hábitat saludable que sea amigable con el medio ambiente y tenga un bajo impacto ambiental. Este libro cuenta con importantes testimonios de muchos coautores sobre la construcción sostenible, con raíces principalmente en América. Se abordan temas desde las cimentaciones y refuerzos de muros hasta las cubiertas, acabados, pinturas y mobiliario, detallando gráfica y textualmente los procedimientos constructivos de cada material (Pereira ,2022).

En conclusión, la bioconstrucción es una técnica que busca integrar armónicamente el edificio con su entorno natural y cultural, utilizando materiales naturales como la tierra, la piedra y la madera. Su inclusión en la arquitectura moderna ha generado conciencia sobre la minimización del impacto ambiental y ha mejorado la calidad de vida de las personas. Además, ha proporcionado soluciones habitacionales accesibles para aquellos con bajos ingresos, generando un impacto positivo en la sociedad. En definitiva, la bioconstrucción es una respuesta creativa y efectiva para construir edificios sostenibles y habitables.

Bambú

Planta

Según McClure (1955) el bambú es una planta perenne de tallos robustos y leñosos que pertenece a la familia de las gramíneas o Poaceae, una de las familias botánicas más importantes y extensas que incluye plantas como el maíz, la caña de azúcar y el arroz. De acuerdo con Londoño (1990) el bambú pertenece a la subfamilia Bambusoideae, cuenta con más de 1,000 especies y 91 géneros, distribuidos en todos los continentes, excepto la Antártida, además se encuentra principalmente en los trópicos y el 64% de las especies son nativas del sureste de Asia, pero también se encuentran en América, Australia, India, Himalaya y Pacífico Sur.

De acuerdo con Rodas (1988) el bambú crece en un rango de temperatura que va desde los 9°C hasta los 36°C. Se han observado plantas de bambú que se encuentran en condiciones de temperaturas extremadamente bajas (inferiores a 15°C), así como en áreas con temperaturas

muy altas e incluso en situaciones de sequía, además Rodas establece que el cultivo de Bambú se desarrolla adecuadamente en zonas de humedad relativamente alta, 80% o más, por lo que el bambú suele florecer en suelos bien drenados, tanto en bosques tropicales lluviosos como en áreas sombreadas de bosques cálidos, así como a lo largo de cursos de agua o en áreas abiertas con vegetación baja .En general, requiere de humedad, sombra y temperaturas cálidas para prosperar. Es notable que el bambú pueda rebrotar varias veces después de ser cortado, lo que garantiza la continuidad en la producción y, junto con su rápido crecimiento, es una gran ventaja para su explotación y uso (Chiluiza y Hernández ,2009).

Morfología

Según Bambusa Estudio (2022), las cañas de bambú pueden alcanzar más de 20 metros de altura, se dividen en secciones estándar de 6 metros de longitud, según su ubicación original en la planta. Los componentes principales de la estructura del bambú son el rizoma, el tallo o culmo, y las ramas u hojas (Intecap, 1984)

- **El rizoma:** una parte del bambú ubicada bajo tierra, cumple la función de brindar soporte y almacenar nutrientes esenciales para la planta. Está compuesto por dos componentes principales: el cuello, también conocido como basa, y el propio rizoma. Según la especie de bambú, se pueden distinguir dos tipos: los monopodiales y los simpodiales (Peña et al, 2015).
- **El culmo:** también conocido como caña, es el tallo principal del bambú. Se trata de un tronco segmentado que se origina a partir del rizoma. Tiene una forma cilíndrica cónica y es hueco en su interior. Una vez que se corta y se eliminan las ramas laterales, está listo para su uso. El culmo está compuesto por varios elementos, entre ellos se encuentra la basa, que es la parte que une el rizoma con la caña. También se encuentran los nudos, que son los puntos de unión entre los segmentos de la caña. Además, están los entrenudos, que son las secciones de la caña que se encuentran entre dos nudos (Peña et al, 2015).

- **Ramas u Hojas:** Después de que el culmo ha alcanzado su crecimiento completo, las ramas y las hojas comienzan a aparecer. La cantidad de ramas puede variar según la especie, pudiendo ser abundantes o escasas. El diámetro de las ramas está influenciado por la ubicación en la que se encuentren en el bambú. Por otro lado, las hojas se mantienen en el culmo durante aproximadamente un año antes de caer y ser reemplazadas por nuevas hojas (Figueroa & Sardiña, 2009).

Especie

De acuerdo con Lobovikov (2007) se estima que hay aproximadamente 37 millones de hectáreas cubiertas de bosque de bambú, con 6 millones en China, 9 millones en India, 10 millones en 10 países de Latinoamérica y la mayoría en el Sur-Este de Asia. En la siguiente tabla se muestra las familias de bambú más comunes, su origen, altura, diámetro y las principales características.

Tabla 1. Familias de bambú más comunes, Lobovikov (2007)

Familias de bambú más comunes				
Genero	origen	Altura	Diámetro	Característica
BAMBUSA	China, India, Birmania y Taiwán	6-30 m	3-18 cm	Es la especie más común en esas zonas de Asia, es conocido por su rápido crecimiento y su capacidad para formar densas agrupaciones.
CHUSQUEA	Chile y Argentina	4-6 m	2-4 cm	Crece en las zonas más a sur del planeta ,son muy rígidos y de cuerpo solido
DENDROCALAMUS	India, Birmania, Sri Lanka ,Brasil	20-34 m	20-35 cm	Es un grupo con muchas variedades, alcanzan un gran tamaño y son muy utilizadas en la construcción
GIGANTOCHLA	Malasia, Indonesia y Filipinas	13-16 m	8-15 cm	Es una especie de bambú nativa de Asia, es conocida por su gran tamaño y resistencia, lo que la hace muy popular en la construcción .
GUADUA	Colombia, Ecuador, México, Bolivia y Panamá	10-30 m	3-12 cm	La guadua es un tipo de especie endémica del sur de América, el bosque de guadua es llamado "Guadales"
PHYLLOSTACHYS	China y Japón	5-22 m	2-17 cm	El bambú de este tipo crece en zonas templadas y tiene la característica de formas nudos en zigzag y otras formas irregulares. Es original de china , pero muchas especies son cultivadas en Japón, América y Europa.

Nota: Adaptado de Lobovikov (2007)

En la tabla se puede apreciar que en el mundo existen dos zonas que destacan en el uso del bambú como material estructural: el Sur-Este Asiático y América del Sur. En el primer caso, el principal género utilizado es el *Dendrocalamus*, especialmente la especie *Dendrocalamus giganteus*, que es una de las especies más grandes de bambú existentes. En cambio, en América del Sur, el género predominante es la *Guadua*, en particular la especie *Guadua angustifolia*, que tiene la particularidad de alcanzar el 80% de su tamaño final a los tres meses de su cultivo, lo que la hace muy adecuada para la explotación forestal.

Crecimiento, Corte y Almacenamiento

Bambusa Estudio (2022) menciona que la *Guadua*, una especie de bambú, no aumenta su diámetro a medida que crece ya que no posee tejido de cambium, a diferencia de los árboles. Su diámetro depende del tipo de suelo y las condiciones climáticas, variando entre 8 y 25 cm. En los primeros seis meses de crecimiento, la *Guadua* está protegida por hojas caulinares y crece a un ritmo rápido de hasta 15 cm por día, alcanzando una altura final de 20 a 30 m con un color verde intenso en el tallo.

De acuerdo con las investigaciones de Londoño (1990) un bosque de *Guadua* se considera ideal con una composición de un 10% de brotes, un 30% de tallos jóvenes y un 60% de cañas maduras, con una densidad de 4.000 a 8.000 tallos por hectárea.

Figura 1. Etapa de crecimiento Guadua, moso Bambusa



Nota : En apenas 6 meses la planta alcanza su altura final, de 18 a 30 m, y en los años siguientes se desarrolla la estructura leñosa de las cañas y estas terminarán de madurar. fuente Bambusa Estudio (2022)

Según Morán (2015), la cosecha del bambú se lleva a cabo cuando alcanza la madurez, que varía entre 2 y 7 años según la especie. Se recomienda separar los culmos maduros de la planta para permitir el crecimiento de nuevos culmos. La cosecha se realiza en épocas secas o antes de las lluvias para evitar plagas de insectos, y se realiza un corte en el primer nodo, eliminando el azúcar de la savia mediante drenaje. Es importante un almacenamiento adecuado de las cañas de bambú para evitar grietas en la cáscara exterior y lograr un secado uniforme. Se debe almacenar en un lugar seco, cubierto y ventilado, preferiblemente en estantes a una distancia mínima del suelo para permitir la circulación del aire y prevenir la presencia de agua que pueda afectar sus propiedades mecánicas.

Durabilidad

La durabilidad natural del bambú según Burgos (2003) es baja y está influenciada por varios factores, como la especie, el momento de corte, la edad y el uso final previsto. Sin tratamiento, su vida útil es de 1 a 3 años en contacto con el suelo y de 4 a 7 años en interiores. Sin embargo, los tratamientos de preservación, tanto tradicionales como químicos, pueden extender su vida útil de 10 a 20 años. Los métodos tradicionales se centran en reducir los azúcares y almidones presentes en el bambú para evitar el ataque de hongos e insectos. Estos métodos incluyen cortar el bambú durante la estación de menor contenido de carbohidratos, cortarlo en la edad madura, curarlo, sumergirlo en agua o ahumarlo. Por otro lado, Burgos señala que la aplicación de productos químicos ofrece una protección prolongada, y la elección del tratamiento depende de las condiciones del tallo y del uso final previsto.

Según Bambusa Estudio (2022), un tratamiento de preservación efectivo consiste en sumergir las cañas de bambú en una solución de bórax y ácido bórico durante un período de tiempo determinado. Este tratamiento es considerado amigable, ya que no se expulsa al medio ambiente y proporciona propiedades ignífugas y retardantes del fuego al material tratado.

Figura 2. Fotografías de diversos tratamientos que puede recibir el bambú



Nota : De izquierda a derecha : preservacion por inyeccion, tratamiento por imersion ,tratamiento con borax ,tratamiento por calor .Fuente Bambusa (2022)- Inmunizantes (2023)

Propiedades Mecánicas

De acuerdo con Bambusa (2022) la Guadua posee una resistencia a compresión notablemente alta y una buena capacidad para resistir el corte paralelo. Esta combinación, junto con su gran flexibilidad, la hace un material especialmente interesante para la construcción sismorresistente y la bioconstrucción en general.

Según Soler (2017), las propiedades mecánicas del bambú varían según la especie. Sin embargo, estas propiedades dependen de diversos factores como la humedad, el clima, la topografía, el terreno en el que crece, la edad, la parte de la planta que se utiliza, el método de corte y el tratamiento aplicado. Debido a la variabilidad en los valores de las propiedades, se establece una relación con las características del bambú establecidas por Hidalgo (2003).

Tabla 2. Propiedades mecánicas establecidas por Hidalgo

Propiedades mecánicas establecidas por Hidalgo

Propiedades	características	Variable
Peso específico	El peso específico del bambú varía principalmente en función de su nivel de humedad. Esta propiedad se refiere al peso de agua contenido en el culmo en relación al peso del culmo seco. Durante su crecimiento, el bambú presenta una humedad superior al 70% en la parte inferior del tallo, pero esta disminuye hasta alcanzar un 20% en plantas de más de seis años.	En la base (volumen hueco mayor) : 0,57 kg/dm ³ En la parte superior: 0,76 kg/dm ³
Contracción	La variación en el bambú se produce cuando la transición pasa de un estado verde a leñoso, debido a la pérdida de agua durante el proceso de secado de las plantas, lo que resulta en una humedad del 20%.	La longitud disminuye entre un 4-14% Diámetro disminuye entre un 3-12%.

Resistencia a compresión	Cuando se utilizan piezas de bambú como vigas, columnas y montantes, se someten a fuerzas de compresión que pueden acortar o aplastar los miembros longitudinalmente. La resistencia del bambú a la compresión es alta y depende de la delgadez de la pieza y de cómo haya sido curado el bambú.	Media 627 (KG/CM2)
Resistencia a tracción	El bambú muestra una resistencia elevada a la tracción, especialmente en su capa exterior. No obstante, al considerar la sección completa del bambú, este valor disminuye y varía dependiendo del elemento de la caña evaluado (base, centro o cima), del porcentaje de humedad, del elemento examinado y de la presencia o ausencia de nodos. Es importante tener en cuenta que estos cálculos son teóricos, ya que los métodos de unión de las diferentes piezas pueden provocar que se produzcan grietas debido a los esfuerzos de tracción.	valor de 40 kN/cm ² o 400 MPa, lo que se aproxima a los valores de resistencia del acero
Resistencia a cortante	El esfuerzo cortante se refiere a la capacidad de un material para resistir las fuerzas que tienden a hacer que una parte se deslice en relación con las partes adyacentes. Es importante considerar este tipo de esfuerzo en las uniones de los elementos de bambú. La resistencia al esfuerzo cortante está estrechamente relacionada con el espesor de la pared del culmo, siendo mayor cuando el espesor es superior, debido a la mayor cantidad y distribución de fibras fuertes en la sección transversal.	Media 1823 (KG/CM2)
Módulo de elasticidad	Representa la relación lineal, definida como la Ley de Hooke, entre la tensión resultante de una carga aplicada al material y su deformación. A medida que aumenta la tensión, este coeficiente disminuye entre un 5% y un 10%. Su valor depende del tipo de esfuerzo aplicado, la duración de la carga y el tipo de fibra, ya sea interna o externa de la sección sometida a tensión. Es importante destacar que el módulo de elasticidad de la guadua es casi el doble del de la madera.	E compresión: 1,84 KN/cm ² E tracción: 1,79 KN/cm ² E flexión: 2,07 KN/cm ²

Nota: Adaptada de (Hidalgo, 2003)

De acuerdo con Soler (2017) el bambú se compara favorablemente con materiales comúnmente utilizados en la arquitectura occidental como el hormigón, el acero y la madera desde un punto de vista físico-mecánico. A diferencia del hormigón, el bambú es resistente tanto a la compresión como a la tracción. En cuanto al acero, ambos materiales proporcionan flexibilidad a las estructuras, aunque el bambú puede debilitarse al unirse con otros elementos. En comparación con la madera, el bambú es dos veces más resistente a la tracción y tiene una disposición de celulosa y microfibrillas diferente.

5.2.2 *Diseño Paramétrico*

El origen del término "paramétrico" se remonta al griego, donde etimológicamente significa "medir o comparar distancias". Este término se utilizó en las matemáticas para referirse a las ecuaciones paramétricas, que emplean variables independientes llamadas parámetros (Christodoulou,2020). El uso de las ecuaciones paramétricas para expresar geometrías se remonta a la primera mitad del siglo XIX, cuando James Dana explicó las geometrías de cristales mediante parámetros, variables y radios (Davis, 2013).

Eltaweel y colaboradores (2017) destacan al arquitecto del modernismo catalán Antonio Gaudi conocido por haber sido uno de los primeros en utilizar las geometrías paramétricas en la arquitectura. Este concepto ha evolucionado a partir de los años y en la actualidad se conoce como arquitectura paramétrica la cual es una técnica que se basa en la utilización de parámetros predefinidos para controlar las relaciones entre ellos y, de esta forma definir una geometría (Barrios ,2006).

Borges (2021) sostiene que en las matemáticas, los 'parámetros' son variables que influyen en el resultado final de una función. Estos parámetros pueden incluir la cantidad de pisos, la altura de los mismos, el número de aberturas en la fachada y otros elementos que informan el proceso de diseño desde una perspectiva morfológica. Al definir estas reglas desde el principio, se logra tener un control preciso sobre la geometría y su evolución a lo largo del proceso de diseño.

Ahora bien, El diseño paramétrico tiene sus raíces en los avances en el diseño asistido por ordenador, esta tecnología permitió establecer las bases del diseño paramétrico, tal como lo conocemos hoy en día. La capacidad de utilizar herramientas informáticas para generar y modificar modelos en función de parámetros predefinidos, ha revolucionado la forma en que se diseñan objetos y estructuras (Christodoulou,2020).

Tecnología Y Herramientas Paramétricas

La tecnología paramétrica ha revolucionado el diseño arquitectónico y estructural, brindando a los profesionales nuevas posibilidades y eficiencia en la creación de geometrías complejas. Rhinoceros 3D y Grasshopper son herramientas destacadas en este ámbito. Según Marchante (2020), Rhinoceros es uno de los programas de modelado 3D más populares, utilizado en arquitectura, prototipado, ingeniería y otros campos de diseño. Una ventaja clave de Rhinoceros es su capacidad para manejar diseños de cualquier complejidad, tamaño o grado. A continuación, se presenta características del software por las cuales se elige en el ámbito del diseño paramétrico :

Versatilidad y capacidad de modelado: Rhino es reconocido por su amplia gama de herramientas de modelado 3D, lo que les permite a los diseñadores crear geometrías complejas con precisión. Su interfaz intuitiva y fácil de usar facilita el proceso de diseño. Además, Grasshopper proporciona una plataforma visual y paramétrica que se integra perfectamente con Rhinoceros, lo que permite a los diseñadores establecer relaciones y reglas de diseño para generar automáticamente geometrías complejas (Zuluaga,2022).

Flexibilidad y adaptabilidad: Rhino y Grasshopper son herramientas altamente flexibles que se adaptan a las necesidades y preferencias de los diseñadores. Al ser programas basados en nodos y conexiones visuales, permiten una manipulación y personalización sencilla de los parámetros de diseño. Esto brinda a los diseñadores la libertad de explorar múltiples iteraciones y opciones de diseño de manera eficiente (Hernández ,2021)

Integración con análisis estructural: Karamba es una herramienta de análisis estructural que se integra con Rhino y Grasshopper. Esto significa que los diseñadores pueden evaluar la viabilidad estructural de sus diseños paramétricos directamente dentro del mismo entorno de modelado. Karamba proporciona capacidades de análisis avanzadas, como análisis de tensiones, deformaciones y estabilidad, lo que permite a los diseñadores optimizar y validar sus diseños antes de la construcción (Robert McNeel & Associates, 2023)

Comunidad activa y recursos disponibles: Rhinoceros 3D cuentan con una comunidad activa de usuarios y desarrolladores, lo que significa que hay una amplia gama de recursos, tutoriales y complementos disponibles. Esto facilita el aprendizaje y la resolución de problemas, ya que los diseñadores pueden acceder a una red de soporte y colaboración (Robert McNeel & Associates, 2023)

En conclusión, la elección de Rhino, Grasshopper su componente Karamba como herramientas paramétricas se justifica por su versatilidad, capacidad de modelado, flexibilidad, integración con análisis estructural y la disponibilidad de recursos. Estas herramientas permiten a los diseñadores llevar a cabo un proceso de diseño paramétrico eficiente, explorando diferentes opciones y optimizando la viabilidad estructural de los diseños.

Diseño Algorítmico

Según Llach y Werning (2009) un algoritmo, en su forma más básica, consiste en una instrucción o una secuencia de instrucciones que describen claramente los pasos que conforman un proceso específico. En el ámbito del diseño, estas técnicas aplican principios fundamentales de la computación, como la repetición de procesos, la recursividad y el encapsulamiento, con el fin de utilizarlos en la manipulación de formas geométricas y en la simplificación de geometrías complejas para su fabricación. Desde el punto de vista de Borges (2021) el proceso para la creación de algoritmos implica cuatro pasos: establecer el resultado deseado; identificar los pasos clave para alcanzar ese resultado; examinar los datos iniciales y los parámetros. Por último, los datos intermedios necesarios para generar los datos faltantes.

En conclusión, el valor del diseño algorítmico radica en permitir una conectividad ordenada entre los pasos del proceso creativo, ya sea en el ámbito académico o en la producción, mejorando las habilidades de los creadores al enfocarse en resolver problemas concretos mediante pasos precisos.

Diseño de Combinaciones

La combinación de elementos y componentes arquitectónicos en el diseño, es una práctica fundamental para lograr armonía y estética en la arquitectura. Mediante procesos computarizados, se pueden generar diversas alternativas de diseño al utilizar parámetros y reglas específicas. Al establecer los parámetros y las reglas, las geometrías se conectan entre sí mediante comportamientos predefinidos, lo que evita la necesidad de realizar modificaciones manuales (Borges, 2021).

En conclusión, el diseño de combinaciones en arquitectura juega un papel fundamental en la creación de espacios arquitectónicos versátiles. La capacidad de combinar elementos y componentes de manera precisa y coherente mediante procesos computarizados ofrece una amplia gama de alternativas de diseño, permitiendo explorar y experimentar con geometrías y formas.

Modelos Generativos

El método se basa en la generación de múltiples soluciones de diseño que se pueden calcular, y en el uso de procedimientos de clasificación respaldados en criterios definidos por los diseñadores. Estos criterios pueden incluir costos, comportamiento estructural, áreas útiles, áreas de circulación, entre otros.

Según Khabazi (2010) el proceso de diseño generativo difiere en ciertos aspectos del enfoque tradicional de diseño, no se trata simplemente de que el diseñador tenga una idea y piense en cómo llevarla a cabo, sino más bien de traducir esa idea en un conjunto de reglas o algoritmos. Luego, utilizando esas reglas, se crea un código que materializará la idea y dará forma a una solución que al hacerlo de manera computacional, se puede reducir el tiempo necesario para encontrar soluciones óptimas, en comparación con el método manual. Por esta razón el modelado generativo se ha convertido en un avance importante en el desarrollo de la arquitectura y el diseño urbano.

Análisis Computacional

Como señala Cifuentes (2012) el análisis computacional en arquitectura se refiere al uso de herramientas y técnicas computacionales para evaluar y analizar aspectos específicos de un proyecto arquitectónico. Estas herramientas aprovechan la capacidad de las computadoras para procesar grandes cantidades de datos y realizar cálculos complejos de manera eficiente, las técnicas pueden ser aplicadas en diferentes áreas y aspectos del diseño arquitectónico como: análisis estructural, energético, lumínico, acústico y flujos de circulación entre otros.

Según Caldera y colaboradores (2013) el análisis computacional en arquitectura ha revolucionado la forma en que los diseñadores abordan y evalúan los proyectos arquitectónicos, sin embargo esta práctica ha permitido una mayor precisión y eficiencia en la toma de decisiones, al proporcionar herramientas y técnicas que ayudan a comprender y optimizar diversos aspectos del diseño. Al aprovechar el poder de la computación, el análisis computacional ha brindado a los arquitectos la capacidad de realizar evaluaciones detalladas y exhaustivas en diferentes áreas del conocimiento. Esto les permite identificar y abordar desafíos potenciales antes de que se construya un edificio, ahorrando tiempo y recursos, y garantizando la calidad y el rendimiento del proyecto final.

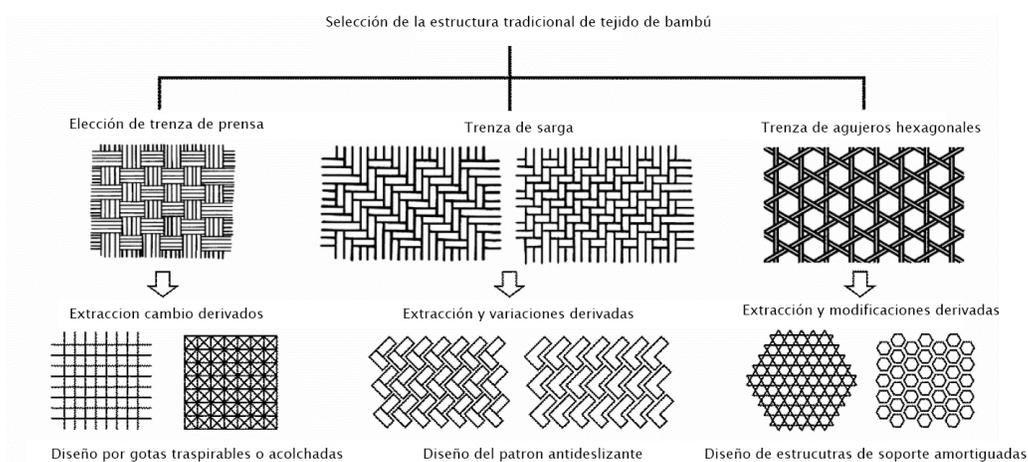
Diseño paramétrico con bambú

La ventaja del diseño paramétrico en la construcción con bambú radica en su capacidad para aprovechar la información disponible y aplicarla a soluciones más complejas. Esto permite la creación de piezas arquitectónicas con formas estructurales y estéticas, tanto rectas como curvas, teniendo en cuenta las posibilidades que ofrecen los tallos de bambú, según mencionan Estrada Meza y sus colaboradores (2022). En consecuencia, los culmos de bambú rectos se pueden utilizar de manera sencilla para crear superficies como el paraboloides hiperbólico.

Por otro lado, en el tejido tradicional de bambú se utiliza la técnica de amortiguación y entrelazado, conocida como mallas de recolección, que consiste en el entrelazamiento de los hilos de la urdimbre y la trama. Esta técnica, según Xiaobin y Guitao,(2021), es fundamental en el tejido de bambú y permite una diversidad de construcciones. Además, un tejido delgado

tiende a adoptar una forma plana debido al grosor de sus fibras, lo que facilita la creación de formas tridimensionales y contribuye al conocimiento y proceso de elaboración del producto. Esto implica que los distintos tipos de tejidos mencionados anteriormente pueden ser diseñados mediante el uso de múltiples capas entrecruzadas o superpuestas, que forman una estructura plana de bambú que visualmente parece ser una sola capa. Esto permite la innovación en configuraciones estructurales.

Figura 3. Tejido Tradicional



Nota: Tomado de “Construcción paramétrica y aplicación compuesta de estructuras de bambú” por J. Xiaobin & F. Gitao (2021)

La información anterior indica que los distintos patrones y tejidos de bambú pueden ser diseñados utilizando múltiples capas entrelazadas o superpuestas. Esta técnica permite crear estructuras planas de bambú que parecen ser una sola capa. Utilizar capas entrecruzadas o superpuestas ofrece mayor complejidad y adaptabilidad en la construcción, permitiendo formas tridimensionales más elaboradas y mejorando la resistencia y estabilidad del material.

5.3 Marco Histórico

El bambú y el diseño paramétrico son dos elementos que han experimentado una interesante evolución a lo largo de la historia. El bambú, con su abundancia y versatilidad, ha sido utilizado como material de construcción en diversas culturas desde tiempos remotos. Su resistencia y flexibilidad lo convierten en una opción atractiva para la arquitectura sostenible. Por otro lado, el diseño paramétrico, una metodología innovadora en el ámbito del diseño, ha revolucionado la forma en que concebimos y creamos espacios arquitectónicos, a través de algoritmos y software avanzado.

El estudio realizado por Soler (2017) sobre el uso del bambú en la arquitectura contemporánea será fundamental para desarrollar el marco histórico de nuestro proyecto. Este estudio resalta la reintroducción del bambú como una solución innovadora a los desafíos actuales, ya que no solo se utiliza en arquitectura, sino que también se aplica en otros campos debido a sus cualidades excepcionales, como su ligereza, alta resistencia y capacidad para absorber CO₂.

5.3.1 *Historia y Evolución Del Bambú*

Según Franco y Yesenia (2017), el bambú es una planta de gran importancia para los seres humanos en diferentes sociedades del mundo, su presencia y función han sido fundamentales a lo largo de la historia. En Asia, el bambú es considerado sagrado y venerado, mientras que en América Central y del Sur se valora por su utilidad en diversos campos como la construcción, la medicina, la música, la artesanía y la agricultura. (Soler, 2017).

Además, el bambú tiene un significado simbólico en diferentes culturas, por ejemplo, en China representa la humildad y la juventud eterna, y en Japón se asocia con la adaptabilidad, por otro lado el bambú se encuentra principalmente en el hemisferio sur, en regiones tropicales de América, África y Asia (Laborda, 2018).

Figura 4. Global Natural Bamboo Hábitat 1980 - National Geographic



Nota: Esta localización geográfica coincidente en gran parte con la ubicación de lo que hoy se denominan “países pobres” o “países en vía de desarrollo” y es una de las causas principales por la que el subconsciente colectivo ha rechazado el uso de este material. Fuente : Global Natural Bamboo Habitat ,1980.

El término "bambú" se origina en el malayo "Mambu", que era el idioma de un pueblo que vivía en la península de Malaca, en el siglo XVI, los portugueses introdujeron esta planta en España con el nombre de "bambú" y se cree que describe el sonido que produce la planta al explotar(Franqui ,2021) . En 1753, Carl von Linné, conocido como el padre de la taxonomía y la ecología moderna, incluyó al bambú en su famosa clasificación de especies, Species Plantarum, y lo categorizó como una gramínea gigante de la familia Poaceae.

Aplicación del bambú en la construcción

Bambusa (2022) afirma que se pueden distinguir tres secciones diferentes en el bambú: la sección superior, llamada sobre basa, la cual tiene paredes delgadas pero es rica en fibras y se utiliza para hacer mobiliario auxiliar, viguetas y rastreles. Las secciones intermedias, o basas, son esbeltas y muy ligeras en comparación con su resistencia, además son muy fibrosas, lo que las hace ideales para la construcción de vigas y cerchas compuestas. Las piezas de la sección inferior se conocen como cepas, tienen una pared gruesa, entrenudos cortos y una alta resistencia a la compresión, por lo que son ideales para la construcción de columnas.

Según Arkirama (2023) el bambú ofrece múltiples beneficios constructivos, como ser térmico y aislante acústico debido a las cámaras de aire en el interior de las cañas, sirve como tubería para instalaciones hidráulicas o desagües pluviales, es económico y reduce costos de viviendas, es eficiente contra los sismos como muro y como elemento estructural resistente para columnas. Su sección circular permite una gran variedad de usos estructurales (vigas y pilares), particiones y cerramientos (montantes, arriostramientos, etc.), así como elementos auxiliares (tejas, canalones, andamios, etc.).

Tipos de Uniones

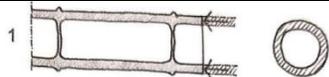
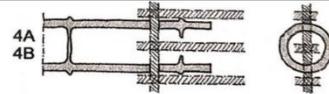
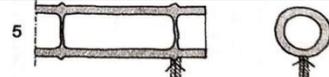
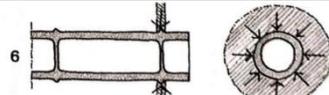
Según Soler (2017) al diseñar estructuras de bambú, es fundamental considerar las uniones que conectan los diferentes elementos, ya que estas representan el punto más débil y vulnerable a los esfuerzos cortantes. A diferencia de la madera, que tiene una sección transversal sólida y permite una variedad de uniones, el bambú tiene una sección redonda y hueca con fibras longitudinales, lo que limita las opciones de unión. Para simplificar las uniones y evitar rajaduras en las piezas de bambú, es necesario evitar esfuerzos que puedan provocar cortes. Si se utilizan piezas metálicas para unir el bambú, estas deben ser inoxidables y la separación mínima entre los tornillos debe ser de 150 mm a 250 mm para piezas sometidas a tracción y de 100 mm para piezas sometidas a compresión. Además, si existe riesgo de fractura, se debe rellenar con mortero de cemento los entrenudos adyacentes a la unión. Es importante destacar que actualmente se han realizado numerosos estudios sobre la eficiencia de las uniones en estructuras de bambú, como el realizado por el ingeniero Janssen, J. J. A. (1981) en la Universidad Tecnológica de Eindhoven (Países Bajos), donde se probaron más de 50 tipos de uniones con bambú filipino.

De acuerdo con Andry Widyowijatnoko (2012), existen diversas opciones para crear uniones en estructuras de bambú, como el uso de tornillos, varillas, alambres, mortero y retenedores metálicos, entre otros materiales. Es importante destacar que estas uniones aprovechan la configuración redonda y hueca del bambú, lo que permite lograr articulaciones en diferentes direcciones. Según las fuerzas de transferencia y las ubicaciones de los

conectores, las uniones de bambú se clasifican en seis grupos distintos, cada uno de los cuales sigue un conjunto particular de principios.

Tabla 3. Categoría de uniones por Andry Widyowijatnoko (2012)

Categoría de uniones por Andry Widyowijatnoko

Categorías de uniones	Representación
Transferencia de compresión por contacto a toda la sección.	
Transferencia de fuerza por fricción en la superficie interior o compresión al diafragma.	
Transferencia de fuerza por fricción en la superficie exterior.	
Transferencia de fuerza por esfuerzo de apoyo y cortante a la pared de bambú del elemento perpendicular conectado desde el interior (4A) o desde el exterior (4B).	
Transferencia de la fuerza perpendicular a las fibras	
Transferencia de la compresión radial al centro del poste a través del esfuerzo cortante y circunferencial perpendicular a la fibra.	

Nota: Adaptado de "Traditional and innovative joints in bamboo construction" Andry Widyowijatnoko (2012)

El análisis previo de las uniones de bambú revela que utilizar cada sección del material es la opción más efectiva para transferir la compresión (1). Por otro lado, la inserción de conectores dentro de la cavidad (2 y 4A) es la combinación preferida, tanto por razones estéticas como para aprovechar el espacio hueco del bambú. En conclusión, el bambú es un material versátil que puede utilizarse para la construcción de diversas estructuras, desde cubiertas simples hasta puentes y andamios complejos. Su estructura anatómica y morfológica, especialmente su sección circular ahuecada, les otorga ventajas estructurales frente a secciones rectangulares.

5.3.2 Historia y Evolución De Diseño Paramétrico

Según Menges (2011) en su libro “ Computational Design Thinking” la historia del diseño computacional comienza desde los años 60 con el nacimiento de las ciencias de la computación y la cibernética, donde la relación humano máquina llegó para aumentar las habilidades creativas de los arquitectos. Según Coenders (2021), el diseño paramétrico surge del avance del diseño asistido por ordenador (CAD), reemplazando el dibujo manual con dibujo computacional 2D y posteriormente modelado geométrico 3D, mejorando el proceso original de diseño.

De acuerdo Davis (2022) en la década de 1980, los profesionales de la arquitectura y el diseño comenzaron a utilizar software de la industria aeroespacial y de efectos visuales para animar la forma, además en 1985, Samuel Geisberg fundó Parametric Technology Corporation, donde lanzaron Pro/ENGINEER en 1988, considerado el primer software paramétrico comercialmente exitoso.

Eastman (1999) en el libro "Building Product Models" profundiza en los conceptos, tecnologías y métodos que contribuyen a mejorar el proceso de diseño virtual de edificios y otros objetos para la construcción, al agregar definiciones de objetos al modelo de información el cual describe el objeto que se construirá. El sistema GRAIL, considerado el primer programador visual en 1969, marcó el inicio del uso de estos sistemas en arquitectura. Posteriormente, Generative Components en 2003 y Grasshopper en 2007 ampliaron aún más este campo. Estos programas permiten a los diseñadores crear geometrías automáticamente a través de relaciones y operaciones (Davis et al., 2011). Estas variables, relacionadas con funciones matemáticas, son fundamentales en el cálculo interno de los programas, aunque no sean visibles para los usuarios. Grasshopper destaca por su manejo intuitivo de las variables, sin necesidad de conocimientos previos de programación (Molinare, 2011).

El diseño paramétrico, según Bufón (2014), ofrece la ventaja de explorar rápidamente diversas opciones de diseño. Al definir los parámetros del diseño, los diseñadores pueden modificar y probar fácilmente diferentes iteraciones.

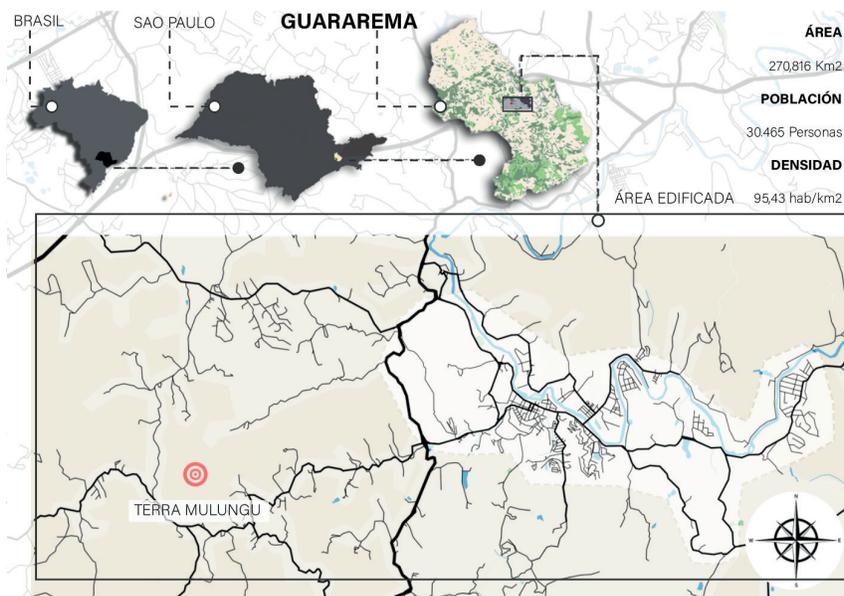
5.4 Marco Contextual

En el análisis integral de la localidad de Guararema, en Brasil, tres aspectos esenciales emergen para comprender su dinámica y su identidad: el contexto físico-espacial, el contexto físico-ambiental y el contexto socioeconómico. Estos tres pilares interconectados proporcionan una visión completa de la interacción entre la geografía, el entorno natural y las actividades humanas que dan forma a la vida en esta comunidad. El contexto físico-espacial de Guararema se sumerge en la topografía, la infraestructura y la distribución urbana que configuran el espacio habitable de esta ciudad. Mientras tanto, el contexto físico-ambiental se adentra en los ecosistemas, la biodiversidad y los desafíos medioambientales específicos que enfrenta la localidad. Finalmente, el contexto socioeconómico pone de relieve las dinámicas sociales, culturales y económicas que influyen en el desarrollo y el bienestar de la población local en Guararema. Al unir estos tres contextos en un análisis cohesivo, se obtiene una comprensión holística de la vida en la comunidad de Guararema, permitiendo la identificación de oportunidades y desafíos que guían hacia un crecimiento sostenible y equitativo en esta región.

5.4.1 Contexto Físico – Espacial

Localización

Ilustración 1. Brasil, Sao paulo, Guararema



Nota: Elaboración Propia (2023).

La investigación se llevará a cabo en un contexto sudamericano específico: Brasil. Según el Departamento de Estado de los Estados Unidos (2023), Brasil es el país más extenso de América del Sur y la quinta nación más grande del mundo. Además, se destaca por ser una nación diversa y multicultural, con una población que supera los 214 millones de habitantes distribuidos en veintiséis estados, entre ellos se destaca el estado de Sao Paulo y su capital la cual es considerada la ciudad más grande del país, que es conocida como el epicentro de la economía y finanzas, cuenta con una población de más de 12 millones de personas, lo que la convierte en la ciudad más poblada de Brasil y una de las áreas metropolitanas más grandes del mundo Marshall (2017).

En este contexto se procede a identificar la localización general del proyecto, la cual se desarrolla en la zona montañosa del estado de Sao Paulo, en la ciudad de Guararema. De acuerdo con Deason (1976), Guararema es una pequeña ciudad que se encuentra aproximadamente a 80 kilómetros al este de la ciudad de São Paulo con una población de alrededor de 30.000 habitantes, es una ciudad formada por islas naturales que albergan una rica diversidad de vida silvestre, peces y una variedad de especies de bosque nativo remanentes de la Mata Atlántica. Estas islas están interconectadas por puentes que permiten a los visitantes explorar diferentes áreas sobre las aguas del río Paraíba do Sul. Además de su entorno natural, la ciudad también cuenta con una formación rocosa inusual que contrasta con la arquitectura colonial.

Ubicación Especifica

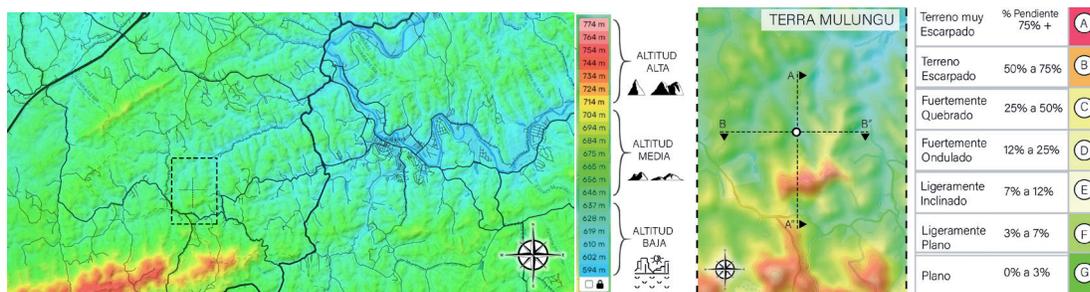
En cuanto a la ubicación del refugio en bambú, según Carvalho Mendes y colaboradores (2010) Guararema cuenta con un clima cálido y húmedo, ideal para el cultivo de bambú. Además, la región cuenta con una gran cantidad de áreas verdes y bosques, lo que favorece la disponibilidad de materia prima para el proyecto, esto quiere decir que Guararema ofrece una serie de beneficios significativos, incluyendo la sostenibilidad ambiental, el apoyo a la economía local y la ayuda a fomentar el bambú como elemento estructural y diseño en la arquitectura local. El refugio estará ubicado aproximadamente a 7 km al oeste de la ciudad de

Guararema en las instalaciones de un centro de desarrollo humano arraigado en el arte, el autoconocimiento, la ecología y la espiritualidad conocido como Terra Mulungu. Este centro se encuentra en medio de un entorno natural exuberante, rodeado de bosques y montañas, lo que lo convierte en un lugar ideal para la conexión con la naturaleza y la búsqueda de la paz interior.

Terra Mulungu, creado por la artista de danza, fotografía y terapeuta corporal Julia Genari quien en sus propias palabras lo describe como “un sueño hecho realidad con el propósito de promover el autoconocimiento, el desarrollo espiritual, la integración con la naturaleza y la experiencia en el arte” Genari (2020). Terra Mulungu es un espacio en el que actualmente se están plantando las primeras semillas para cultivar la tierra, analizando el suelo y entendiendo como crear una agrosilvicultura, con el propósito de consolidar una tierra productiva y equilibrada para hacerla más fértil y establecer la base de este emprendimiento consciente. Así mismo para Genari (2020), este lugar incorpora los principios de permacultura, sostenibilidad y bioconstrucción en la creación conjunta del proyecto conceptual, el cual está integrado por chalets, una piscina natural, una sala de masajes, una huerta, un espacio de meditación, un laboratorio para talleres y senderos que evocan un ambiente encantador.

Topografía

Ilustración 2. Mapa Topográfico



Nota: Elaboración Propia (2023).

En el contexto de Brasil, según el Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (IBGE) el municipio de Guararema se destaca por su interesante composición topográfica. La localidad ha establecido su área edificada de manera estratégica en la región geográficamente más plana.

Esta decisión en términos de topografía ha conferido ventajas significativas al desarrollo y la expansión de la ciudad, permitiendo la instauración de una distribución urbana eficaz y de fácil acceso para su ciudad IBGE (2022).

Sin embargo, lo que verdaderamente distingue a Guararema es su inserción en una imponente formación montañosa, enmarcada por destacadas altitudes que oscilan entre los 594 y 774 metros sobre el nivel del mar (como se muestra en la Ilustración 2). Además, de acuerdo a los planos cartográficos de Brasil, se pueden apreciar variaciones significativas en la topografía, con pendientes que van desde el 0% hasta superar el 75% Mapa topográfico Brasil(2023). La presencia de estas montañas imponentes en las proximidades de Guararema también ha influido en su identidad y en las actividades recreativas de los residentes. Además, la montaña proporciona una barrera visual y acústica, otorgando a Guararema un ambiente tranquilo y sereno en su área edificada.

En resumen, Guararema es un lugar donde la topografía se fusiona en una armonía especial. Su área edificada descansa en una zona plana, lo que permite una vida urbana práctica y cómoda. Sin embargo, esta planicie se ve cautivada por la presencia de una montaña con altitudes altas, agregando una dimensión natural impresionante al paisaje y ofreciendo a las habitantes oportunidades para explorar y conectarse con la naturaleza circundante. Esta combinación única hace de Guararema un destino fascinante para aquellos que buscan vivir en equilibrio entre lo urbano y lo natural.

Tipo de Suelo

Según Reverte y Colaboradores (2018) la región de Guararema se caracteriza por la notable diversidad debido a las múltiples formaciones geológicas presentes en la región. En la cartografía suministrada por la FBDS (2023) se establece un área de análisis que abarca aproximadamente 45.28 km², la cual cubre la zona urbana y una parte de la zona rural de Guararema, en esta se hace evidente una variedad de suelos que engloba principalmente el cambisol, latosol, alisol y ribereño. Esta heterogeneidad en la composición de los suelos se manifiesta como un factor determinante en la configuración de los ecosistemas de la localidad,

desempeñando un papel crucial en la sustentación de actividades como la agricultura, el crecimiento vegetal y la fauna silvestre.

Con base en esta cartografía se puede afirmar que el cambisol es el tipo de suelo más preponderante en la región, cubre aproximadamente el 71% del área estudiada. Estos suelos jóvenes se caracterizan por su capacidad de drenaje eficaz y su relativa facilidad de manejo. Aunque su nivel de fertilidad presenta una variación moderada a baja, los cambisoles constituyen una base sólida para la agricultura y la vegetación autóctona, y desempeñan un papel relevante en el mantenimiento de la sostenibilidad del entorno local.

Por otro lado, el suelo latosol, que ocupa alrededor del 23% del área de estudio, se distingue por su coloración rojiza y una elevada concentración de materia orgánica. Estas características hacen que este tipo de suelo sea altamente adecuado para actividades agrícolas. Sin embargo, la rica presencia de materia orgánica requiere una gestión cuidadosa para prevenir problemas de erosión. La adopción de prácticas agrícolas sustentables, como la conservación del suelo y la rotación de cultivos, es crucial para preservar la calidad y la integridad de estos suelos.

El suelo alisol, abarcando únicamente el 2.34% del área analizada, destaca por su alta saturación de aluminio, acidez pronunciada y la intensa actividad arcillosa. La formación de alisoles está profundamente influenciada por el clima, especialmente en regiones caracterizadas por un clima tropical húmedo o subhúmedo. Es importante señalar que estos suelos, a pesar de su acidez, pueden poseer una notable riqueza de nutrientes debido a la alta actividad de la arcilla, lo que puede favorecer el crecimiento de especies adaptadas a estas condiciones específicas.

En una proporción bastante reducida, aproximadamente el 0.83% del área estudiada, se encuentra el suelo ribereño. Este tipo de suelo se destaca por su fertilidad, resultado de la acumulación de sedimentos y materia orgánica influenciados por los procesos fluviales. Estos suelos, que se localizan en las inmediaciones de ríos y cuerpos de agua, desempeñan un papel

esencial en la conservación del agua y la regulación de la humedad en los ecosistemas ribereños. Gracias a su capacidad para retener el agua, contribuyen a la disponibilidad continua de agua para la vegetación circundante, lo que favorece el crecimiento de una vegetación diversa y exuberante en las zonas ribereñas.

En conjunto, esta variabilidad de suelos confiere a Guararema una base heterogénea y esencial para el funcionamiento de sus ecosistemas y el bienestar de sus habitantes. La interacción entre estos diferentes tipos de suelo y los diversos elementos del entorno natural subraya la importancia de comprender y gestionar adecuadamente la riqueza edáfica para garantizar un desarrollo sostenible y equilibrado de la localidad.

Morfología y Uso del Suelo

El perímetro urbano de Guararema abarca una extensión de 26,04 km², dentro de la cual se desarrolla un área edificada de 22,40 km², representando así el 86%. Además, se destaca una densidad de construcción de 0,014, evidenciando una morfología urbana única que se distingue por su configuración compacta y reticular Prefeitura Municipal de Guararema (2023). Este diseño urbanístico logra armonizar la conservación de su centro histórico colonial con una expansión planificada en su área urbana, al tiempo que logra la integración armoniosa de espacios naturales. Según lo expresado por Franco, F. C. (2015) en el corazón de la ciudad de Guararema, su centro histórico se erige con calles adoquinadas, casas antiguas e iglesias de valor histórico. A su vez, las áreas urbanas más amplias albergan residencias, establecimientos comerciales y servicios esenciales. No menos relevante, la presencia de parques naturales enriquece la ciudad con espacios verdes y áreas recreativas. La sinergia de estos elementos forja una urbe encantadora que logra un equilibrio armonioso entre su riqueza cultural y la naturaleza circundante.

Adyacente a este paisaje urbano, se despliega una zona rural que se destaca por grandes extensiones de áreas agrícolas y densos bosques. Este escenario natural se enriquece con paisajes que comprenden bosques, ríos y majestuosas montañas, ofreciendo oportunidades para la exploración del turismo ecológico. Esta variedad de componentes consolida una

morfología más dispersa, adaptándose a las diferencias en densidad de construcción que caracterizan cada sector rural.

La zona rural sometida a análisis abarca una extensión de 26,43 km² y cuenta con un área construida de 0,11 km², con una densidad urbana de 0,004. se distingue por la presencia de edificaciones de estilo colonial o rústico, adaptadas tanto a la vida agrícola como al fomento del turismo ecológico. Estas construcciones, además de ser funcionales, destacan por su durabilidad y se caracterizan por el uso de materiales tradicionales, como la madera y el ladrillo. Casas modestas con techos a dos aguas y espacios abiertos son características recurrentes, así como también las estructuras específicamente diseñadas para la actividad agrícola, como almacenes y graneros.

En base a las investigaciones llevadas a cabo por el IBGE (2023), se pone de manifiesto que la economía de la región se centra en actividades agrícolas y turísticas, destacando especialmente la producción de cultivos como café, plátanos, cítricos y hortalizas. A su vez, se promueve el arriendo de casas recreacionales y de campo. Este sector rural también alberga un tejido comercial minorista compuesto por tiendas, ferreterías y panaderías, entre otros. Así, se consolida un uso mixto de las edificaciones, con múltiples viviendas generalmente ubicadas en las vías principales.

En resumen, esta localidad ejemplifica una fusión magistral entre su contexto urbano y rural, unificando el encanto de su patrimonio cultural con la serenidad de sus espacios naturales. La simbiosis de morfologías y funciones crea un mosaico vibrante que caracteriza a esta comunidad en su totalidad.

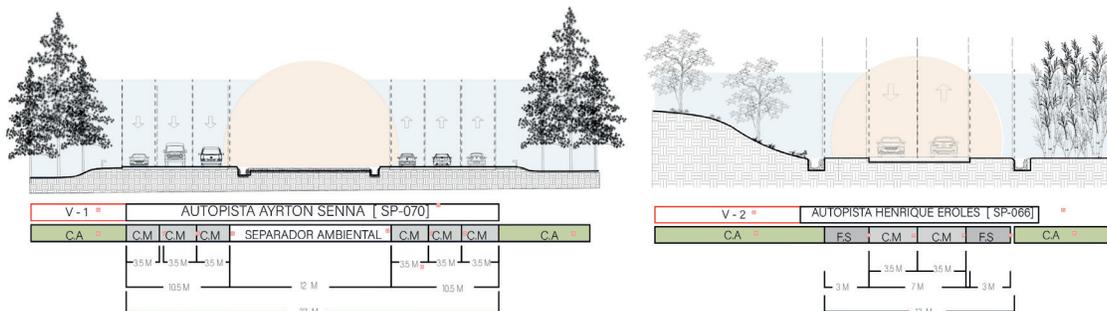
Movilidad

En su publicación “Malla vial” de Prefeitura Municipal de Guararema (2023), sostiene que el sistema vial de Guararema ha sido rigurosamente diseñado sobre la base de una clasificación que primordialmente evalúa la funcionalidad intrínseca y la capacidad de tráfico inherente a cada vía, siendo esta una determinación esencial para la optimización de la movilidad urbana.

La clasificación de las vías en esta localidad se organiza según su importancia y su capacidad, lo que se traduce en una distribución estratégica de funciones viales. En cuanto a los perfiles viales, las avenidas principales generalmente poseen un diseño más amplio, con múltiples carriles para permitir el flujo fluido de vehículos. En contraste, las vías colectoras y locales pueden tener un solo carril en cada dirección, priorizando la seguridad y el acceso peatonal.

La malla vial arterial (Ilustración 3), constituye el eje principal del sistema vial de Guararema. Este conjunto de vías principales actúa como la columna vertebral de la ciudad, conectando áreas cruciales y facilitando el flujo de tráfico de mayor volumen entre diferentes sectores. Estas arterias, que desempeñan un papel fundamental, permiten conexiones rápidas y eficientes tanto dentro de la ciudad como con áreas externas. Para cumplir con esta función, las arterias se caracterizan por su amplitud y estructura que les permite gestionar el tráfico intenso. En este sentido, las vías arteriales desempeñan un papel esencial en la conectividad de la ciudad y su relación con áreas exteriores, cumpliendo un rol fundamental en la circulación urbana y en la eficiencia del sistema vial de Guararema.

Ilustración 3. Perfil Malla Vial Arterial

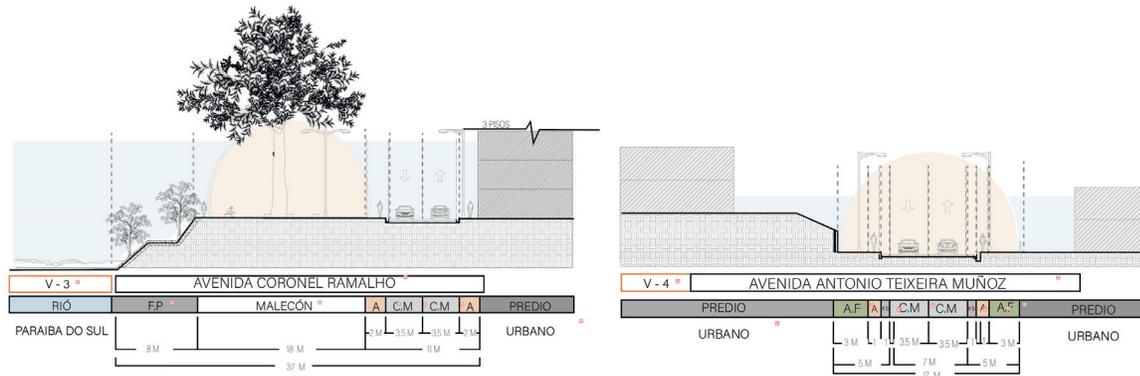


Nota: Elaboración Propia (2023).

La Malla Vial Intermedia (Ilustración 4), por su parte, se encarga de enlazar áreas residenciales y comerciales con las arterias principales. Estas vías colectoras cumplen una función esencial al distribuir el tráfico de manera equitativa y fluida, reduciendo la presión sobre las arterias principales y mejorando la accesibilidad a lo largo de la ciudad. Las calles que

conforman esta malla pueden tener un carril por sentido y están diseñadas para facilitar la movilidad local.

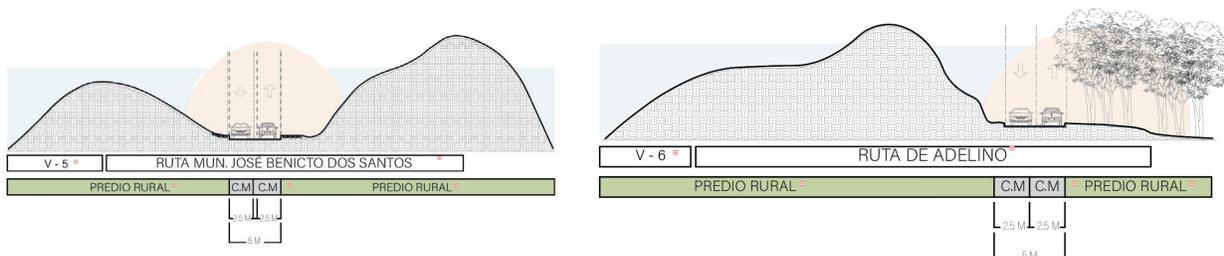
Ilustración 4. Perfil Malla Vial Intermedia



Nota: Elaboración Propia (2023).

La malla vial local (Ilustración 5) se orienta hacia las zonas rurales y de menor tráfico en Guararema. Estas vías, en su mayoría ubicadas en áreas menos urbanizadas, frecuentemente presentan desafíos relacionados con su mantenimiento y estado general debido a su ubicación en regiones más descuidadas. A pesar de estas condiciones, estas vías son vitales para proporcionar acceso directo a las propiedades locales y establecer entornos serenos y seguros para los residentes. El enfoque principal de la malla vial local radica en fomentar la interacción peatonal y la movilidad local, lo cual se traduce en su diseño con un solo carril en cada dirección. Aunque enfrentan ciertos desafíos inherentes a su ubicación en áreas rurales menos atendidas, estas vías desempeñan un papel crucial en el tejido vial de Guararema al asegurar la accesibilidad y la convivencia segura en estos espacios.

Ilustración 5. Perfil Malla Vial Local



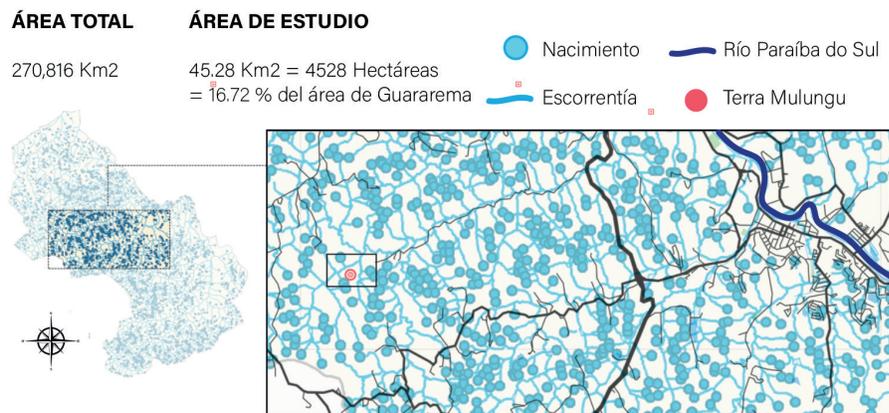
Nota: Elaboración Propia (2023).

En conclusión, el sistema vial de Guararema demuestra una planificación cuidadosa para satisfacer las necesidades de transporte y movilidad de la comunidad. La clasificación de vías y los perfiles viales reflejan un equilibrio entre la funcionalidad, la seguridad y la preservación del carácter distintivo de la ciudad y su entorno.

5.4.2 Contexto Físico – Ambiental

Hidrografía

Ilustración 6. Mapa Hidrográfico Área de Estudio, Guararema



Nota: Elaboración Propia (2023).

De acuerdo a Collischonn (2011) en su estudio de los sistemas hidrográficos de Brasil, Guararema presenta una rica diversidad de características hidrográficas, una cualidad que se entrelaza de manera íntima con su variada topografía. Esta combinación proporciona un contexto geográfico excepcionalmente interesante y beneficioso para la ciudad. Uno de los aspectos más destacados es la presencia del río Paraíba do Sul, cuyo curso desde las regiones montañosas hasta las áreas más bajas, atraviesa Guararema. Este río ofrece una fuente invaluable de agua para la región, contribuyendo a la sostenibilidad hídrica de la ciudad y su entorno.

Marenco dos Santos (2013) afirma que la topografía de Guararema también juega un papel crucial en la formación de nacimientos de agua y riachuelos. Los cambios de elevación en el terreno permiten que estas corrientes fluyan, generando hábitats acuáticos diversos y contribuyendo al ciclo hidrológico local. Además, los embalses presentes en la ciudad

capitalizan la topografía al almacenar y regular el suministro de agua, lo que es especialmente relevante para el abastecimiento y control en diferentes épocas del año.

Esta simbiosis entre la topografía y las características hidrográficas no solo es esencial para el equilibrio del ecosistema local, sino que también enriquece la vida de los habitantes de Guararema. Los cuerpos de agua y ríos ofrecen espacios recreativos naturales, donde los residentes pueden disfrutar de momentos de relajación y apreciar la belleza escénica de la naturaleza. Este entorno hidrográfico no solo agrega valor ambiental, sino que también contribuye al bienestar y la calidad de vida de la comunidad, creando una interacción equilibrada entre la naturaleza y la vida urbana en Guararema.

Vegetación y Flora

Según López, S. (2010) Guararema está situada estratégicamente en la región atlántica y en proximidad a la majestuosa Serra do Mar, exhibe una riqueza vegetal notable. Su ubicación geográfica privilegiada le otorga una diversidad botánica única. En gran parte, su vegetación original está arraigada en el Bosque Atlántico, un ecosistema esencialmente biodiverso que asume un papel fundamental en la salvaguarda de recursos naturales, la protección de especies amenazadas y la regulación climática regional. Este contexto vegetal se convierte en un pilar en la preservación de la naturaleza que define la ciudad.

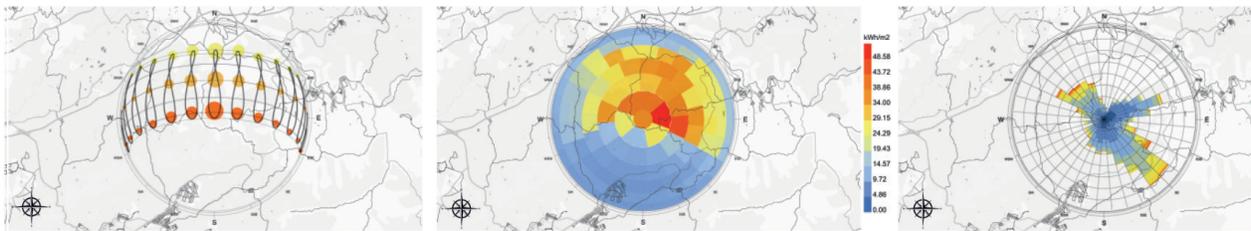
De acuerdo con la FBDS (2023) las características topográficas de Guararema también originan la existencia de zonas de "bosque ciliar", un tipo de entorno forestal que alberga vegetación arbustiva, herbácea y diversas plantas, con una densidad de árboles ligeramente menor en comparación con el bosque atlántico. Además, los ríos y arroyos en la localidad dan lugar a los bosques ribereños, conocidos como Mata Ciliar. Estos bosques junto a cursos de agua desempeñan un papel de inmensa importancia ecológica, ya que contribuyen de manera crucial al equilibrio de los ecosistemas acuáticos y terrestres, asegurando su funcionamiento saludable.

Aunado a esta diversidad, también se encuentran áreas destinadas a la actividad agrícola, destinadas a asegurar el sustento alimentario de la población. Estas zonas agrícolas no solo resaltan la conexión de la comunidad con la tierra, sino que también reflejan la manera en que la ciudad ha sabido conjugar la naturaleza y las necesidades humanas en armonía.

En conjunto, esta variedad de entornos vegetales de Guararema constituye un tejido intrincado de interacciones entre la geografía, la biodiversidad y las actividades humanas, reflejando la importancia de la conservación de los recursos naturales y la gestión sostenible en esta comunidad.

Clima

Ilustración 7. Análisis Climático: Bóveda solar , Radiación solar , Vientos



Nota: Elaboración Propia (2023).

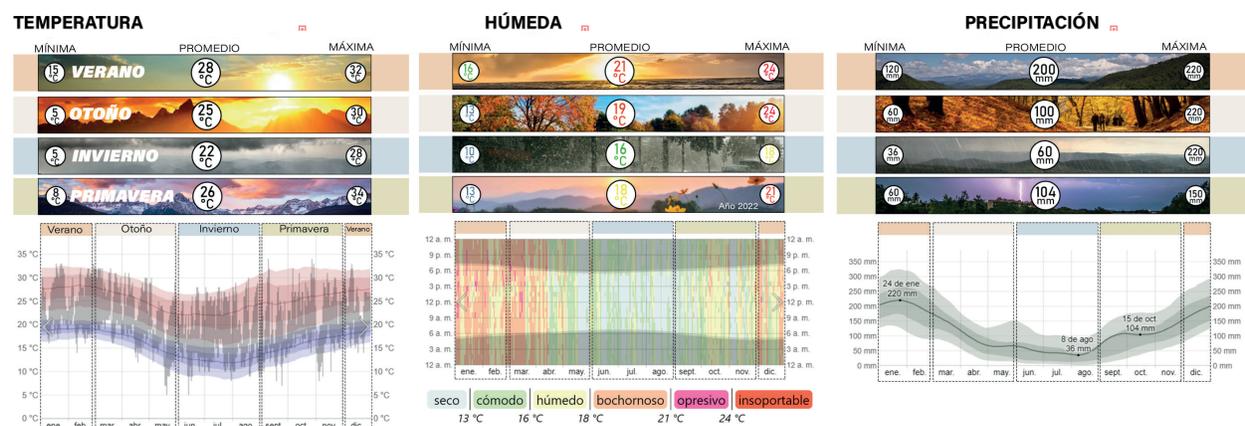
De acuerdo con el estudio meteorológico suministrado por Weather Spark (2022), Guararema está ubicada en las proximidades del trópico de Capricornio, a unos 23 grados de latitud sur y se ve influenciada por su posición geográfica en varios aspectos climáticos. Esta ubicación única tiene como consecuencia que el sol ocupe una posición más elevada en el cielo durante todo el año en comparación con las áreas más alejadas del ecuador (Ilustración 7). Como resultado, los rayos solares inciden de manera más directa en la región, generando un aumento en la intensidad de luz y calor que se experimenta durante el día.

Esta particularidad se refleja en los días más largos durante el verano en las zonas cercanas al trópico de Capricornio, debido a la inclinación del eje de la Tierra. Esta mayor duración de la luz solar es un recurso valioso para actividades al aire libre y la agricultura, ya que ofrece una ventana expandida para la exposición a la luz solar. No obstante, esta

prolongada exposición solar también conlleva implicaciones que deben ser consideradas, especialmente en las zonas nororientales y noroccidentales de la región, donde la intensidad de radiación solar puede ser más elevada, requiriendo precauciones y medidas de protección adecuadas

En cuanto a los vientos, el sistema en Guararema está condicionado por la topografía, la ubicación geográfica y las condiciones climáticas. Los rasgos del terreno tienen la capacidad de alterar tanto la dirección como la velocidad del viento, mientras que el efecto de brisa generado por el río Paraíba do Sul añade un matiz más a los patrones de viento locales, configurando un sistema de vientos característico de la región.

Ilustración 8. Gráfico de temperatura, húmeda y precipitación



Nota: Elaboración Propia (2023).

En relación a la temperatura, el gráfico proporciona una representación visual del rango diario, incluyendo máximas, mínimas y promedio. Además, las bandas de percentiles añaden información sobre la variabilidad mensual de las temperaturas. Esta información es crucial para la planificación y la adaptación a las condiciones cambiantes.

El nivel de confort de la humedad, cuantificado mediante el punto de rocío y reportado por hora, refleja la variación mensual de la humedad en Guararema. Por otro lado, el gráfico de precipitaciones destaca que la ciudad experimenta un invierno seco con escasas precipitaciones

y un verano que trae consigo un aumento en las lluvias, evidenciando patrones climáticos estacionales que tienen un impacto significativo en la vida en Guararema.

5.4.3 Contexto Socio Económico

El Gobierno de Estado de São Paulo (2023) afirma que el municipio de Guararema, se distingue por su notable crecimiento en el Producto Interno Bruto (PIB). Este indicador económico es un testimonio del desarrollo sólido y continuo en diversos sectores locales. Con una población estimada de 31,236 habitantes y una densidad poblacional de 115,34 hab/km², según el Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (IBGE), Guararema refleja un nivel de urbanización significativo, con un 86% de su población en zonas urbanas y un 13.9% en áreas rurales. Esta distribución demuestra su carácter mayormente urbano, mientras que su identidad cultural se nutre de influencias indígenas, la herencia portuguesa y la presencia de descendientes africanos, que se manifiestan en aspectos como la gastronomía, las tradiciones populares, la música y las festividades locales.

Según el IBGE (2023) el ascenso económico de Guararema es notorio en el panorama estatal, destacando en el ranking del PIB de Sao Paulo en el año 2020. Desde el año 2016, se ha observado un aumento constante en el PIB, atribuido a diversos factores, entre ellos, la activa actividad económica local en áreas como el turismo, el comercio minorista y los servicios, que incluyen sectores tan variados como la agricultura, la industria y la construcción.

El turismo, el comercio minorista y los servicios juegan un papel vital en la economía local. La belleza natural y la riqueza histórica de Guararema atraen a visitantes interesados en su arquitectura colonial, senderismo, cascadas y ríos. Como centro turístico, la ciudad dispone de una diversidad de tiendas, restaurantes, bares y hoteles que satisfacen las necesidades de los visitantes y de la población local, convirtiendo al turismo en una fuente de ingresos esencial.

La agricultura y la agroindustria también tienen un impacto considerable en la economía local, aprovechando la fertilidad del suelo para producir una amplia gama de productos

agrícolas, como hortalizas, frutas, café y productos lácteos. Estas actividades, además de generar desarrollo económico, promueven la sostenibilidad agrícola y hacen uso responsable de los recursos naturales disponibles.

El sector industrial y de la construcción también son motores económicos en Guararema. Empresas dedicadas a la manufactura de muebles, productos de cerámica y otros bienes de consumo han encontrado un hogar en la ciudad. Además, la creciente demanda de viviendas ha propiciado un auge en la industria de la construcción, contribuyendo así al dinamismo económico local.

La administración pública desempeña un papel esencial en el incremento del PIB de Guararema. A través de inversiones estratégicas, el desarrollo de infraestructuras clave y el fomento de sectores estratégicos, una gestión eficaz y proactiva crea un entorno propicio para el crecimiento económico. La colaboración estrecha con el sector privado y la comunidad fortalece la economía local y genera oportunidades de empleo y desarrollo a largo plazo.

5.4.4 Bambú en Brasil

Brasil se destaca como el país con la mayor diversidad de especies de bambú en el continente americano, según lo menciona Judziewicz et al. (1999). En cuanto a los bambúes herbáceos, se han identificado dos subfamilias, tres géneros y siete especies. En general, se estima que en Brasil se encuentran presentes 34 géneros y 232 especies de bambú, algunas de las cuales aún no han sido descritas formalmente. Además, se estima que un 75% de estas especies, es decir, 174 especies, son consideradas endémicas (Filgueiras y Gonçalves, 2004).

En el libro "El bambú en Brasil: de la biología a la tecnología", organizado por Drumond y Wiedman (2017), en colaboración con el Ministerio de Ciencia, Tecnología, Innovaciones y Comunicaciones (MCTIC) y la Corporación Brasileña de Investigación (Embrapa), se promueven acciones para fomentar el conocimiento y las aplicaciones del bambú, dada su importancia socioambiental y económica. Este libro recopila información de calidad de diversas instituciones con el objetivo de fortalecer la cadena productiva del bambú en el país. Se ha observado que

muchos vendedores de cañas de bambú venden estos productos debido a la presencia de agrupaciones de bambú en su propiedad o áreas cercanas. Estos vendedores también se consideran productores de bambú, ya que utilizan los tallos para uso propio o los venden a otros transformadores, sin tener una plantación formal.

Tabla 4. Especies de bambú más comunes en Brasil

Especie	Características
Bambusa vulgaris (bambú común)	La especie de bambú <i>Bambusa vulgaris</i> , originaria de Asia, fue introducida en Brasil por inmigrantes portugueses y se ha propagado ampliamente en el país, siendo utilizada en fincas rurales con diversos propósitos. En el ámbito comercial, se encuentran dos grandes plantaciones de <i>Bambusa vulgaris</i> en Brasil. El Grupo Industrial João Santos, a través de la Industria de Itapajé, posee plantaciones en Maranhão y Pernambuco que abarcan un total de 36,000 hectáreas. Estas plantaciones se dedican a la producción de papel, específicamente para la fabricación de bolsas de embalaje de cemento Portland utilizando pulpa de bambú (NUNES, 2005). Adicionalmente, la empresa estadounidense Bamboo Strand Products tiene previsto invertir en una plantación de aproximadamente 2,000 hectáreas de <i>Bambusa vulgaris</i> en Brasil para la producción a gran escala de vigas de bambú laminado.
Dendrocalamus giganteus (bambú gigante)	El bambú gigante se encuentra ampliamente distribuido en Brasil y se utiliza tanto en la construcción debido a sus buenas cualidades físicas y mecánicas, como en la alimentación, especialmente como brote comestible. La empresa D'Bamboo, ubicada en Angra dos Reis/Rio de Janeiro, ofrece varillas autoclavadas de la especie <i>Dendrocalamus giganteus</i> tratadas con el conservante CCA (Cromo-Cobre-Arsénico). En las localidades de Atibaia y Embu-Guaçu, en São Paulo, se encuentran plantaciones de las especies <i>Phylostachys</i> y <i>Dendrocalamus</i> , así como un taller dedicado al tratamiento y procesamiento del bambú (NUNES, 2005).
Phylostachys aurea (caña de la india)	La especie <i>Phylostachys aurea</i> , conocida como caña de la India, se utiliza en pequeñas plantaciones para la construcción de muebles y postes. Además, se utiliza frecuentemente en la pesca en el sur de Bahía, Minas Gerais, Río de Janeiro y en el interior de São Paulo (NUNES, 2005). Se ha observado que una pequeña empresa familiar de muebles en Três Rios (Rio de Janeiro) utiliza esta especie, pero no la compra ni la planta. En su lugar, recolectan todo el material de forma gratuita en granjas donde los propietarios no utilizan el bambú y desean deshacerse de él, ya que lo consideran una plaga que se propaga.
Phyllostachys bambusoides (bambú negro) e <i>P. pubescens</i> (mosso)	El género <i>Phylostachys</i> ha sido introducido en Brasil por inmigrantes japoneses a principios del siglo pasado, y se encuentra principalmente en el interior del estado de São Paulo, donde establecieron sus colonias. Se destaca a la empresa Tatu Bambú, ubicada en Parelheiros (Sao Paulo), la cual lleva 13 años vendiendo cañas de bambú y desde 2007 ha comenzado a exportar a Inglaterra. Esta empresa cuenta con varias plantaciones dispersas en la región, que incluyen especies como mosso, madake, nigra, bambú gigante, bambú cuadrado, caña india y hatikun. En total, estas plantaciones abarcan aproximadamente 25 hectáreas de terrenos arrendados a familias japonesas que no utilizan el bambú. Tatu Bambú es el principal productor de bambú en el país y sus productos se venden en todo Brasil.

Nota :Adaptado de Manhães,(2008)

La elección de la especie *Phyllostachys pubescens*, comúnmente conocida como bambú Mosso, para la creación del refugio en bambú se basa en sus características sobresalientes y los beneficios que ofrece. Según lo señalado por NUNES (2005), los brotes de esta especie de bambú son ampliamente utilizados en la cocina japonesa y se considera uno de los más adecuados para aplicaciones en arquitectura.

Además, según Exotic Plants (2011), el bambú Mosso presenta una notable resistencia al invierno, lo que lo hace ideal para las condiciones climáticas de la zona. Su capacidad para crecer rápidamente es evidente durante la primavera, cuando emergen los nuevos brotes, y las plantas adultas pueden aumentar su altura hasta 45 cm en un solo día. Asimismo, las cañas de esta especie pueden alcanzar alturas de entre 18 y 25 metros en cuestión de meses y luego se dedican a desarrollar su estructura leñosa durante los años siguientes, mientras que la planta madre sigue generando nuevos tallos anualmente, como señala Bambusa Estudio (2019).

Estas cualidades hacen del bambú Mosso una elección sólida para la construcción del refugio, ya que su rápido crecimiento, resistencia al invierno y su versatilidad en aplicaciones arquitectónicas lo convierten en un material adecuado para crear un refugio duradero y funcional.

5.4.4 Concepto

Bagua

Teniendo en cuenta el análisis realizado en el contexto de Guararema, es evidente que se caracteriza por su riqueza natural y gran parte de su economía se encuentra impulsada por el floreciente turismo ambiental, respaldado adicionalmente por su cercanía a la ciudad de Sao Paulo. Debido a estas cualidades cada vez más personas buscan un refugio en Guararema para desconectar del estrés diario, encontrar equilibrio y explorar su crecimiento personal, por ello, surge la necesidad de crear un espacio que permita la meditación y fomente la conexión con la naturaleza y el autoconocimiento. Es en este escenario que se ha considerado el refugio de bambú como una opción altamente viable que incorpora los fundamentos claves de Terra Mulungu. Según Genari (2020) el espacio debe aplicar, desarrollar y transmitir el cuidado de la

tierra, logrando un equilibrio entre dar a la tierra y recibir de ella. Esto implica escuchar con empatía y atención la sabiduría del sistema natural. Además, este espacio debe reflejar la nueva lógica de organización en red, promoviendo la salud y la sostenibilidad empresarial.

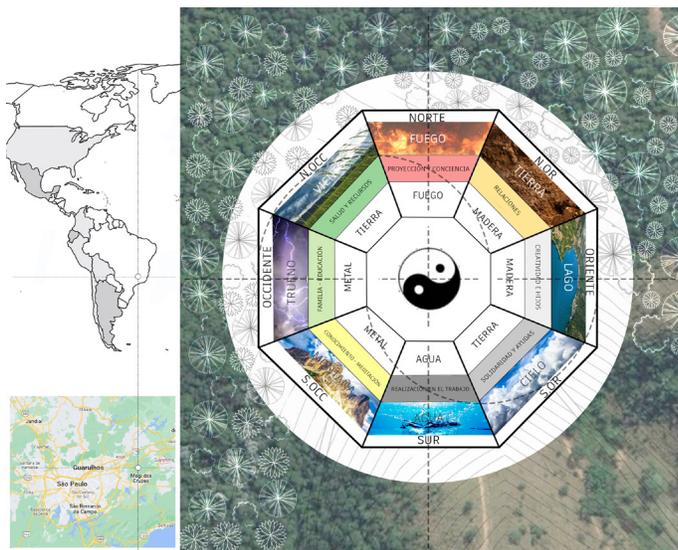
En vista de esta necesidad de crear un espacio para la meditación que fomente la conexión con la naturaleza y el autoconocimiento, surge la integración del símbolo chino "Bagua" como una representación visual de estas ideas. Según Mao (2014), el "Bagua" es un símbolo utilizado en la cosmología taoísta para representar los principios esenciales de la realidad. En ese sentido, estos símbolos se consideran una serie de ocho conceptos interconectados que representan los principios básicos del Feng Shui, una antigua práctica que busca armonizar la energía en el entorno.

Bajo este concepto, que define la naturaleza formal del refugio, además se le otorga el nombre de "Bagua", en referencia al símbolo chino que representa los principios esenciales de la realidad y que se integra en el diseño del espacio. Este nombre no solo evoca la conexión con las ideas fundamentales del Feng Shui, sino que también refleja la intención de crear un ambiente armónico y equilibrado.

Al llamar al refugio Bagua, se establece un compromiso con la coherencia y la integración de los elementos en el diseño. Se considerarán cuidadosamente las formas y proporciones, buscando lograr un equilibrio visual y espacial que contribuya a la serenidad y la tranquilidad del entorno. El objetivo es crear un espacio estéticamente agradable que invite a la introspección y al encuentro con uno mismo. La elección del nombre Bagua también sugiere una conexión profunda con la naturaleza y el universo, recordándonos la importancia de armonizarnos con nuestro entorno. Al igual que el símbolo del Bagua representa los principios básicos de la realidad, el refugio busca transmitir esos principios a través de su diseño y ambiente, permitiendo a los visitantes sumergirse en una experiencia en la que se fusionen con la energía de la naturaleza y encuentren una mayor conexión con ellos mismos.

Por último, esta idea conceptual se materializa en un elemento arquitectónico a través del equipo de diseño de la empresa Arquitectura Bamboom, liderada por el Arquitecto Xavier Pino quien, con su enfoque constructivo y su lenguaje arquitectónico, busca lograr un desarrollo geométrico y espacial coherente. La vasta experiencia de más de 20 años en construcción, diseño con bambú y el uso de herramientas paramétricas computarizadas son fundamentales en este proceso.

Ilustración 9. Interpretación Concepto "Bagua"



Nota : Elaboración propia (2023)

5.5 Marco Referencial

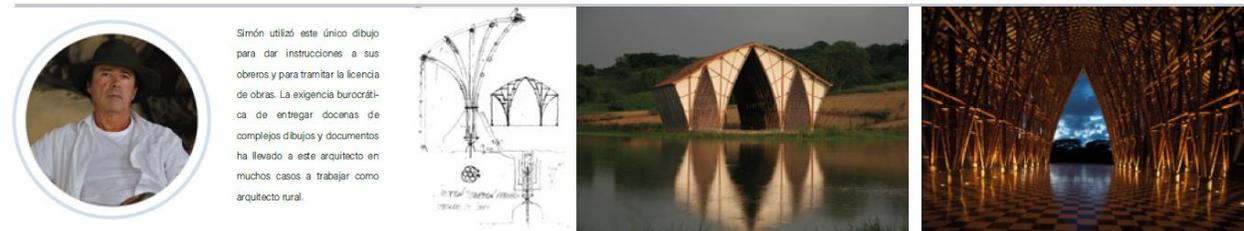
Iglesia Privada de Pereira

El proyecto de la Iglesia Privada es una estructura hecha completamente de bambú. Tras el terremoto de diciembre de 1999 en la ciudad de Pereira, se construyó una estructura provisional en el lateral de la iglesia derrumbada. A continuación, se detallan algunos aspectos importantes de esta obra.

Ilustración 10. Iglesia Privada de Pereira

IGLESIA PRIVADA DE PEREIRA		
LOCALIZACIÓN	DATOS GENERALES	
COLOMBIA	TIPOLOGÍA	ARQUITECTURA EFÍMERA
RISARALDA	ARQUITECTO	SIMÓN VELEZ
	FECHA DE FINALIZACIÓN	2002
	ESPECIE DE BAMBÚ	GUADUA ANGUSTIFOLIA
	SUPERFICIE CONSTRUIDA	700 m ²
DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO		
DISEÑO	La iglesia se basa en una estructura de arcos de bambú entrelazados, tenía 16m de ancho y 25m de profundidad y constaba de tres naves; el espacio central tenía un vano de 8m y una altura de 11m.	
FUNCIONALIDAD	Fue utilizada para celebraciones religiosas privadas, para eventos culturales y educativos, contaba con capacidad para aproximadamente 100 personas.	
RECONOCIMIENTO	El arquitecto simón Vélez ha recibido varios reconocimientos y premios por su trabajo, incluyendo el Premio Príncipe Claus en 2009, es reconocido en la arquitectura mundial por el trabajo desarrollado con el bambú, como material de construcción.	

Fuente: Tomado de Franco (2022)



Simón utilizó este único dibujo para dar instrucciones a sus obreros y para tramitar la licencia de obras. La exigencia burocrática de entregar docenas de complejos dibujos y documentos ha llevado a este arquitecto en muchos casos a trabajar como arquitecto rural.

Nota : Tomado de Franco (2022)

En conclusión, la Iglesia Privada construida por Simón Vélez es una impresionante obra de arquitectura efímera hecha completamente de bambú. Su diseño innovador y su construcción utilizando técnicas tradicionales demuestran el potencial del bambú como material de construcción sostenible. Vélez inventó nuevos métodos de carpintería y nuevos sistemas de soporte estructural, transformando el material en un recurso moderno y flexible, que puede ser usado en todo tipo de edificios y que cuenta con una muy buena resistencia sísmica gracias a su elasticidad.

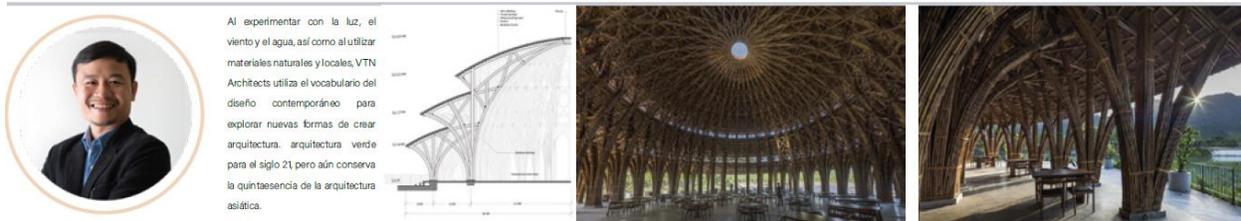
Restaurante Vedana

La Cúpula de Bambú del Vedana Resort es una impresionante obra de arquitectura hecha completamente de bambú, ubicada en el centro de Vietnam. A continuación se presentan algunos detalles importantes de esta obra.

Ilustración 11. Restaurante Vedana

RESTAURANTE VEDANA		
LOCALIZACIÓN	DATOS GENERALES	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO
VIETNAM PROVINCIA DE NINH BINH 	TIPOLOGÍA RESORT FIRMA VO TRONG NGHIA ARCHITECTS FECHA DE FINALIZACIÓN 2020 ESPECIE DE BAMBÚ DENDROCALAMUS ASPER SUPERFICIE CONSTRUIDA 1.000 m2	DISEÑO La estructura tiene forma de cúpula y cuenta con una altura de 16 metros de alto y 18 de ancho. Está compuesto por tres arillos concéntricos emulando a los techos tradicionales vietnamitas, la cúpula es una estructura única realizada con 36 módulos de bambú. FUNCIONALIDAD El restaurante sirve a los 1350 invitados del complejo y también puede estar disponible para bodas. RECONOCIMIENTO La Cúpula ha recibido varios premios incluyendo el Premio Yuanye y el Premio Dezeen de la categoría Resort del año.

Fuente: Tomado de Vtn (2021)



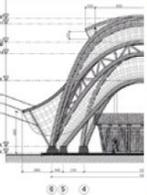
Nota : Tomado de Vtn (2021)

En conclusión, la Cúpula de Bambú del Vedana Resort es una obra de arquitectura única y sostenible que utiliza bambú *Dendrocalamus giganteus* para crear una estructura impresionante y funcional. El lago juega un papel extremadamente importante, especialmente en áreas con altas temperaturas, también es un enorme depósito que almacena agua de lluvia y abundante agua de las montañas que fluye hacia abajo en una vena subterránea. El lago es la fuente de agua de riego para todos los árboles del proyecto. Esta obra es un ejemplo inspirador de cómo la arquitectura puede combinar la belleza y la funcionalidad con la sostenibilidad y el respeto al medio ambiente.

El Arco en Green School

El arco construido por IBUKU es considerado como la obra maestra de la compañía, y fue terminado en 2021. Este edificio, que es el primero de su tipo. A continuación se presentan algunos detalles importantes de esta obra.

Ilustración 12. El Arco En Green School

EL ARCO EN GREEN SCHOOL		
LOCALIZACIÓN INDONESIA 	DATOS GENERALES TIPOLOGÍA ARQUITECTURA ORGÁNICA FIRMA IBUKU FECHA DE FINALIZACIÓN 2021 ESPECIE DE BAMBÚ DENDROCALAMUS ASPER SUPERFICIE CONSTRUIDA 760 m ²	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO DISEÑO Está compuesto por una serie de arcos de bambú que se extienden a lo largo de 19 metros y están conectados mediante rejillas anticiclónicas que obtienen su resistencia de su capacidad para curvarse en dos direcciones. FUNCIONALIDAD Es un espacio de bienestar comunitario y gimnasio. La escuela lleva 12 años rompiendo fronteras y ampliando horizontes, y esta instalación es el más reciente hito en esa historia, elevando el listón de la educación sostenible en todo el mundo. RECONOCIMIENTO Inspirada en la naturaleza, el arco es una proeza de la ingeniería, ha requerido meses de investigación, desarrollo y ajuste de detalles a medida. El resultado es un diseño refinado con una belleza inigualable que es un testimonio del compromiso de IBUKU de ampliar los horizontes de la arquitectura y el diseño. <small>Fuente: Tomado de Immadm (2023)</small>
 <p>Elora es la fundadora y directora de IBUKU, un equipo de jóvenes diseñadores, arquitectos e ingenieros que exploran formas innovadoras de usar bambú. El objetivo es proporcionar espacios en los que las personas puedan vivir en una relación auténtica con la naturaleza.</p>		 

Nota : Tomado de Immadm (2023)

En conclusión, el enfoque de diseño de IBUKU busca establecer una conexión entre las personas y el entorno, para lograr una integración armoniosa con el mundo que nos rodea y fomentar un sentimiento de pertenencia. Se puede decir que están desarrollando un nuevo lenguaje de diseño que se basa en el uso bambú, y al mismo tiempo están explorando cómo la arquitectura y el diseño sostenibles pueden transformar la idea de lujo. La combinación de las habilidades tradicionales de los artesanos balineses con las ideas de diseño e ingeniería moderna permiten crear estructuras de bambú únicas y adaptadas a las necesidades de cualquier entorno.

5.5 Marco Normativo

5.6.1 Normativa Internacional.

La Organización Internacional del Bambú y el Ratán (INBAR) es una organización de desarrollo multilateral que promueve el desarrollo ambientalmente sostenible utilizando bambú y ratán, con sedes en China, Camerún, Ecuador, Etiopía, Ghana e India. Con su configuración única, se destaca como un defensor clave y ha desempeñado un papel fundamental en la promoción logrando mejorar los estándares, promover la construcción segura y resistente con bambú, restaurar tierras degradadas, influir en la política verde y apoyar en una verdadera diferencia en las vidas y los entornos de millones de personas en todo el mundo. Además la normativa de Colombia es la más detallada, rige la utilización de la especie más utilizada en Latinoamérica, la *Guadua angustifolia*. La normativa trata de las propiedades físicas, la resistencia a sismo, la cosecha, secado, preservación, las uniones estructurales, etc.

Tabla 5. Matriz De identificación De La Normativa Internacional Sobre Bambú

Entidad y/o organismo responsable	Norma	Año	Artículo Aplicable	Interpretación
Servicio Nacional De Capacitación Para la Industria en la Construcción Perú	E.100 BAMBÚ	2020	Reglamento Nacional de Edificaciones	Esta norma establece los lineamientos técnicos que se deben seguir para el diseño y construcción de edificaciones sismo resistentes con bambú: <i>Guadua angustifolia</i> y otras especies de características físico mecánicas similares.
Organización Internacional de Normalización	ISO 22156	2021	Estructuras de Bambú	Actualización de un nuevo estándar sobre diseño estructural con postes de bambú. proporcionando pautas más completas para diseñadores y arquitectos sobre cómo construir con bambú redondo. Específicamente, la norma se aplica al diseño de estructuras de bambú de hasta 7 metros donde especifica los requisitos para resistencia mecánica, facilidad de servicio y durabilidad.
Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial-Colombia	NSR-10	2010	Capitulo G12. Estructuras en guadua	Esta norma establece los requisitos para el diseño sismo resistente de estructuras en guadua ,además de secciones que tienen como objetivo dar recomendaciones de construcciones y fijar requisitos para garantizar el buen comportamiento de las estructuras.
Instituto Colombiano De	PRE NORMA	2021	Estructuras de bambú.	Este documento establece procedimientos de ensayo para determinar las propiedades físicas y

Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC)	NTC 5525	Determinación de las propiedades físicas y mecánicas de los culmos de bambú. Métodos de ensayo	mecánicas de los culmos de bambú rollizo, utilizados en el diseño de ingeniería estructural. Incluye evaluación de propiedades como densidad, resistencia a la compresión, tensión y flexión, tanto paralela como perpendicular a las fibras, y métodos para estimar los módulos de elasticidad.
Bamboo the gift of the gods elaborado por Oscar Hidalgo en 2003 en Colombia.	2003	Forma geométrica Espacio estructural Internacionalización	Abarca una amplitud detallada sobre la propiedad que desarrolla el bambú frente a los múltiples propósitos en los que se puede aplicar, Y como este a su vez permite en gran escala abarcar nuevas formas estructurales sistemas de cargas no comunes y cómo es un proceso de modulación y un proceso de adición a un sistema ya hecho.

Nota : Elaboración propia

5.5.2 Normativa Nacional y Local.

El 21 de diciembre del 2020, la Asociación Brasileña de Normas Técnicas (ABNT), representada por el Comité Brasileño de la Construcción Civil (CB-002), publicó dos normas brasileñas que contienen información sobre el uso del tallo de bambú como material de construcción en estructuras. La primera norma aborda el diseño y dimensionamiento de estructuras de bambú (NBR-16828-1), y la segunda se refiere a los métodos de prueba para determinar las propiedades físico-mecánicas del bambú (NBR16828-2), Oliviera (2020).

Tabla 6. Matriz De identificación De La Normativa Nacional Sobre Bambú

Entidad y/o organismo responsable	Norma	Año	Artículo Aplicable	Interpretación
la Asociación Brasileña de Normas Técnicas (ABNT) Parte 1	NBR-16828-1	2020	Diseño y dimensionamiento de estructuras de bambú	Establece los requisitos básicos para el diseño de estructuras construidas con culmos de bambú. Esta norma aborda aspectos importantes como la capacidad de servicio y la durabilidad de las estructuras elaboradas con este material.
la Asociación Brasileña de Normas Técnicas (ABNT) Parte 2	(NBR16828-2)	2020	Métodos de prueba para determinar las propiedades físico-mecánicas del bambú	La norma proporciona directrices y estándares para garantizar que las estructuras de bambú cumplan con los criterios de seguridad, las propiedades físicas y mecánicas del bambú.

Nota : Elaboración propia

La publicación de estas normas específicas para el uso estructural de los tallos de bambú en Brasil, incluyendo Guararema, es un gran avance para consolidar la cadena productiva del bambú en todo el país. Estas normas fueron impulsadas por representantes de universidades, institutos de investigación, productores rurales, asociaciones y otros interesados, con el objetivo de promover el uso sostenible del bambú como material de construcción. Además, es importante destacar que el bambú ha sido recientemente reconocido como un material de construcción aceptado en Brasil, esto significa que su uso se considera seguro y viable para aplicaciones estructurales en diversos proyectos. Esta nueva perspectiva abre grandes oportunidades para aprovechar el potencial del bambú como una alternativa sostenible a la madera y otros materiales convencionales.

La publicación de estas normas en Brasil, que incluye a todos los estados y municipios, es un paso importante para fomentar el uso estructural del bambú en todo el país. Esta medida respalda el desarrollo de una cadena productiva sólida y sostenible, al tiempo que promueve la mitigación del cambio climático a través del uso de un recurso renovable y de bajo impacto ambiental como el bambú.

6. Metodología

6.1 Tipo De Metodología.

Para llevar a cabo la investigación, se utilizó un enfoque exploratorio–experimental de naturaleza mixta, que combina aspectos cualitativos y cuantitativos. Esta elección se basa en la necesidad de revisar la información existente y promover conocimiento, especialmente en relación a la aplicación del diseño paramétrico en la arquitectura con Bambú. El enfoque cualitativo se empleará en la revisión de documentación existente sobre arquitectura en bambú y diseño paramétrico. Por otro lado, el enfoque cuantitativo facilita la comprensión de los fenómenos de manera secuencial, se aplicará en la fase de diseño con sus respectivas variaciones, con el objetivo de obtener un refugio eficiente para su implementación. La combinación de estos enfoques permitirá obtener una estructura sostenible y resiliente, con una geometría eficiente y adaptada a las necesidades específicas del proyecto.

6.2 Etapas De Investigación

Etapas 1: Recolección De información y Análisis

En esta etapa se busca obtener información relevante y actualizada sobre el tema de investigación, identificando las palabras clave relacionadas con la arquitectura en bambú, el diseño paramétrico, propiedades mecánicas y estructurales, y las técnicas de construcción adecuadas para su implementación . Para ello se hace una búsqueda sistemática en fuentes de información científica, como revistas especializadas, libros y bases de datos. La información relevante se selecciona y se analiza críticamente para la síntesis de la elaboración de un marco teórico.

Etapas 2: Proceso De Diseño Paramétrico

En esta etapa se diseña y modela digitalmente la estructura de bambú para el refugio en Sao Paulo, Brasil, utilizando la herramienta de diseño paramétrico Rhinoceros y su lenguaje de programación gráfico Grasshopper para la generación geométrica. Se generan diferentes geometrías a partir de los parámetros definidos previamente, realizando simulaciones de

variables para evaluar la eficiencia y la versatilidad de la estructura de bambú diseñada. Se identifican las variables más relevantes para el proyecto, se seleccionan los plugin de Grasshopper para realizar los procesos de simulación climática y mecánica de la estructura. Finalmente se procede a completar el modelo 3d con los elementos no estructurales que complementan e impermeabilizan la estructura del refugio.

Etapa 3: Análisis y Resultados

En esta etapa se analizan los resultados obtenidos en las etapas anteriores, se comparan con la información obtenida en la revisión bibliográfica y se elaboran conclusiones y recomendaciones. Se discuten los hallazgos en relación con los objetivos de la tesis, se destacan los aspectos más relevantes y se identifican las limitaciones del estudio. Se formulan recomendaciones para el uso del diseño paramétrico en la generación geométrica de estructuras de bambú, y se sugieren posibles repertorios de investigación futura en relación con el tema. Finalmente, se redacta la conclusión general de la tesis, resumiendo los principales hallazgos y destacando su importancia en el campo de la arquitectura en bambú y el diseño paramétrico.

6.3 Técnicas e Instrumentos De Recolección De Información

Etapa 1: Recolección De información y Análisis

Tabla 7. Instrumentos de recolección de información etapa 1

Actividad	Instrumento
Identificación de las palabras clave relacionadas con el tema de investigación.	Para esta actividad, el uso de motores de búsqueda especializados en la búsqueda de literatura científica, como Google académico, Redalyc, Web of Science, entre otros.
Búsqueda de fuentes de información científica, como revistas especializadas, libros, tesis y bases de datos.	Para esta actividad, se pueden utilizar diferentes herramientas para la búsqueda de fuentes de información científicas, como revistas especializadas, libros ,etc.
Selección de la información relevante y análisis de los contenidos.	Para esta actividad, la herramienta de gestión bibliográfica, como Mendeley o Zotero, que permiten organizar y filtrar la información obtenida de las fuentes de información.
Sistematización de la información obtenida mediante la elaboración de una tabla comparativa.	Para esta actividad, se pueden utilizar herramientas de software para la creación de tablas, como Microsoft Excel o Google Sheets.

Análisis y síntesis de la información para la elaboración de un marco teórico	Para esta actividad, programas de procesamiento de texto como Microsoft Word o Google Docs para elaborar el marco teórico.
---	--

Nota: Elaboración propia 2023

Etapa 2: Proceso De Diseño Paramétrico

Tabla 8. Instrumentos de recolección de información etapa 2

Actividad	Instrumento
Selección de herramientas de diseño adecuadas para la generación del modelo digital paramétrico, en este caso Rhinoceros .	Rhinoceros: es un software de modelado 3D que permite crear formas complejas y orgánicas. Es una herramienta de diseño paramétrico que permite la creación de modelos basados en parámetros y modificaciones en tiempo real.
Definición de parámetros para la generación de la geometría de la estructura de bambú.	Grasshopper: es un complemento de Rhinoceros que permite crear algoritmos visuales que controlan la generación de geometría en 3D y permiten la manipulación de parámetros para crear modelos paramétricos.
Generación del modelo digital de la estructura de bambú a partir de los parámetros definidos previamente.	
Realización de pruebas, ajustes necesarios para obtener una estructura estable y resistente, evaluación del desempeño a través de simulaciones, análisis de variables estructurales y funcionales del modelo.	Karamba: plugin de Grasshopper que permite la optimización de modelos mediante la definición de objetivos y restricciones.
Optimización del diseño paramétrico de la estructura mediante la modificación de los parámetros y realizar pruebas con diferentes combinaciones de variables.	

Nota : Elaboración propia (2023)

Etapa 3: Análisis y Resultados

Tabla 9. Instrumentos de recolección de información etapa 3

Actividad	Instrumento
Análisis de resultados obtenidos en las pruebas y ajustes realizados en el modelo digital paramétrico.	Análisis de soluciones obtenidas por medio de los criterios de diseño.
Elaboración de conclusiones para el uso del diseño paramétrico en la construcción de estructuras de bambú, considerando sus limitaciones y fortalezas identificadas en la revisión bibliográfica y en la generación del modelo digital paramétrico.	Para esta actividad, programas de procesamiento de texto como Microsoft Word

Nota : Elaboración propia (2023)

6.4 Alcance del Trabajo

El presente trabajo de grado tiene como finalidad presentar una propuesta arquitectónica innovadora y sostenible, que ponga de manifiesto las bondades del diseño paramétrico aplicado a la utilización del bambú como material constructivo. Llevando a cabo una investigación para explorar las posibilidades y ventajas de integrar el diseño paramétrico en la arquitectura con bambú, con el objetivo de generar una estructura eficiente, estéticamente atractiva y respetuosa con el medio ambiente.

Para esto se plantea la realización y presentación de los siguientes puntos:

- Investigación de antecedentes
- Objetivos
- Revisión de documentación para marco teórico
- Elección de software especializado en diseño paramétrico (Rhinceros y Grasshopper)
- Generar modelo digital de la estructura de bambú a partir de los parámetros definidos previamente.
- Cartilla donde se expongan las bondades del diseño paramétrico aplicado a la arquitectura con bambú

7. Cronograma y Presupuesto

Tabla 10. Cronograma

Actividad/Tiempo(semanas)	Febrero				Marzo				Abril				Mayo				Junio			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
ETAPA 1																				
Identificación de las palabras clave relacionadas con el tema de investigación.	[Bar chart showing activity from Feb 1 to Feb 2]																			
Búsqueda de fuentes de información científica, como revistas especializadas, libros, tesis y bases de datos.	[Bar chart showing activity from Feb 2 to Feb 3]																			
Selección de la información relevante y análisis de los contenidos.	[Bar chart showing activity from Feb 3 to Feb 4]																			
sistematización de la información obtenida mediante la elaboración de una tabla comparativa.	[Bar chart showing activity from Feb 4 to Mar 1]																			
Análisis y síntesis de la información para la elaboración de un marco teórico	[Bar chart showing activity from Mar 1 to Mar 2]																			
ETAPA 2																				
Selección de herramientas de diseño adecuadas para la generación del modelo digital paramétrico, en este caso Rhinoceros .	[Bar chart showing activity from Mar 2 to Mar 3]																			
Definición de parámetros para la generación de la geometría de la estructura de bambú.	[Bar chart showing activity from Mar 3 to Mar 4]																			
Generación del modelo digital de la estructura de bambú a partir de los parámetros definidos previamente.	[Bar chart showing activity from Mar 4 to Apr 1]																			
Realización de pruebas y ajustes necesarios para obtener una estructura estable y resistente, y evaluar su desempeño a través de simulaciones y análisis de variables estructurales y funcionales del modelo.	[Bar chart showing activity from Apr 1 to Apr 2]																			
Optimización del diseño paramétrico de la estructura mediante la modificación de los parámetros y realizar pruebas con diferentes combinaciones de variables.	[Bar chart showing activity from Apr 2 to Apr 3]																			
ETAPA 3																				
Análisis de resultados obtenidos en las pruebas y ajustes realizados en el modelo digital paramétrico.	[Bar chart showing activity from Apr 3 to Apr 4]																			
Elaboración de conclusiones sobre el uso del diseño paramétrico como herramienta para la construcción de estructuras de bambú.	[Bar chart showing activity from Apr 4 to May 1]																			
Elaboración de recomendaciones para el uso del diseño paramétrico en la construcción de estructuras de bambú, considerando sus limitaciones y fortalezas identificadas en la revisión bibliográfica y en la generación del modelo digital paramétrico.	[Bar chart showing activity from May 1 to May 2]																			

Nota : Elaboración propia (2023)

Tabla 11. Presupuesto

Actividad	Cantidad	Unidad	Precio unitario	Valor Total
Personal	-	-	-	\$0
Equipo y tecnología	2	-	-	\$0
Transporte	10	1 pasaje de bus para ir a la Universidad	\$2.200	\$22.000
Material y suministros	100 paginas	2 resmas tamaño carta	\$19.000	\$38.000
Servicio técnico	-	-	-	\$0
Otros gastos	-	-	-	\$0
Total				\$60.000

Nota : Elaboración propia (2023)

8. Análisis de Resultados

En esta etapa, se destacará la importancia del diseño paramétrico en la concepción de la estructura espacial del refugio, presentando una metodología que abarca diversas fases interconectadas. Este enfoque dinámico y colaborativo emerge como un medio idóneo para forjar un refugio que no solo sea funcional, sino también estéticamente agradable.

Desde la génesis de la geometría base, hasta la definición de parámetros y variables, esta aproximación permite una adaptabilidad que se ajusta a los criterios de diseño. A continuación, se procederá con el análisis solar y estructural, etapa que asegura una comprensión de la incidencia solar y la resistencia estructural necesaria para enfrentar una variabilidad de condiciones.

Por último, se efectuará la proposición de reforzamiento estructural, un paso crucial que garantiza la seguridad y la integridad de la edificación incluso en las circunstancias más desafiantes. Concluyendo este proceso, se presentará la propuesta para el revestimiento del refugio, cuya función protectora se fusiona armónicamente con su componente estético y simbólico, logrando una síntesis coherente entre forma y función.

8.1 Proceso de Diseño Paramétrico

El proceso de diseño paramétrico se ejecutará mediante el empleo de algoritmos innovadores, que materializarán de manera gráfica tanto en dos dimensiones como en tres, la totalidad de la secuencia compositiva del refugio. Estos algoritmos no solo capturarán la esencia estructural y estética del refugio, sino que también permitirán una representación detallada y precisa de su evolución a lo largo del proceso.

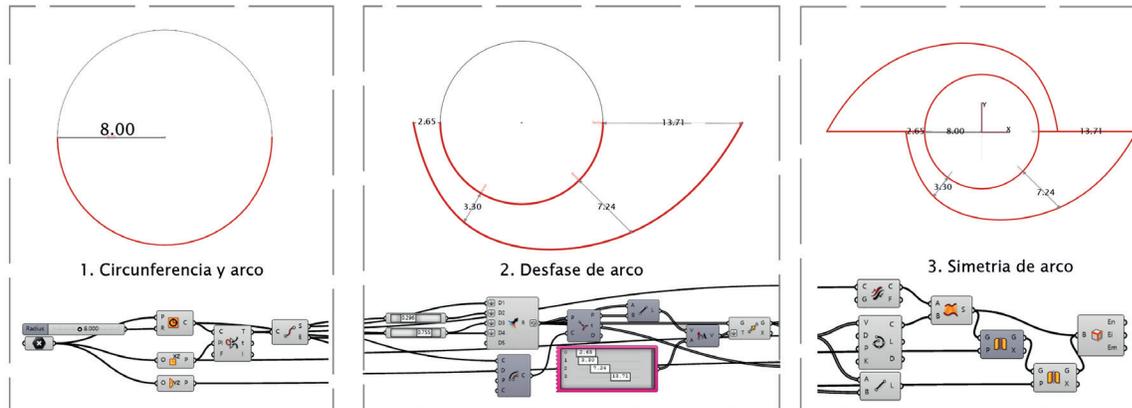
A través de esta metodología, se trascienden los límites convencionales del diseño, dando paso a un enfoque tecnológicamente avanzado que no solo garantiza una visualización más tangible de la concepción arquitectónica, sino que también posibilita la exploración de múltiples iteraciones y variantes de diseño en un espacio virtual tridimensional. De esta

manera, se nutre la capacidad creativa del diseñador al mismo tiempo que se optimiza la eficiencia del proceso de toma de decisiones.

8.1.1 Geometrización Base

Definición de Geometría

Ilustración 13. Fase 1: Definición Geometría

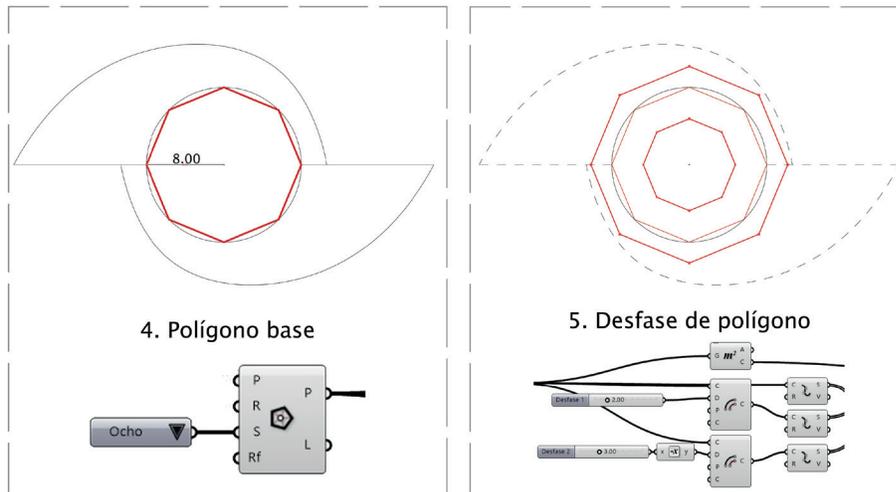


Nota : Elaboración propia (2023)

La secuencia geométrica comienza con una circunferencia, que se divide en dos partes iguales para obtener un arco, este es dividido en tres partes para así obtener 4 puntos de referencia sobre el arco, posteriormente se aplican los vectores de desplazamiento perpendiculares al arco para lograr una deformación gradual. Estos vectores de desplazamiento definen la dirección y la magnitud de la transformación aplicada, lo que permite crear un arco ascendente que varían en tamaño y forma a medida que se desplazan a lo largo de la circunferencia original. Finalmente, se aplica un componente de simetría en los ejes $x - y$ para lograr consolidar una forma simétricamente opuesto alrededor de la circunferencia inicial.

Creación y Transformación del Polígono Inscrito en la Circunferencia

Ilustración 14. Fase 2 : Creación y Transformación del Polígono Inscrito en la Circunferencia.



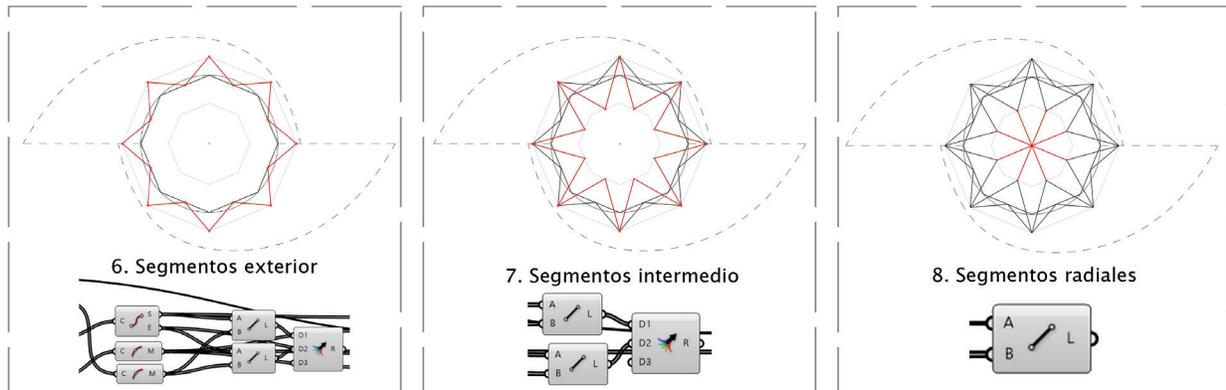
Nota : Elaboración propia (2023)

En esta fase consiste en la creación de un polígono de 8 lados inscrito en la circunferencia. Este polígono se forma conectando puntos equidistantes a lo largo de la circunferencia, una vez que el polígono está construido se realiza un desfase hacia el exterior y otro hacia el interior.

El desfase hacia el exterior implica mover cada vértice del polígono hacia afuera en la dirección perpendicular a la circunferencia, creando así un polígono más grande y con lados más largos. Por otro lado, el desfase hacia el interior implica mover cada vértice hacia adentro, en dirección opuesta a la circunferencia, resultando en un polígono más pequeño y con lados más cortos.

Creación de la Estructura Geométrica Basada en Polígonos Inscritos

Ilustración 15. Fase 3 : Creación de la Estructura Geométrica Basada en Polígonos Inscritos



Nota : Elaboración propia (2023)

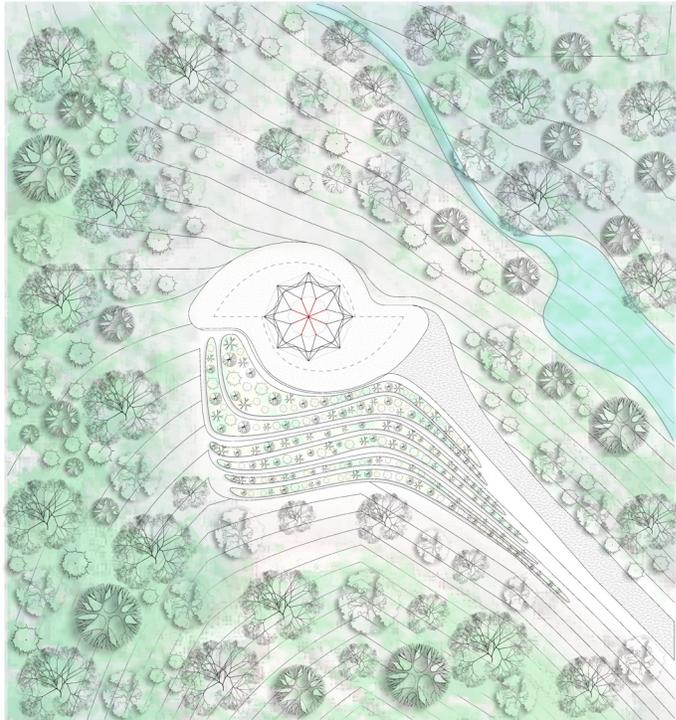
Continuando con la secuencia geométrica, el siguiente paso implica la vinculación de los vértices que presentan el mayor desfase con los puntos medios de los segmentos del polígono original. Este proceso da lugar a la formación de ejes que convergen en una estrella de ocho puntas. De manera análoga, se establecen conexiones entre los vértices con un desfase mayor y los puntos medios de los segmentos del desfase menor, lo que conduce a la consolidación de la estructura estrellada con segmentos de mayor longitud.

Para completar este proceso, se proyectan ejes que se extienden desde el centro del polígono hacia los puntos medios de los segmentos del desfase menor. Esta etapa culmina en la creación de la base geométrica que sustenta el siguiente desarrollo en 3D del refugio.

Desde un enfoque académico en arquitectura, este proceso de consolidación de la forma encuentra respaldo en la teoría de la geometría arquitectónica y su concepto de "patrones". Esto resalta la profunda influencia de las conexiones geométricas en la configuración de entornos habitables y estéticamente agradables. La estrategia descrita se alinea con estos principios al integrar la ínter conexión geométrica como un medio para lograr una estructura arquitectónica más sólida y visualmente atractiva.

Conclusión sobre la geometría base

Ilustración 16. Emplazamiento con la geometría base



Nota: Elaboración Propia (2023).

En resumen, el proceso geométrico descrito se enfoca en la adaptación de principios geométricos para la próxima construcción del refugio. El proceso se inicia con la manipulación de la circunferencia como punto de partida, permitiendo establecer una base para la forma deseada. La aplicación de vectores de desplazamiento se convierte en un componente esencial para generar una transformación gradual y fluida, resultando en formas que se ajustan de manera orgánica a las propiedades del bambú.

La introducción de simetría en el diseño contribuye tanto a la estabilidad visual como estructural. Esta simetría no solo aporta un aspecto estético al refugio, sino que también refuerza su capacidad para resistir cargas y presiones. La creación de un polígono inscrito, junto con los desfases hacia el exterior y el interior, agrega complejidad al diseño, permitiendo una diversidad en tamaños y proporciones. La elección precisa de puntos de conexión y la interacción entre los elementos aseguran una estructura resistente y coherente. La geometría se

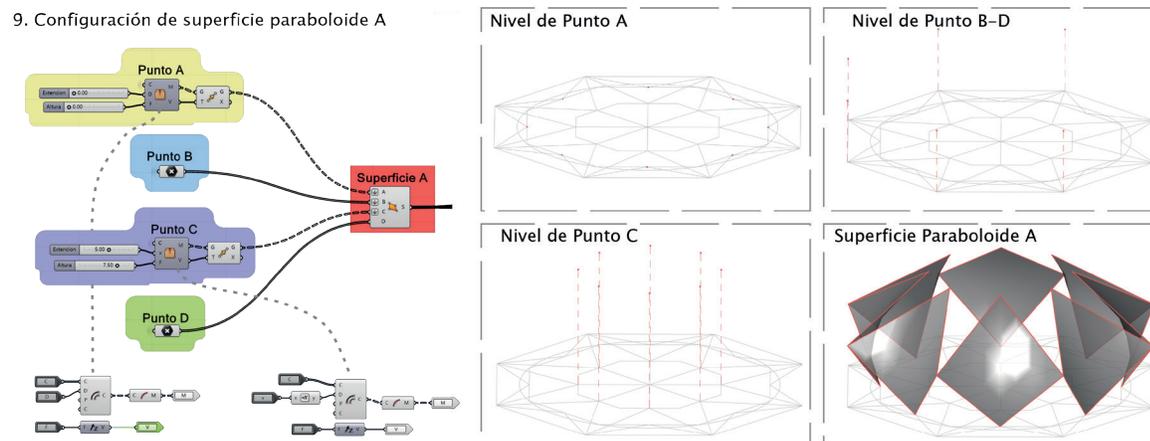
convierte así en un fundamento sólido para la construcción, alineando la materialidad del bambú con la funcionalidad y la durabilidad requeridas para un refugio.

En conclusión, el proceso geométrico abordado en este contexto se adapta de manera efectiva a la construcción futura del refugio utilizando bambú como material principal. Este enfoque demuestra cómo los principios geométricos pueden ser aplicados de manera concreta para lograr una estructura resistente, funcional y estéticamente coherente en un entorno específico.

8.1.2 Definición de Parámetros y Variables

Construcción de Superficies Hiperbólicas A

Ilustración 17. Fase 4 : Construcción de Superficies Hiperbólicas A



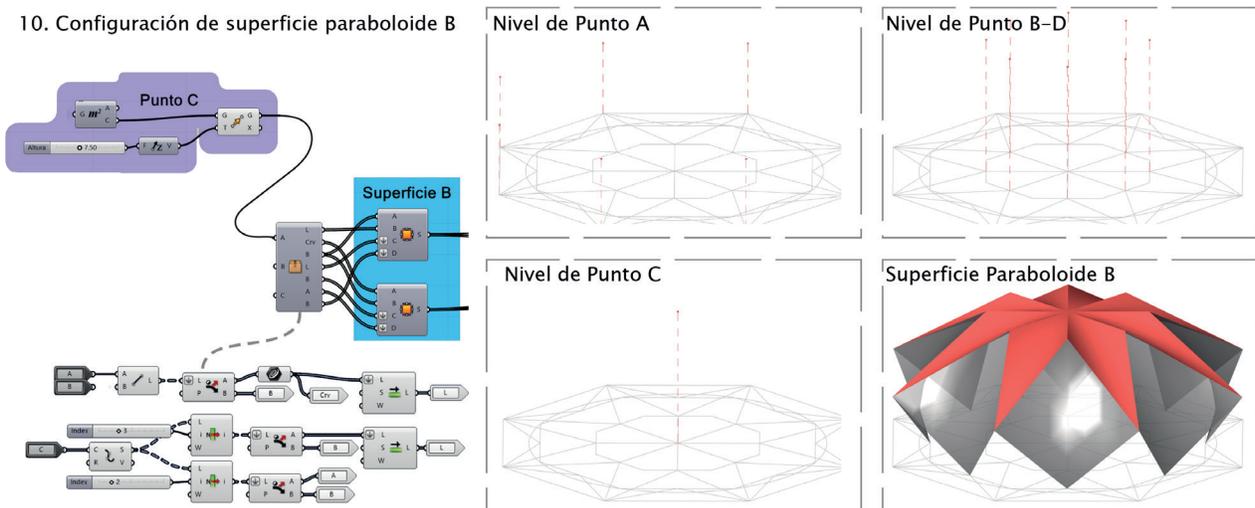
Nota : Elaboración propia (2023)

Para continuar con el proceso de construcción geométrico se procede a utilizar las líneas de referencia geométrica para asignar niveles de altura a los vértices del polígono. Esta asignación de alturas tiene como objetivo consolidar una superficie hiperbólica de 4 puntos. Para lograr esto, se asigna una altura específica a cada vértice del polígono, estas alturas determinan cómo se curva la superficie entre los vértices, creando la forma hiperbólica deseada.

Al conectar los vértices con las alturas asignadas, se generan segmentos de línea que definen la forma de la superficie hiperbólica, estos segmentos se combinan para formar una malla o una superficie continua que se curva de acuerdo con las alturas asignadas así que la superficie hiperbólica resultante tiene una apariencia curva y dinámica, con secciones que se expanden o se contraen en función de las alturas asignadas. Este paso agrega complejidad y profundidad al diseño, creando una estructura tridimensional visualmente interesante y al consolidar la superficie hiperbólica de 4 puntos, se logra una integración armoniosa entre la geometría inicial del polígono y las alturas asignadas.

Construcción de Superficies Hiperbólicas B

Ilustración 18. Construcción de Superficies Hiperbólicas B



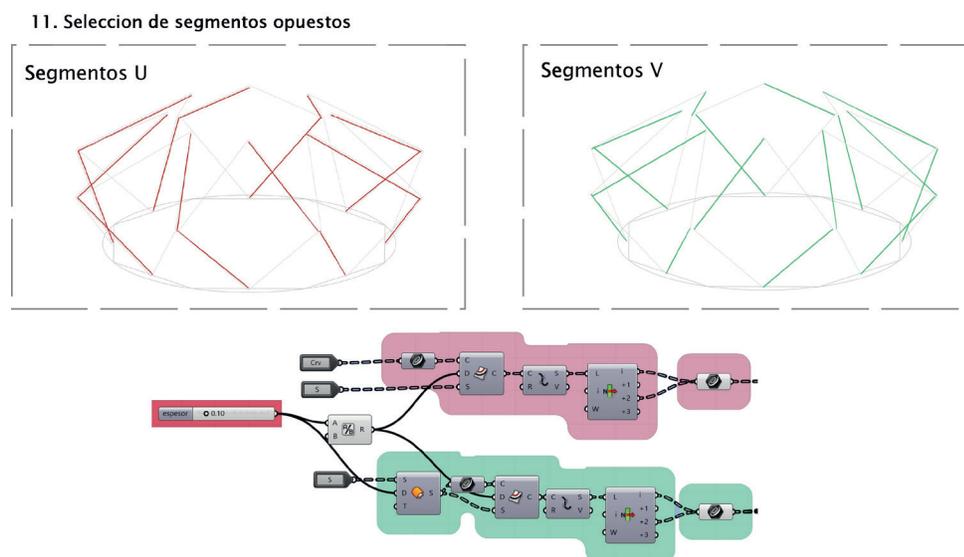
Nota : Elaboración propia (2023)

Una vez consolidada la superficie hiperbólica A, que funciona como elemento estructural de columna, se procede a ejecutar el siguiente paso el cual consiste en construir la superficie hiperbólica B mediante la asignación de un nivel al punto central C del polígono original. Esta asignación de nivel determina la altura de la superficie hiperbólica B. Una vez que se ha asignado el nivel al punto central, se trazan ejes que se irradian desde este punto hacia los vértices del paraboloid A, estos ejes establecen la dirección y el ángulo de la superficie hiperbólica B en relación con la superficie hiperbólica A.

La superficie hiperbólica B funciona como un elemento estructural de cubierta, complementando y enlazándose con la superficie hiperbólica A, consolidando una forma curva y fluida que agrega interés visual y dinamismo al diseño, creando una composición arquitectónica cohesiva y única. La combinación de ambas superficies hiperbólicas crea una estructura tridimensional compleja y estéticamente atractiva, por consiguiente, la superficie hiperbólica A actúa como una columna que proporciona soporte y estabilidad, mientras que la superficie hiperbólica B funciona como una cubierta que añade protección y carácter distintivo al diseño general.

Selección de Segmentos Opuestos

Ilustración 19. Fase 6: Selección de Segmentos Opuestos



Nota : Elaboración propia (2023)

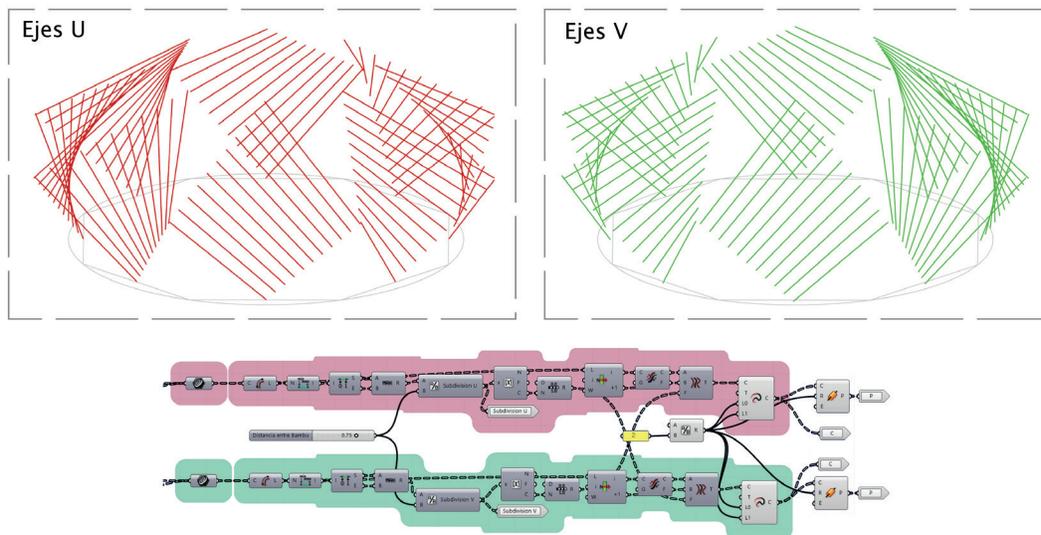
En el siguiente paso, se seleccionan las superficies hiperbólicas A y B previamente construidas, luego, se realiza un desfase entre estas superficies, correspondiente al espesor del material utilizado en la construcción. Este desfase implica mover una de las superficies en relación con la otra, manteniendo la forma y curvatura, pero generando un espacio entre ellas que representa el espesor del material, esta variable geométrica crea dos bordes opuestos en el perímetro de las superficies, consecuentemente, los bordes obtenidos de la superficie hiperbólica original se denominan segmentos U, mientras que los bordes obtenidos de la

superficie desfasada se denominan segmentos V. Los segmentos U y V pueden tener variaciones en longitud y curvatura, ya que representan las diferentes formas de los bordes resultantes del desfase. Estos segmentos desempeñan un papel importante en la definición de la forma final del diseño y en la interacción visual entre las superficies hiperbólicas A y B. Los segmentos U y V pueden tener variaciones en longitud y curvatura, ya que representan las diferentes formas de los bordes resultantes del desfase. Estos segmentos desempeñan un papel importante en la definición de la forma final del diseño y en la interacción estructural entre las superficies hiperbólicas A y B.

Ejes de Tejido Estructural

Ilustración 20. Fase 7 : Eje U y V de Tejido Estructural

12. Ejes de tejido estructural



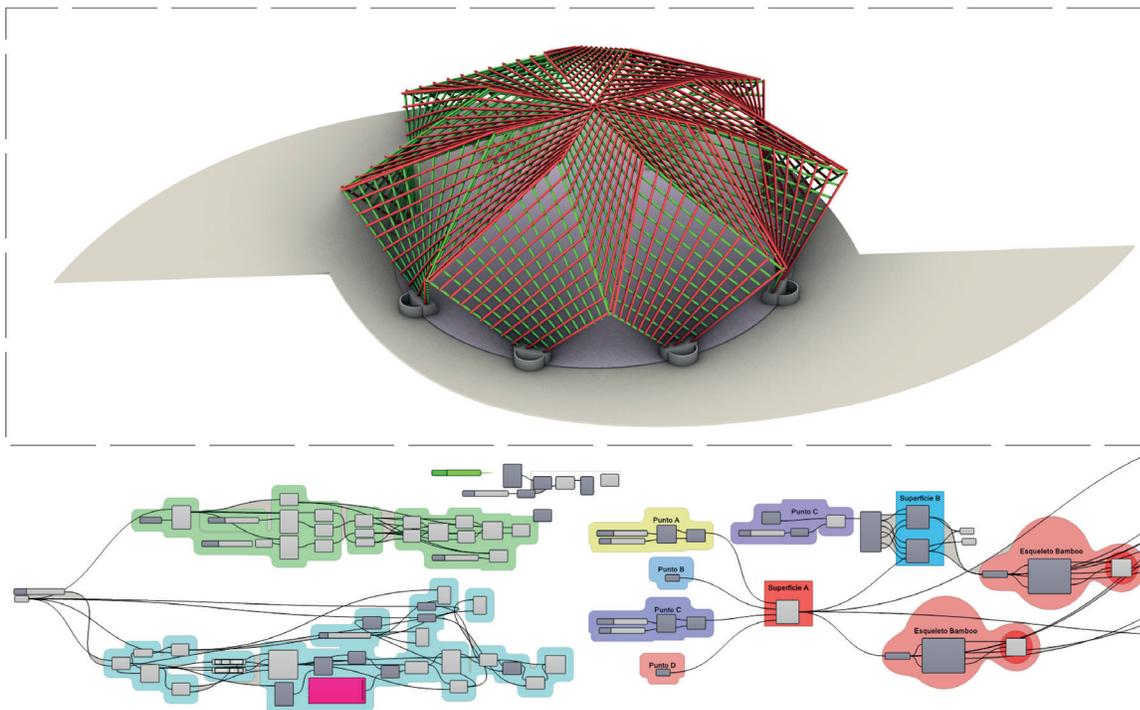
Nota : Elaboración propia (2023)

A continuación, se utilizan los segmentos U y V previamente obtenidos para interpolar otros segmentos a una distancia predeterminada. El objetivo es crear una secuencia de rectas que conecten los bordes opuestos de las superficies hiperbólicas A y B. La interpolación lineal permite crear una sucesión de segmentos rectos que se extienden desde el segmento U hasta el segmento V, formando una especie de "entramado" entre los bordes opuestos, estos segmentos adicionales se alinean de manera paralela y se distribuyen uniformemente a lo largo de la

distancia entre los segmentos U y V. Los segmentos se utilizarán como guía para la colocación de elementos de soporte o como elemento estético destacado en el diseño y la distancia predeterminada entre los segmentos interpolados podrá ajustarse según las necesidades y los objetivos del proyecto.

Estructura Principal en Bambú

Ilustración 21. Fase 8 : Estructura Principal en Bambú



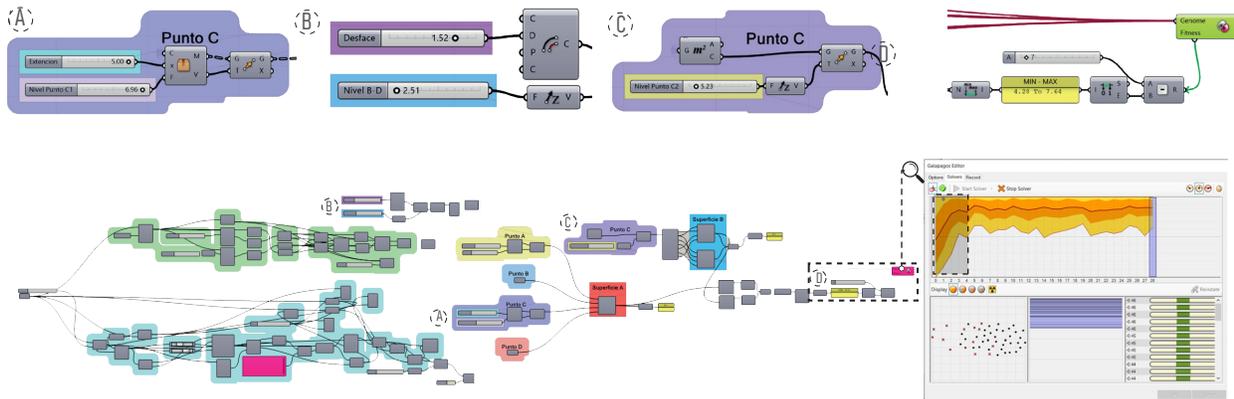
Nota : Elaboración propia (2023)

En la última fase de la secuencia geométrica, se procede a consolidar el tejido que conforma los segmentos interpolados sobre la superficie hiperbólica. Para lograr esto, se lleva a cabo el proceso de unir y fusionar los segmentos interpolados con las superficies hiperbólicas A y B, estos segmentos se convierten en elementos estructurales que se integran y se funden visual y físicamente con las superficies. El tejido resultante crea una conexión cohesiva entre los bordes opuestos y las superficies hiperbólicas, formando una estructura tridimensional sólida y completa, esta consolidación del tejido no solo mejora la estabilidad y resistencia de la estructura, sino que también añade un elemento estético y artístico al diseño.

8.1.3 Configuración de Diseño

Proceso de Selección de Variables por Medio del Plugin Galápagos

Ilustración 22. Código del proceso de diseño por medio de plugin Galapagos



Nota : Elaboración propia (2023)

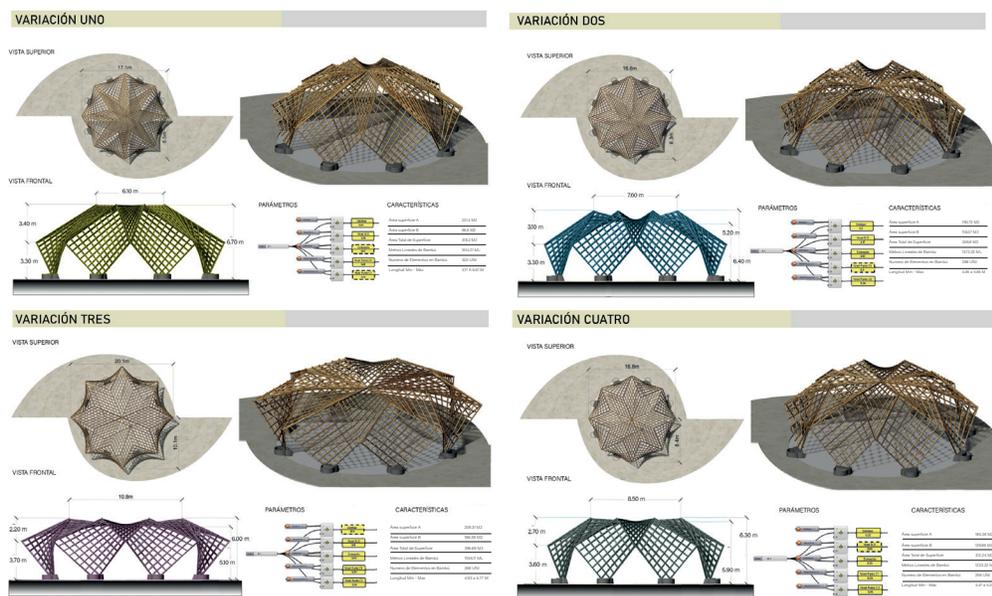
Para implementar el proceso de optimización del modelo tridimensional a través del plugin Galápagos, se requiere la vinculación de parámetros y restricciones que serán ajustados con el propósito de generar variaciones en el modelo. Con el objetivo de realizar esta vinculación, se han considerado cuidadosamente los siguientes parámetros (Ilustración 20):

- A. Extensión y nivel del punto C para el paraboloide A: estos parámetros modifican el perímetro de la forma y dan proporción a los elementos de bambú que se desprenden de los pedestales de concreto.
- B. Desfase y nivel de los puntos B - D: La alteración de estos parámetros permite asignar proporción a los puntos de intersección entre los paraboloides A y B, adicionalmente permiten controlar la inclinación de la cubierta en relación de su estructura interconectada.
- C. Nivel de punto C para el paraboloide B: Este parámetro asigna la dimensión para el nivel en el que se posiciona el punto central desde donde se irradian los segmentos que conforman el paraboloide B.

D. Definición de Objetivo y Restricción: En esta etapa del algoritmo, se ha formulado una función matemática que establece una restricción fundamental. Esta restricción se utilizará como base para la evaluación y clasificación de las soluciones generadas por el componente Galápagos. La función elegida implica que las dimensiones de los segmentos de los paraboloides deben ser inferiores o iguales a 7 metros. Esta limitación se ha establecido debido a la disponibilidad de materiales de bambú con una longitud máxima de 7 metros. En otras palabras, el proceso de optimización de Galápagos analizará exhaustivamente todas las posibles configuraciones que cumplan con esta restricción específica y las ordenará en función de su adecuación, de mayor a menor, en relación con el objetivo definido.

Utilizando algoritmos genéticos, Galápagos selecciona soluciones de las posibles variables y las combina para generar nuevas soluciones potenciales. Este cruzamiento simula la evolución biológica y promueve la exploración de diferentes combinaciones de parámetros. Después de que el proceso de optimización se completa, se analizan las soluciones obtenidas, en este caso se evalúan las 4 Primeras opciones (Ilustración 21) para compararlas con los criterios de diseño y tomar decisiones informadas sobre cuál es la solución óptima.

Ilustración 23. Variables del Plugin Karamba

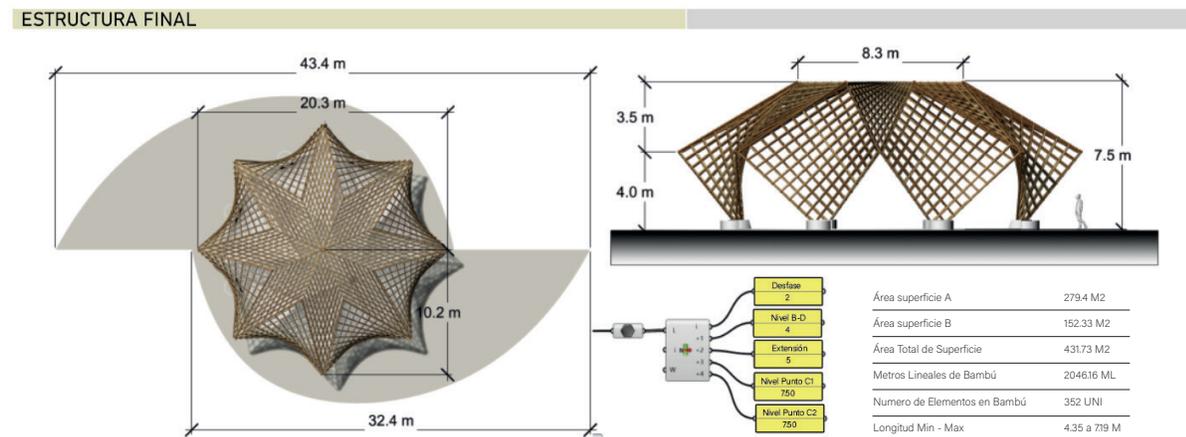


Nota: Elaboración Propia (2023).

Para finalizar la configuración de la forma definitiva del refugio, se han considerado detenidamente los parámetros que influyen en sus dimensiones y estructura. Estos parámetros se han seleccionado cuidadosamente para lograr una aproximación precisa a las dimensiones deseadas y garantizar la funcionalidad y estabilidad del refugio en su conjunto.

Al emplear estos parámetros dimensionales como elementos fundamentales en el proceso de diseño, se ha buscado alcanzar una forma que se ajuste de manera óptima a los requisitos específicos del proyecto. La selección precisa y la interconexión de estos parámetros son esenciales para lograr una cohesión armoniosa entre los diferentes componentes del refugio y, a su vez, para cumplir con los objetivos estéticos, funcionales y estructurales establecidos previamente. (Ver ilustración 24)

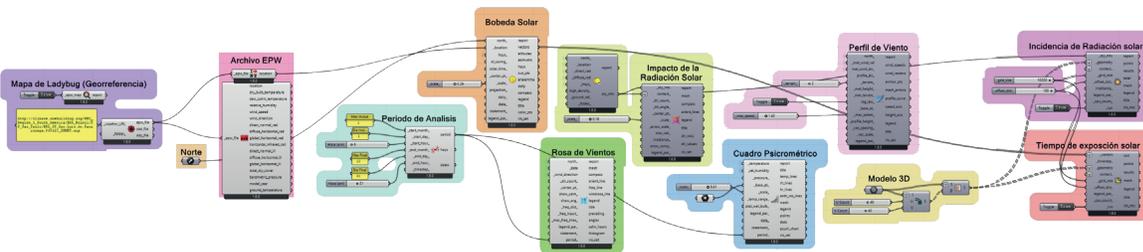
Ilustración 24. Estructura final



Nota: Elaboración Propia (2023).

8.2 Análisis Solar y de Vientos por Medio del Plugin LadyBug

Ilustración 25. Algoritmo LadyBug

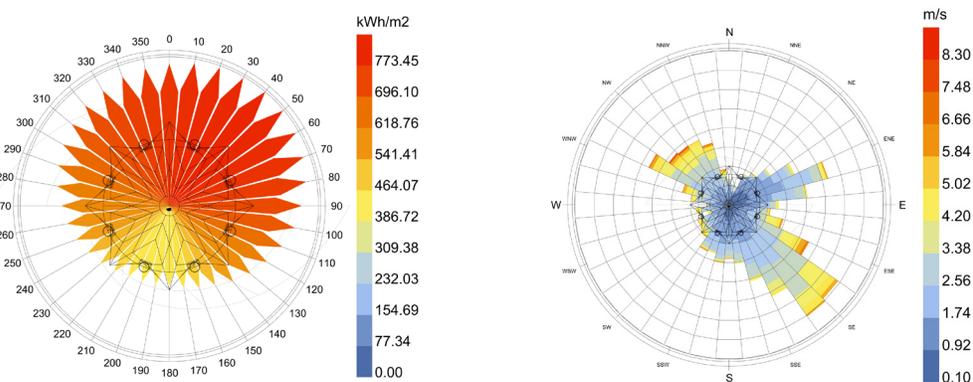


Nota: Elaboración Propia (2023).

El complemento LadyBug posibilita el análisis de los datos climáticos de Guararema, permitiendo la creación de visualizaciones interactivas y adaptadas para un diseño informado desde una perspectiva ambiental. Para lograr esto, es esencial la importación de archivos Energy Plus (EPW) dentro de Grasshopper, que a su vez ofrece una amplia gama de gráficos interactivos en 2D y 3D, que resultan esenciales para la toma de decisiones en las etapas iniciales del proceso de diseño. (Ver ilustración 25)

En esta ocasión, se obtuvo un gráfico de radiación solar que revela un impacto significativo entre dos direcciones en el transcurso de un año: Noroeste (300°) y Nordeste (100°), con fluctuaciones en la radiación que varían entre 773 kWh/m² y 541 kWh/m². Por otro lado, en las direcciones Suroeste (300°) y Sureste (100°), se aprecia un impacto de radiación de menor envergadura, con variaciones que oscilan entre 464 kWh/m² y 386 kWh/m². (Ver ilustración 26). En un segundo análisis, se generó el gráfico de la rosa de los vientos, que revela claramente la dominancia de los vientos que soplan desde la dirección Sureste, con velocidades que varían en un rango de 8.30 m/s a 2.56 m/s. Contrariamente, en las direcciones Noroeste y Noreste, se aprecia una velocidad del viento más moderada, fluctuando entre 6.66 m/s y 1.74 m/s. Esta visualización proporciona una comprensión más profunda de los patrones de viento dominantes en la zona de estudio, información crucial para la entender cómo será el impacto de los vientos en el exterior e interior del refugio. (Ver ilustración 26)

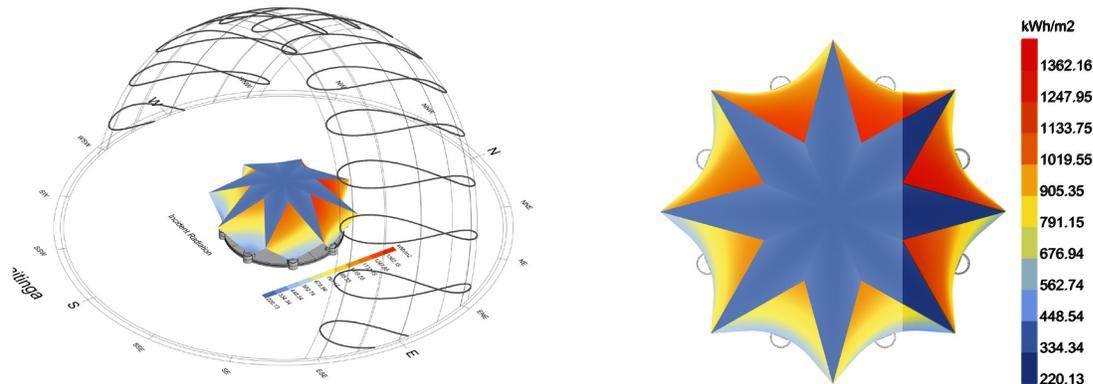
Ilustración 26. Radiación solar y Rosa de vientos



Nota: Elaboración Propia (2023).

En el análisis final, se realiza el gráfico que detalla el impacto de la radiación solar durante un año en la superficie del volumen. Este muestra que las áreas orientadas hacia el Norte y Noreste experimentan la mayor incidencia solar, con niveles variables que abarcan desde 1362 kWh/m² hasta 1019 kWh/m². Esta comparación contrasta con las regiones Sur, Suroeste y Sureste, que experimentan un impacto solar más atenuado, oscilando entre 905 kWh/m² y 676 kWh/m². (Ver ilustración 27)

Ilustración 27. Impacto de radiación solar sobre superficie de cubierta.



Nota: Elaboración Propia (2023).

Cabe mencionar que, debido a la geometría en capas de las superficies hiperbólicas en la parte superior del refugio, se presentan impactos solares de menor intensidad, gracias a su capacidad para generar sombras. Estos valores varían entre 562 kWh/m² y 220 kWh/m². Finalmente, se genera el gráfico de tiempo de exposición solar en la superficie del refugio, donde se destaca la concordancia entre las áreas más expuestas al sol y aquellas con una radiación solar más intensa. Estos intervalos oscilan aproximadamente entre 4120 horas y 2884 horas para las zonas más expuestas, mientras que las áreas con menor tiempo de exposición varían entre 2061 horas y 413 horas. Este análisis proporciona un entendimiento más profundo de la distribución de la exposición solar en el área estudiada.

componentes de bambú que la conforman. Se emplea la fórmula de volumen ($\pi * r^2 * h$), donde se considera un radio mayor de 0.05m y se toma la dimensión de los elementos de guadua como la altura (h). Sin embargo, dado que el bambú es un cilindro hueco, se resta el volumen del radio menor, que es de 0.02m, esto da como resultado un volumen total de 8.41 m³. A continuación, se lleva a cabo el cálculo del peso de la estructura. Para lograrlo, se multiplica el volumen de la estructura por la densidad del material utilizado, que en este caso es de 670 kg/m³ (Bambú Mosso), como resultado de este cálculo, se obtiene un peso total para la estructura de 5634 kg. El peso de la estructura se distribuye entre el número de puntos de unión de los segmentos de bambú, resultando en 3.49 Kg por punto. Este valor refleja la carga puntual que será aplicada en cada vértice de conexión. A continuación, se realiza el cálculo de la fuerza puntual utilizando la fórmula $F = m * a / 1000$, lo que arroja un valor de 0.034 kN. Este resultado representa la fuerza puntual que actúa en cada vértice de conexión.

Para avanzar con los parámetros requeridos para la simulación, es esencial definir las propiedades mecánicas, teniendo en consideración que el bambú es un material ortotrópico. La ortotropía implica que el material presenta distintas propiedades en función de la dirección en la que se evalúe. En el caso específico del bambú, sus propiedades mecánicas experimentan notables variaciones dependiendo de la dirección en la que se apliquen las fuerzas (ver Tabla 12). Además, su sección transversal se compone de 10 cm de diámetro y 2.50 cm de espesor.

Tabla 12. Propiedades Mecánicas aplicadas al Bambú Mosso

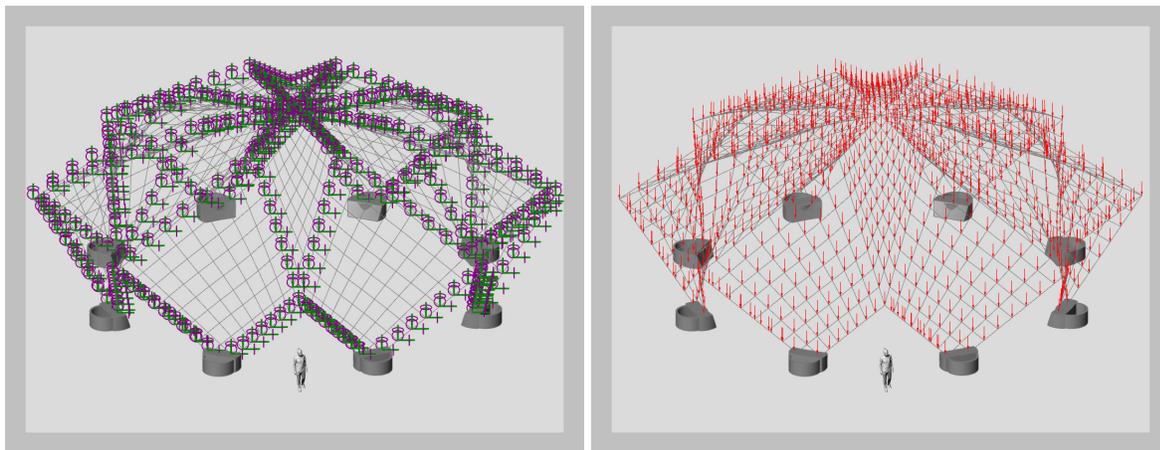
Propiedades Mecánicas del Bambú Mosso	
Propiedad	Variable
Módulo de Elasticidad Tangencial	6 (kn/cm ²)
Módulo Cortante	0.94 (kn/cm ²)
Módulo de Elasticidad Radial	2 (kn/cm ²)
Cortante Longitudinal	1 (kn/cm ²)
Cortante Transversal	2.5 (kn/cm ²)
Peso Especifico	0.75 (kn/cm ³)
Coefficiente de Expansión	5 (1/c°)
Resistencia Tracción Longitudinal	24 (kn/cm ²)
Resistencia Tracción Transversal	1.5 (kn/cm ²)
Compresión Longitudinal	0.2 (kn/cm ²)

Compresión Transversal	0.06 (kn/cm ²)
Resistencia Cilladura	45 (kn/cm ²)

Nota: Adaptada de (Hidalgo, 2003)

Luego, se procede a seleccionar los puntos de anclaje, que coinciden con los perímetros de los paraboloides, así como los puntos de conexión con el pedestal, encargado de transmitir las fuerzas a la cimentación. Con estos puntos estratégicos definidos, se prosigue aplicando los esfuerzos puntuales en cada vértice de conexión para completar la configuración de la simulación (Ver ilustración 30).

Ilustración 30. Puntos anclas y Aplicación de esfuerzo puntual

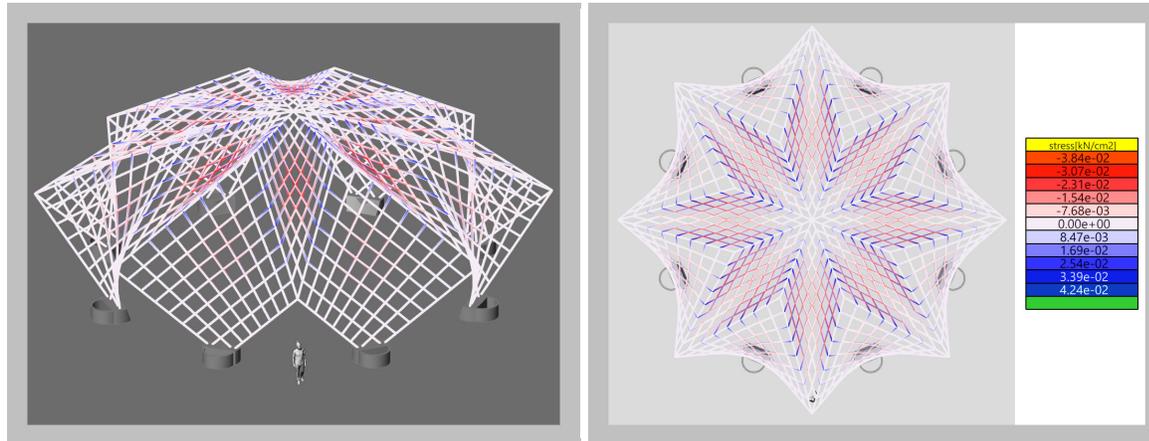


Nota: Elaboración Propia (2023).

Con todos los parámetros debidamente configurados para su ejecución, el primer gráfico a analizar corresponde a los esfuerzos de tracción y compresión. El esfuerzo a tracción hace referencia a la fuerza interna que surge en un material cuando se le aplica una carga que busca estirarlo o alargarlo. Por contraste, el esfuerzo a compresión representa su opuesto: se trata de la fuerza interna que se desarrolla en un material cuando se le aplica una carga que busca comprimirlo o acortarlo. Considerando lo expuesto, es posible destacar en tonalidad azul los esfuerzos de tracción, cuyos valores oscilan entre 4.24 kn/cm² y 8.47 kn/cm². Estos esfuerzos resultan particularmente notorios en los puntos de conexión más cercanos a los perímetros de los paraboloides. En contraste, los esfuerzos a compresión, identificados mediante tonalidades rojas, exhiben un rango entre -7.68 kn/cm² y -3.84 kn/cm². Estos

esfuerzos se manifiestan con mayor intensidad en los puntos internos de los paraboloides (Ver Ilustración 31).

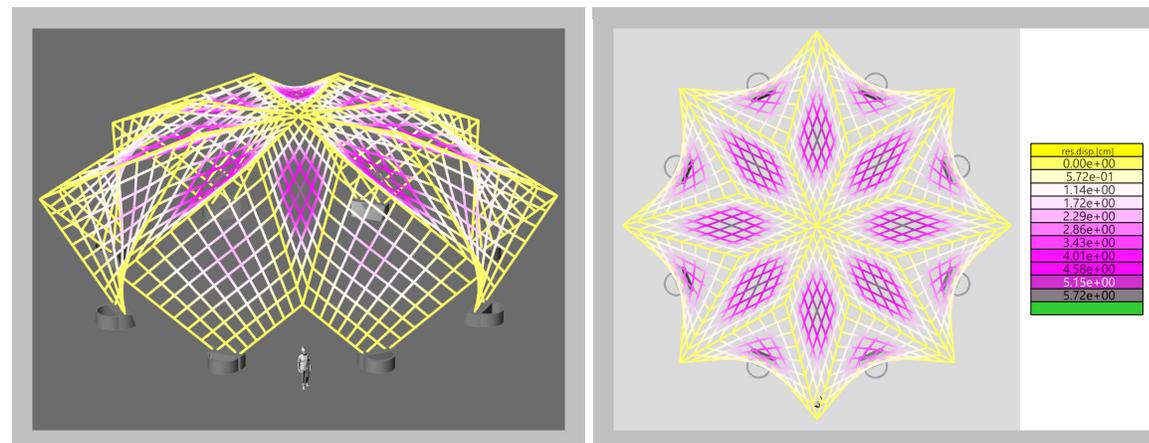
Ilustración 31. Esfuerzos a tracción y compresión



Nota: Elaboración Propia (2023).

El segundo gráfico para análisis es el diagrama de desplazamiento, que visualiza de manera gráfica las magnitudes y direcciones de los desplazamientos de la estructura en respuesta a las fuerzas externas aplicadas. En este contexto, se destacan desplazamientos en dirección perpendicular al suelo que oscilan entre 0 y 5.72 cm. Es notable la mayor intensidad de desplazamientos en la zona central de los paraboloides, en contraste con los perímetros que conservan desplazamientos nulos (Ver Ilustración 32).

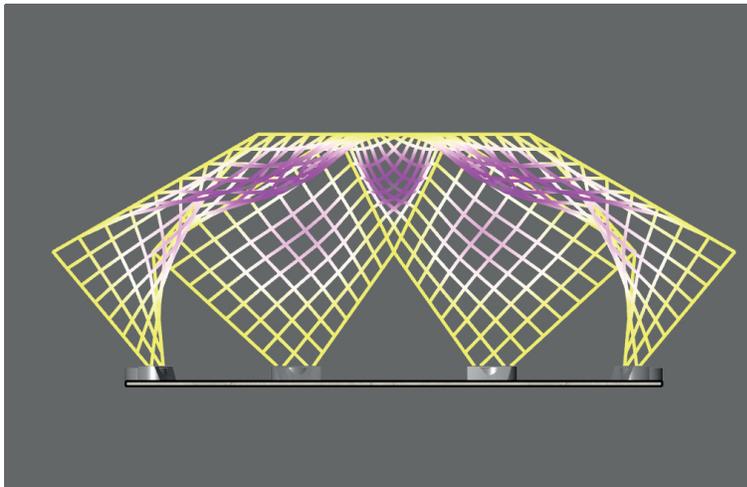
Ilustración 32. Diagrama de desplazamiento



Nota: Elaboración Propia (2023).

En conclusión, este análisis no solo proporciona una perspectiva detallada de cómo la estructura responde a cargas específicas (Ver ilustración 33), sino que también sirve como base para optimizar el diseño y tomar decisiones informadas en la ingeniería estructural. La combinación de la simulación de esfuerzos con la comprensión de las propiedades mecánicas del material permite consolidar una estructura más resistente y segura, garantizando un enfoque integral en el proceso de diseño y construcción. Esta evaluación informada abre puertas a la optimización y toma de decisiones fundamentadas, enriqueciendo el enfoque integral en la ingeniería de construcción con Bambú.

Ilustración 33. Deformación estructural



Nota: Elaboración Propia (2023).

9. Complementos Constructivos

Los complementos constructivos representan una fase crucial en la realización de un espacio que no solo es funcional y seguro, sino también estéticamente agradable. La selección de materiales se realiza considerando su durabilidad, capacidad para resistir las condiciones ambientales y su aporte estético al conjunto. La construcción en sí exige una ejecución precisa y detallada, donde los componentes se ensamblan siguiendo estándares de seguridad y calidad. Los profesionales involucrados, desde arquitectos hasta trabajadores de la construcción, colaboran para traducir el diseño en una estructura tangible, y cada detalle, desde la cimentación hasta la finalización de los acabados, se ejecuta con el máximo cuidado. En

conclusión, es un proceso que combina la funcionalidad con la estética en cada paso, desde la concepción hasta la ejecución, garantizando que el refugio no solo cumpla con los criterios técnicos, sino que también ofrezca un espacio acogedor, seguro y armonioso para sus visitantes.

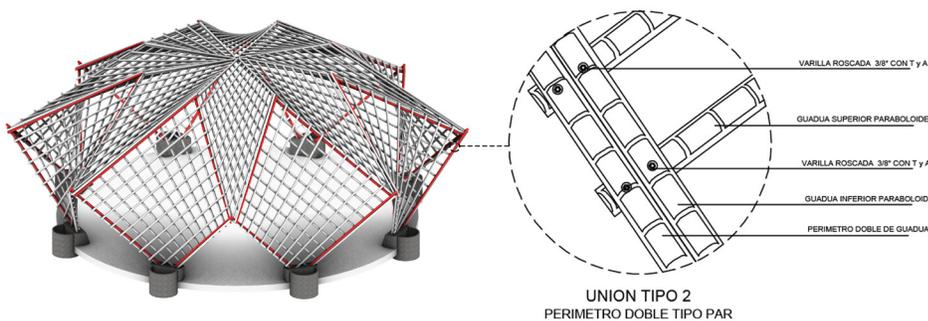
9.1 Reforzamiento Estructural

A partir del análisis estructural, se han identificado algunas deficiencias en la estructura que pueden ser abordadas mediante decisiones estratégicas para anticipar posibles problemas que puedan comprometer la estabilidad del refugio. Entre estas decisiones se incluyen:

Perímetros de paraboloides Doble

Esta determinación se fundamenta en la duplicación de los perímetros de los paraboloides con el propósito de reforzar la rigidez y prevenir desplazamientos no deseados. Esta medida busca fortalecer la integridad estructural y mejorar la capacidad de resistir cargas externas, asegurando así una mayor estabilidad y durabilidad del refugio.

Ilustración 34. Perímetros de paraboloides Doble



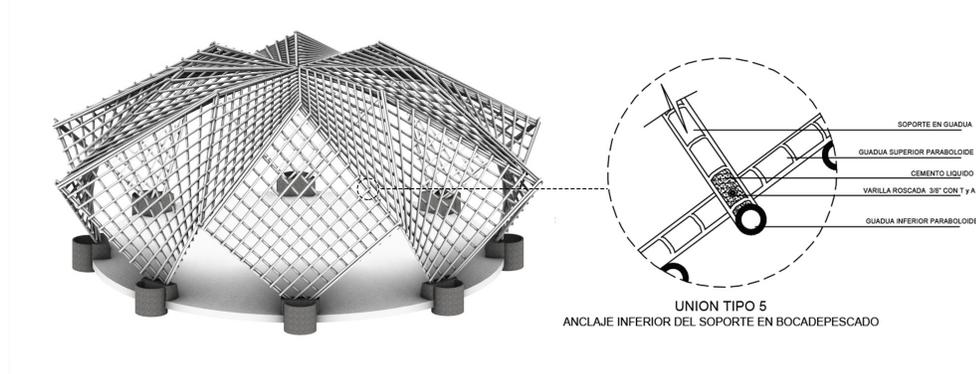
Nota: Elaboración Propia (2023).

Inyección de Concreto

La técnica de inyectar concreto en los nodos expuestos a fuerzas de tracción es un procedimiento fundamental para consolidar y fortificar las secciones de bambú que se encuentran inter conectadas. Al dirigir la inyección de concreto hacia estos puntos críticos, se

logra un reforzamiento que potencia la resistencia estructural del conjunto. Esta estrategia actúa como una salvaguarda efectiva contra tensiones y cargas, proporcionando una mayor confiabilidad a la integridad del entramado de bambú.

Ilustración 35. Inyección de Concreto

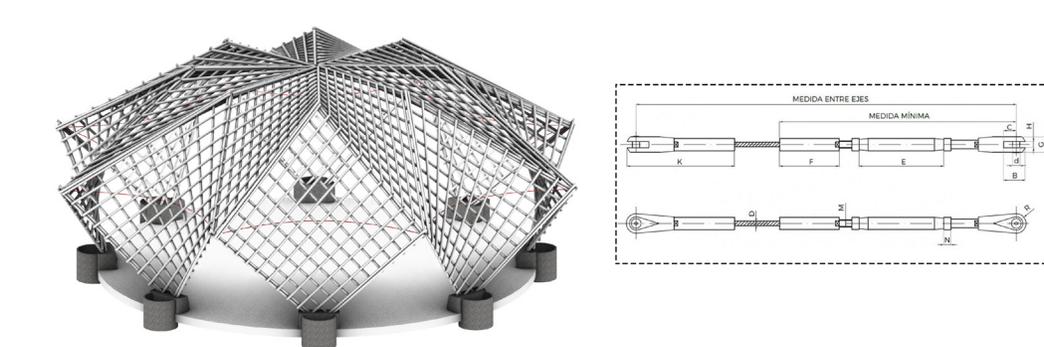


Nota: Elaboración Propia (2023).

Guaya Metálica

La integración de este componente en la configuración estructural del refugio desempeña un papel crucial al estabilizar las áreas centrales de los paraboloides, desempeñando un papel fundamental en la prevención de desplazamientos no deseados y la deformación hacia el interior de la estructura. Al fortalecer y soportar los puntos críticos, se contrarrestan las fuerzas que podrían comprometer la estabilidad y la integridad del refugio, asegurando una resistencia y durabilidad óptimas a lo largo del tiempo.

Ilustración 36. Guaya Metálica



Nota: Elaboración Propia (2023).

9.2 Recubrimiento del refugio

La degradación del bambú debido a la exposición continua a condiciones climáticas, como la lluvia, la humedad, la radiación ultravioleta y las variaciones de temperatura extremas, puede llevar a la pérdida de color, agrietamientos y un deterioro gradual del material. Para prevenir tales situaciones, es imperativo salvaguardar la estructura de bambú de manera adecuada, adicionalmente para que el espacio interno del refugio sea perfectamente habitable es necesario plantear un recubrimiento que de cobijo a las dinámicas internas. Con este fin, se proponen los siguientes elementos que contribuirán a mitigar estos efectos negativos sobre el material y, al mismo tiempo, conferir un valor estético tanto al interior como al exterior del refugio:

1. **Estructura de Bambú:** Los elementos de bambú han sido sometidos a un proceso de inmunización a través del método de inmersión, una técnica de tratamiento químico diseñada para salvaguardar el bambú contra la degradación provocada por insectos, hongos y diversos agentes biológicos. Este proceso se enfoca en preservar la integridad y durabilidad del bambú, permitiendo que conserve sus propiedades naturales y resista eficazmente los efectos adversos del entorno.
2. **Perímetros en Madera:** Se aseguran marcos de madera de 5cm de ancho por 2cm de espesor sobre los perímetros duplicados de bambú, desempeñando un papel fundamental en la delimitación de las superficies parabólicas. Estos marcos proporcionarán una base sólida para la disposición de los elementos de sujeción que sostendrán la capa de superficie subsiguiente.
3. **Cielo raso en Esterilla de bambú:** Sobre la estructura de bambú y los perímetros de madera, se adhieren cuidadosamente láminas de esterilla. Estas láminas, con dimensiones aproximadas de 0.35 m de ancho por 6 m de largo, son dispuestas de manera ascendente, desde la base hacia la cúspide, moldeándose con precisión a la intrincada superficie hiperbólica.
4. **Alfardas de madera:** Estas piezas consisten en cilindros de 3 cm de diámetro y 3 m de longitud, estratégicamente fijados sobre la superficie de la esterilla en una disposición

ascendente, con una separación de 65 cm entre cada uno. Su propósito principal radica en la creación de un relieve elevado junto a la capa subsiguiente, con el fin de guiar eficazmente el flujo de agua desde las áreas más elevadas hacia los puntos de recolección ubicados en los pedestales. De esta manera, se facilita la dirección y el aprovechamiento de las aguas pluviales, contribuyendo a la funcionalidad y eficiencia del diseño.

5. **Superficie de Manto Asfáltico:** El manto asfáltico, también denominado membrana o lámina asfáltica, se destaca como un material impermeable que se adhiere a la superficie de la esterilla. Su proceso de instalación implica el calentamiento de la parte inferior de las láminas con una llama para activar el adhesivo asfáltico, logrando así una adhesión firme y segura a la superficie. Esta aplicación resulta en la creación de una capa continua y perdurable que ejerce como barrera efectiva contra la entrada de agua y humedad, proporcionando una protección sólida para el interior del refugio.
6. **Latas de Bambú:** Estos componentes resultan de cortar longitudinalmente el bambú y presentan dimensiones aproximadas de 3 cm de ancho por 6 m de largo. Su disposición implica su fijación en intervalos de 30 cm sobre la capa de manto asfáltico, adoptando una orientación horizontal ascendente. Su propósito primordial radica en proporcionar un sólido soporte para la capa final de la cubierta, desempeñando un papel esencial en la estructura y estabilidad del conjunto.
7. **Teja de esterilla:** Los formatos de teja de esterilla se obtienen mediante una cuidadosa selección de elementos de bambú, que son cortados longitudinalmente para crear láminas uniformes con dimensiones aproximadas de 35 cm de ancho por 40 cm de largo. Estos paneles se fijan en disposición ascendente sobre las latas de bambú, manteniendo un traslapo de 10 cm entre cada uno. Es relevante destacar la importancia de elegir estos paneles con atención, teniendo en cuenta su tonalidad y calidad, ya que desempeñan un rol visual crucial como la capa visible y el elemento estético distintivo de la cubierta.

8. **Bordes de Remate:** De manera similar a la teja de esterilla, estos elementos requieren una selección meticulosa con dimensiones proporcionales a las de la teja. Se fijan con precisión en las dilataciones presentes en la parte superior de la teja y en los bordes expuestos en la parte inferior del refugio. Este enfoque cohesivo no solo garantiza una estética homogénea, sino también una funcionalidad coherente en la estructura, contribuyendo de manera integral a la integridad y apariencia del refugio.

Ilustración 37. Recubrimiento del refugio



Nota: Elaboración Propia (2023).

10. Conclusiones

En conclusión, el uso del bambú en el ámbito del diseño y la construcción se distingue por su capacidad de adaptación a una amplia gama de estilos arquitectónicos y necesidades funcionales, abarcando desde ornamentaciones decorativas hasta componentes estructurales de soporte. Además de su apariencia estética única, el bambú ofrece ventajas significativas, como su naturaleza renovable, resistencia y ligereza, lo que lo convierte en un recurso atractivo en entornos rurales y urbanos donde la optimización del espacio y la sostenibilidad son cruciales. Adicionalmente, el bambú no solo es capaz de evocar una estética cautivadora, sino que también contribuye de manera tangible a la preservación del medio ambiente y a la reducción de la huella de carbono en la construcción. Su rápida tasa de crecimiento y su capacidad para regenerarse con facilidad lo convierten en una alternativa altamente viable en contraposición a materiales convencionales que resultan agotadores para los recursos naturales y el ecosistema.

Por otro lado, la implementación de herramientas paramétricas en entornos virtuales para el diseño de estructuras, análisis bioclimático y simulación de estructuras en bambú brinda la capacidad de generar geometrías optimizadas y complejas, perfectamente adecuadas a las propiedades físico-mecánicas del bambú y a las necesidades específicas del proyecto en cuestión. Sin embargo, es crucial enfatizar que estas herramientas de simulación estructural no reemplazan el juicio y el asesoramiento de un profesional altamente especializado en el cálculo de estructuras de bambú. Más bien, desempeñan el papel de valiosas herramientas complementarias que facilitan la toma de decisiones a lo largo del proceso de diseño.

En consecuencia, el caso de estudio en Sao Paulo Brasil demuestra que el uso del Bambú como material de diseño y construcción ha evolucionado gracias a la aplicación de herramientas paramétricas al automatizar la creación de formas y estructuras arquitectónicas. Este enfoque elimina tareas repetitivas y reduce la posibilidad de errores humanos, lo que resulta en mayor eficiencia, precisión y calidad en la construcción. La metodología mixta empleada, la cual combina enfoques cualitativos y cuantitativos, proporciona un sólido respaldo teórico para el

desarrollo del estudio. La investigación abarca aspectos técnicos, estéticos y funcionales de la estructura diseñada, lo que contribuye a una comprensión integral de la viabilidad y potencial del bambú como material de construcción sostenible y renovable. Adicionalmente, es importante destacar que la elección del bambú como elemento central en el contexto de Terra Mulungu refleja su firme intención de establecer una conexión profunda y armoniosa con el entorno natural circundante. La incorporación del bambú no solo implica un enfoque estético y funcional, sino que también trasciende hacia una declaración consciente de respeto y sostenibilidad ambiental. Al elegir el bambú como protagonista, Terra Mulungu demuestra su compromiso con la utilización de recursos naturales renovables y su deseo de preservar la belleza y la vitalidad del ecosistema local. Esta elección no solo enriquece visualmente el entorno, sino que también contribuye a una experiencia holística que conecta a los habitantes y visitantes con la esencia misma de la naturaleza.

En última instancia, los resultados de este estudio tienen el propósito de generar un impacto significativo en la percepción que se tiene del Bambú como material de diseño y construcción en proyectos de grandes luces y de complejidad arquitectónica, ofreciendo valiosos conocimientos para arquitectos, ingenieros y constructores interesados en aprovechar al máximo las propiedades del bambú a través del diseño paramétrico. Este enfoque innovador tiene el potencial de acelerar la adopción masiva del bambú como material estructural y geométrico, contribuyendo así a la promoción de soluciones más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente en la arquitectura y la construcción.

11. Bibliografía

- Acosta, D., (2009). *Arquitectura y construcción sostenibles: CONCEPTOS, PROBLEMAS Y ESTRATEGIAS*. Dearq, (4).
- Aquae. (2021,). *Gro Harlem, madre del desarrollo sostenible – Fundación Aquae*. Fundación Aquae.
- Arellano, M. (2018). *The Go-To Guide for Bamboo Construction*. ArchDaily
- Arkirama. (2023). *Ventajas y Usos del BAMBÚ en la Construcción*. Arquinépolis.
- Ashekhina. (s. f.). *MAPA BAGUA SEGÚN HEMISFERIO* Arquitecta interiorista, Asesora profesional de Feng Shui.
- Back, A. G., Di Giulio, G. M., & Malheiros, T. F. (2022). *Desafios para transformação urbana sustentável em São Paulo: visões, interesses e demandas em disputa*. *Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais (RBEUR)*, 24.
- Balmond, Cecil y Januzzi, Smith (2002). *Informal*, Editorial Prestel, Munich.
- Bamboo, B. (2021, 16 febrero). *¿Cómo se fabrica la tela de bambú? | Be Bamboo*. Be Bamboo.
- Bambusa Estudio. (2022). *Bambusa Estudio*.
- Bambusa Estudio. (2019). *Bambú Moso | Bambusa Estudio*.
- Bambus no Brasil : da biologia à tecnologia / organização Patrícia Maria Drumond, Guilherme Wiedman. –1. ed. – Rio de Janeiro : ICH, 2017.655 p.*
- Bernal, Lucia. (2021) *¿Qué es la arquitectura vernácula? Características y ejemplos – Moove Magazine*.
- Borges Alfonso, B. R., (2021). *Diseño computacional en la conceptualización arquitectónica: conceptos principales*. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 15(3), 1–12.
- Broto, E., (2014). *Arquitectura y diseño. Bambú*. Barcelona, España. Editorial: Linkbooks.
- Burgos, A. (2003). *Revisión de las técnicas de preservación del bambú*. *Revista Forestal Latinoamericana*, 33, 11–20.
- Caña de bambú Guadua 100/120 mm Ø. (s. f.). Dbambu*.
- Caldera, Sebastián & Silva, Gonzalo & Loyola, Mauricio. (2013). *Uso de Herramientas Paramétricas de Optimización Evolutiva y Simulación Energética en el Diseño Basado en Performance*. 343–347.
- Carranza, F., & Taco, J. (2011). *Cálculo y diseño estructural para la cubierta del Mercado Central de la parroquia de Píntag en base a tenso-estructura con el uso de Bambú Gigante (Dendrocálamus Asper) [ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO]*.
- Carvalho Mendes, S. D., Gonzaga Molica, S., Caraciolo Ferreira, R. L. y Gutiérrez Céspedes, G. H. (2010). *Absorción y distribución de nutrientes en plantas comerciales de bambú (Bambusa vulgaris) no nordeste do Brasil*. *Revista Árvore*, 34(6), 991–999.
- Chen, C. (2022). *Bamboo Pavilion / ZUO STUDIO*. ArchDaily.

- Chiluiza B. C.I. y Hernández L. J.P. (2009). Elaboración de papel artesanal de caña Guadua (*Guadua angustifolia* K.). Proyecto. Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria. Ecuador. 186 p.
- Christodoulou.(2020). History of Parametric Design The History of Parametric Design and Its Applications in Footwear Design, ICDHS 2020, International Committee for Design History and Design Studies
- Chui Betancur, H.N., Huaquisto Ramos, E., Belizario Quispe, G., Canales Gutiérrez, A., & Calatayud Mendoza, A.P. (2022). Características de la arquitectura vernácula en zonas altoandinas de Perú. Una contribución al estudio del mundo rural. Cuadernos de Vivienda y Urbanismo.
- Cifuentes Quin, C. A., (2012). Arquitectura y computación ¿determinismo o mediación?: del paradigma informacional hacia una tectónica digital. *Dearq*, (10), 22–35.
- Cilento, K. (2017). Parametricist Manifesto / Patrik Schumacher. *ArchDaily*.
- Coenders, J. (2021). Diseño paramétrico de última generación. *Revista de la Asociación Internacional de Conchas y Estructuras Espaciales*.
- Collischonn, E., (2011). MUDANÇAS NA HIDROGRAFIA DA BACIA DO ARROIO CASTELHANO, RS, BRASIL, ENTRE AS DÉCADAS DE 1980 E 2010. *Revista Geográfica de América Central*.
- Cózar, F. H. (2023). Bambú: la arquitectura sustentable del futuro. *Arquitectura en actualidad: las últimas noticias y tendencias del mundo de la construcción*.
- Cubillos González, R. A. (2012). LA TECNOLOGÍA SOSTENIBLE APLICADA AL PROYECTO ARQUITECTÓNICO. *EKOTECTURA* 2012, 1(2012).
- Dávila, J. (2019). Zaha Hadid: quién fue y la arquitectura maravillosa que nos ha legado.
- Davis, D. (2022,). A history of parametric. Daniel Davis
- Davis, D., Burry, J., & Burry, M. (2011). Understanding Visual Scripts: Improving Collaboration through Modular Programming. *International Journal of Architectural Computing*, 9(4), 361–375.
- Deason, D. (1976). Montañas selváticas desafían la construcción de la línea petrolera de Brasil. [Línea de 84 km de Sao Sebastiano a Guararema]. *Industria de tuberías*.
- Departamento de Estado de los Estados Unidos. (2023). *United States Department of State*.
- Eastman, C.M. (1999). *Building Product Models: Computer Environments, Supporting Design and Construction* (1st ed.). CRC Press.
- Eltaweel y colaboradores. (2017). Parametric Design and Daylighting: A Literature review. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*.
- Estrada Meza, M. G., González Meza, E., Chi Pool, D. A. y McNamara Trujillo, J. S. (2022). Diseñar la exploración de estructuras de conchas de bambú mediante el uso de herramientas paramétricas.
- Exotic Plants. (2011). *Phyllostachys pubescens – Bambú de moso semillas*. Exotic Plants – Bernd Bordne.
- FBDS – Funda o Brasileira para o Desenvolvimento Sustent Vel.* (2023).

- Feijóo, E. D. Q., & Valdivieso, X. B. (2012). *Arquitectura modular basada en la Teoría de los Policubos* (Vol. 2).
- Feitosa, W. R., Tolentino, D. C., Pedroso, M. F., & Gianocário, G. (2019). El uso de las redes sociales para posicionar un destino turístico: el caso de la ciudad de Guararema y sus visitantes del día.
- Figueroa, V., & Sardiña, E. (2009). *Bambú en Chile: Posibilidades de industrialización y estandarización del cultivo*.
- FILGUEIRAS, T.S., GONÇALVES, A.P.S. A Checklist of the Basal Grasses and Bamboos in Brazil (POACEAE). *Bamboo Science and Culture: The Journal of the American Bamboo Society* 18(1): 7–18. 2004.
- Franco, F. C. (2015). *Cultura, cidadania e patrimônio cultural: interfaces entre a escola, a cidade e as políticas culturais na cidade de Guararema, SP*. Cloudfront.
- Franco, J. T. (2022). *Simón Vélez en la Bienal de Venecia 2016: «El bambú no es un material para pobres o ricos, es para seres humanos»*. ArchDaily Colombia.
- Franco, T. y Yessenia, E. (2017). *Bambú, una cultura y una evolución: cuatro conceptos – tres arquitecturas*. Aula 4 TFG.
- Franqui (2021). *Bambú: origen, qué es, morfología, usos y zonas donde crece*. Franquihogar Menaje.
- Galería de El Arco en Green School / IBUKU – 3. (s. f.). ArchDaily Colombia.
- Garzón, B. (2021). *Arquitectura sostenible: Bases, soportes y casos*. Nobuko.
- García, M. A., (2014). *El lugar de la construcción inevitable: la arquitectura moderna en Brasil a través de la producción crítica de Mário Pedrosa*. Dearq, (15), 24–35.
- Galiana, M. (2022). *Construyendo con Bambú*. Ibuku. Elora Hardy. *Arquitectura*.
- Genari (2020) | terra.mulungu.
- Gobierno de Estado de São Paulo. (2023). *Home* | Governo do Estado de São Paulo
- Global Natural Bamboo Habitat ,1980.
- Griffiths, A. (2022). *Vo Trong Nghia Architects completes bamboo welcome centre for Grand World Phu Quoc*. Dezeen.
- Guadua Especial. (2013, 5 septiembre). COMGUADUALCA.
- Hardy, E. (2015). *Elora Hardy | Speaker | TED*. TED Talks.
- Hidalgo, O., (2003). *Bamboo – The Gift of the god*. Bogotá.
- Hernandez, V. (2021). *Grasshopper en 1 minuto*. Especialista3D.
- Iberdrola, Corporativa. (2023). *¿Qué es la bioconstrucción?* – Iberdrola
- Instituto Brasileño de Geografía y Estadística. (2022). *Geografia Brasil*. IBGE. 5 de marzo de 2023, de Instituto Brasileño de Geografía y Estadística.
- Intecap. (1984). *Bambú*. Instituto técnico de capacitación y productividad. Guatemala, 1984 p 5–7.

- Janssen, J. J. A. (1981). Bamboo in building structures. [Phd Thesis 1 (Research TU/e / Graduation TU/e), Built Environment]. Technische Hogeschool Eindhoven.
- JUDZIEWICZ, E.J. et al. American bamboos. Washington, D.C.: Smithsonian Institution Press. 1999. 392 p.
- KHABAZI, Z. 2010. Generative Algorithms using Grasshopper. 2. S.l.: s.n.
- Liese, W. 1987. Research on bamboo. Wood Sci & Technol. 21: 189–209. Junta del Acuerdo de Cartagena. 1988. Manual del grupo andino para la preservación de la madera. Lima. Perú.
- Liese, W. y Dunking, R., (2009). Bambus als CO₂-Speicher. Vol 62, No 7, pp. 341–348.
- Llach, D. C., & Werning, R. C. (2009). Arquitectura, diseño y computación. Uniandes, 4, 136–140.
- Lobovikov, M., Paudel, S., Piazza, M. et al., (2007). World Bamboo Resources; A thematic study prepared in the framework of the Global Forest Resources Assessment 2005. Roma.
- Londoño (1990). Aspectos sobre la distribución y la ecología de los bambues de Colombia (poaceae: bambusoideae). caldasia, 16(77), 139–153.
- López, S. (2010). Necesidades de formación en el área de agroecología: un imperativo en el siglo XXI. Geoenseñanza, Vo 15, ISSN 1316–6077.
- MANHÃES, A. P. (2008). CARACTERIZAÇÃO DA CADEIA PRODUTIVA DO BAMBU NO BRASIL: ABORDAGEM PRELIMINAR. Seropédica.
- Mao, Y. (2014). «Feng Shui» y arquitectura occidental: el caso de Josep Antoni Coderch.
- Marchante, A. (2020). Rhinoceros: ¿Qué características tiene el software de modelado 3D? 3Dnatives.
- Marenco dos Santos, A., (2013). Topografia do Brasil profundo: votos, cargos e alinhamentos nos municípios brasileiros. Opinião Pública, 19(1), 1–20.
- Marshall, E. (2017). 7 Reasons São Paulo Is the World's Top Business Hub. Culture Trip.
- Mapa topográfico Brasil, altitud, relieve. (2023). Mapas topográficos.
- McClure, F. (1955). Flora de Guatemala, Bamboos. Natural History Museum. Fieldiana Botany.
- Menges, A.; Ahlquist, S. Pensamiento de diseño computacional: Pensamiento de diseño computacional; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA, 2011.
- Minke, G. (2010). Manual de construcción en tierra. La tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual.
- Molinare, A. (2011). ¿Qué es el diseño paramétrico? Plataforma Arquitectura.
- Morales Pacheco, L. A., (2012). Arquitectura paramétrica aplicada en envolventes complejas en base a modelos de experimentación en el diseño arquitectónico. Revista de Arquitectura e Ingeniería, 6(3), 1–11.

- Morán, U , J. (2015). Construir con Bambú (Caña de Guayaquil): Manual de construcción. Red Internacional de Bambú y Ratán, INBAR.
- Mx, A. A. (2019). Diseño paramétrico con bambú, una alternativa para la sostenibilidad – SEED studio. SEED studio.
- Navarrete, Sandra. (2014). Diseño paramétrico: El gran desafío del siglo XXI. Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación. Ensayos, (49), 63–72.
- Nivel, A. (2012, 12 marzo). Vo Trong Nghia y su nueva arquitectura de bambú. Alto Nivel.
- NUNES, A.R.S. Construindo com a natureza. Bambu: uma alternativa de eco desenvolvimento. 2005. 142p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Núcleo de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Sergipe.
- Pascual, J. M., Márquez, A. y Lacase, E. (2009). El bambú: una alternativa sostenible en el rescate del patrimonio arquitectónico cayo granma. Santiago de cuba. Arquitectura y Urbanismo.
- Pereira, G, Hugo. (2022). Artículo “Bioconstrucción en el mundo”. COMTEC.
- Prefeitura Municipal de Guararema. (2023, 27 julio). Home – Prefeitura Municipal de Guararema
- Pires, J.D. y Pereira, A.T. (2020). Entre las curvas de la arquitectura contemporánea y la enseñanza de la geometría en arquitectura: un enfoque didáctico del diseño paramétrico. Revista de Ciencia y Tecnología.
- Reverte, Fernanda & Garcia, Maria da Glória. (2018). CAPTURA FLUVIAL DE GUARAREMA – SP: GEOSSÍTIO INTERDISCIPLINAR DA BACIA DE TAUBATÉ, RIFTE CONTINENTAL DO SUDESTE DO BRASIL.
- Robert McNeel & Associates. (2023). Rhino en Arquitectura, Ingeniería y Construcción.
- Rodas, O. (1988). Evaluación de cinco métodos de propagación vegetativa en siete especies de Bambú en San Miguel Panán, Suchitepéquez. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía.
- Rodríguez Romo, J. C., (2006). El bambú como material de construcción. Conciencia Tecnológica, (31), 67–69.
- Roy-Pinot, R. (2023). ARQUITECTURA VERNÁCULA EN MÉXICO — L U P A. L U P A.
- Sánchez Medrano, M. T., Espuna Mújica, J. A., & Roux Gutierrez, R. S. (2016). El bambú como elemento estructural: la especie Guadua Amplexifolia. Nova Scientia, 8(17), 657–677.
- Segui, Pau. (2021). Arquitectura paramétrica: El diseño paramétrico transforma la construcción y el urbanismo. OVACEN.
- Shaffer, M. (2020). Building together with nature – Earth Overshoot Day. Earth Overshoot Day.
- Stamm, J. (2008). La Evolución de los Métodos constructivos en Bambú. Segundo Congreso Mexicano de Bambú 2008.
- Soler, Soler, P. (2017). Uso del bambú en la arquitectura contemporánea.
- Sulthoni. 1987. Tradicional preservation of bamboo in Java. In “Recent Research on Bamboo” A.N. Rao, G. Dhanarajan and C.B. Sastry (Eds). Proc. Third international bamboo workshop. CAF/IDRC, pp. 349–357.

Tillería González, J., (2010). LA ARQUITECTURA SIN ARQUITECTOS, ALGUNAS REFLEXIONES SOBRE ARQUITECTURA VERNÁCULA. Revista AUS, (8), 12-15.

Valderrama, J. O., Espíndola, C., & Quezada, R. (2011). Huella de Carbono, un Concepto que no puede estar Ausente en Cursos de Ingeniería y Ciencias. Formación Universitaria, 4(3), 3-12.

Vargas Febres, C. G., (2021). Reflexiones sobre arquitectura vernácula, tradicional, popular o rural. Arquitectura y Urbanismo, XLII (1), 146-163.

Vergara, E. (2022). ¿Cómo unir las varas de Bambú? ArchDaily Colombia.

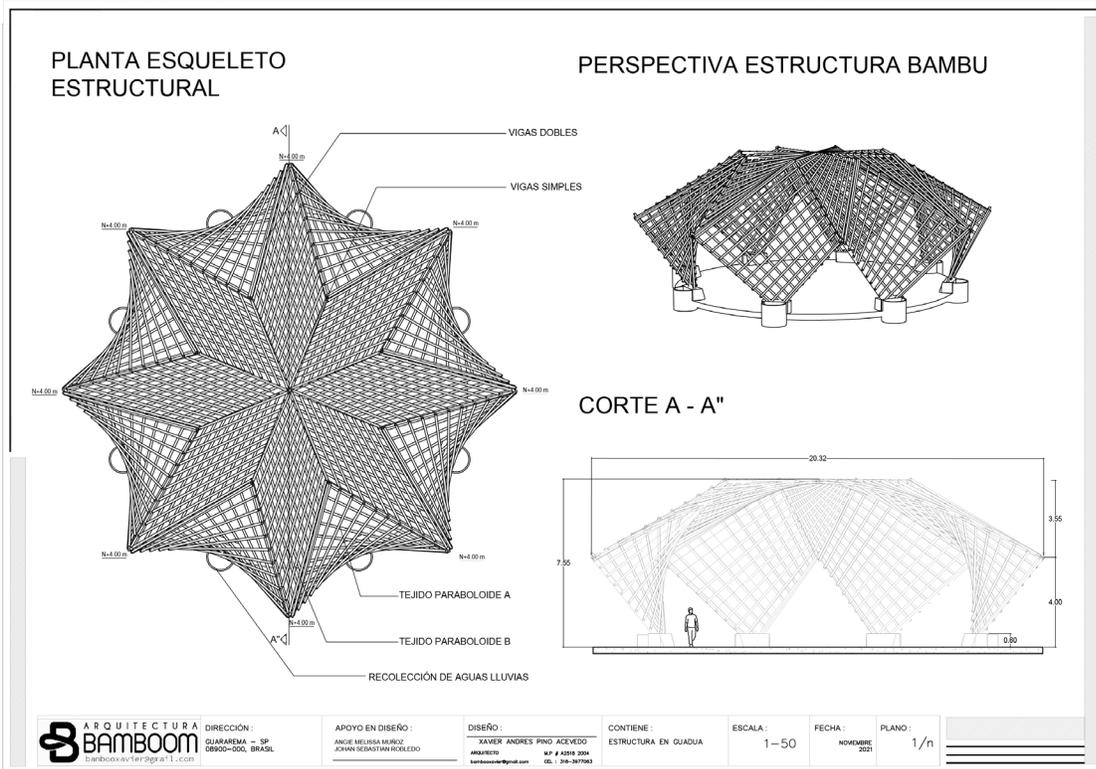
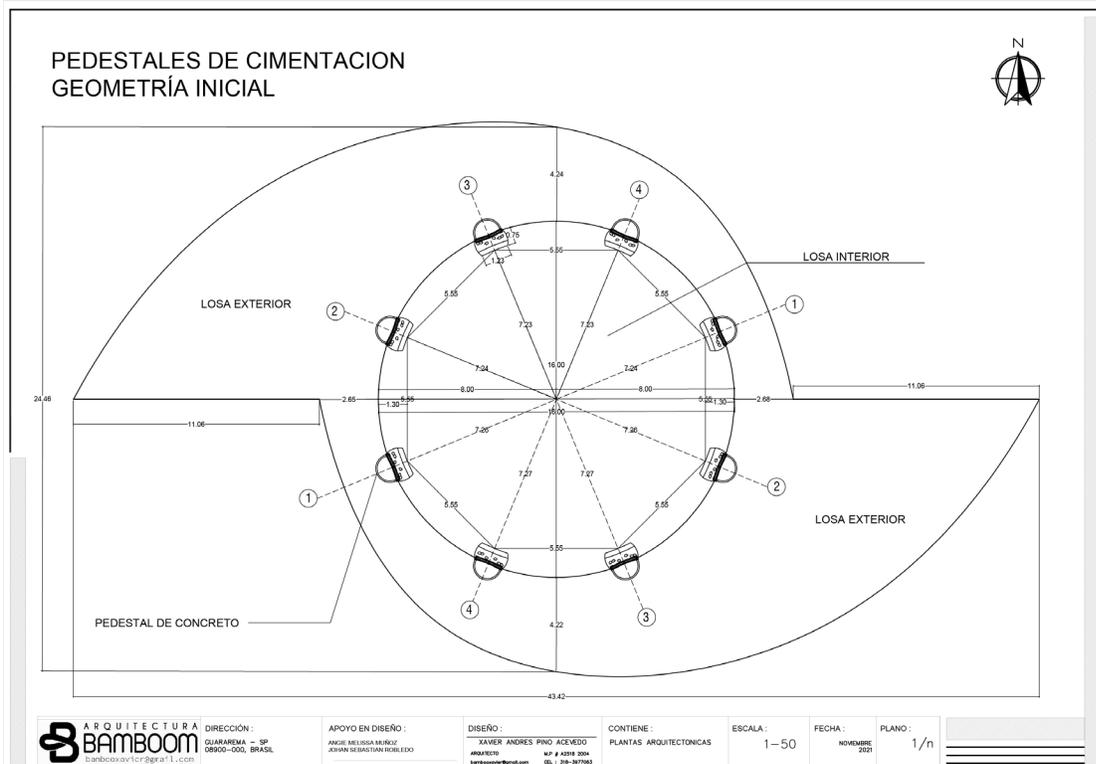
Weather Spark. (2022). El clima en Guararema, el tiempo por mes, temperatura promedio (Brasil) – Weather Spark.

Xiaobin, J. Guitao, F. (2021). Construcción paramétrica y aplicación compuesta de estructuras de bambú. Investigación sobre el bambú. 41(1), 64-72.

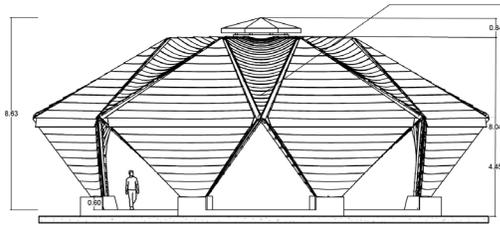
Zuluaga, O. (2022). Modelado 3D Rhinoceros: Conoce sus ventajas y principales características. es.linkedin.com

12. Anexos

Planos Arquitectónicos

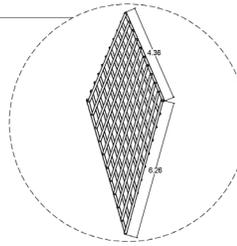


FACHADA FRONTAL
ESC 1:50

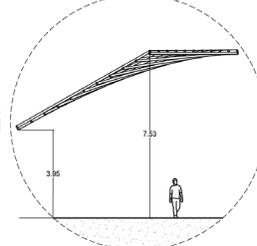


PARABOLOIDE B

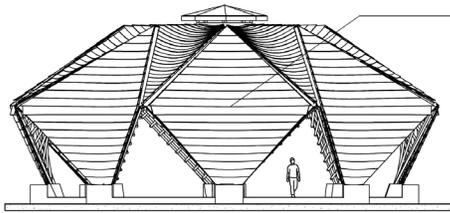
VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL

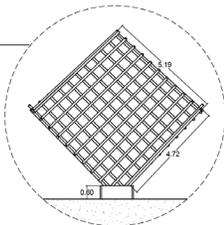


FACHADA LATERAL
ESC 1:50

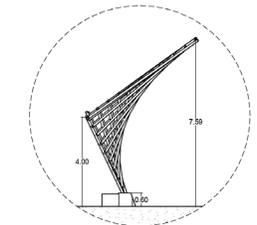


PARABOLOIDE A

VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL



DIRECCIÓN:
GUARARMA - SP
OSHO-COL, BRASIL

APOYO EN DISEÑO:
ANGIE MELISSA REBOZ
JOHAN SEBASTIAN REBOZ

DISEÑO:
XAVIER ANDRÉS PINO ACEVEDO
ANGIE REBOZ
BARBOCIVIC@GMAIL.COM
TEL: +57 307 3078

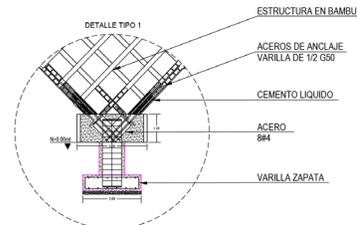
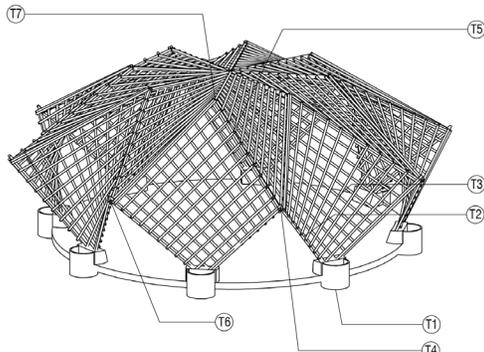
CONTIENE:
FACHADAS ARQUITECTONICAS

ESCALA:
1-50

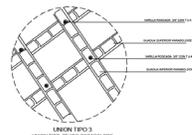
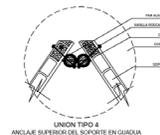
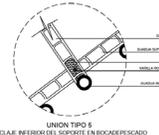
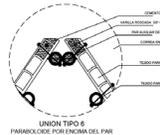
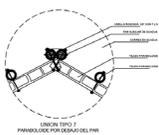
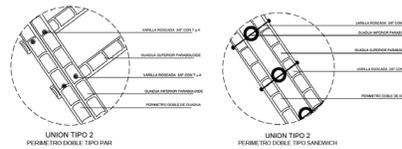
FECHA:
NOVIEMBRE
2021

PLANO:
1/n

UNIONES ESTRUCTURALES



MEDIDAS PEDESTAL
SENTIDO LONGITUDINAL



DIRECCIÓN:
GUARARMA - SP
OSHO-COL, BRASIL

APOYO EN DISEÑO:
ANGIE MELISSA REBOZ
JOHAN SEBASTIAN REBOZ

DISEÑO:
XAVIER ANDRÉS PINO ACEVEDO
ANGIE REBOZ
BARBOCIVIC@GMAIL.COM
TEL: +57 307 3078

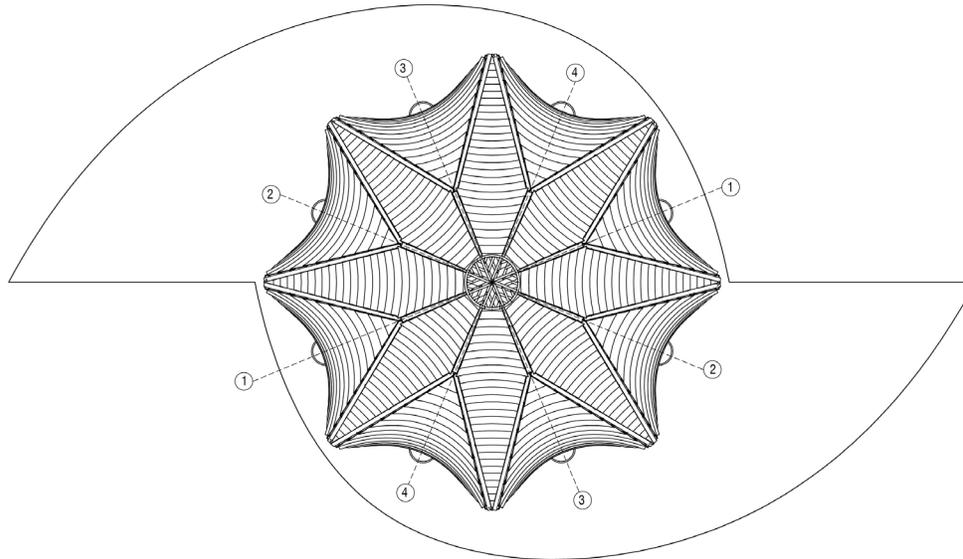
CONTIENE:
UNIONES ESTRUCTURALES

ESCALA:
1-50

FECHA:
NOVIEMBRE
2021

PLANO:
1/n

PLANTA DE CUBIERTA



DIRECCIÓN:
GUARANDA - SP
0800-000.8848

APOYO EN DISEÑO:
ANGIE MELISSA MARICÓ
JONAN SEBASTIÁN ROBLEDO

DISEÑO:
XAVIER ANDRÉS RING ACEVEDO
ANGIE MELISSA MARICÓ
JONAN SEBASTIÁN ROBLEDO
bamboosdepopayan.com

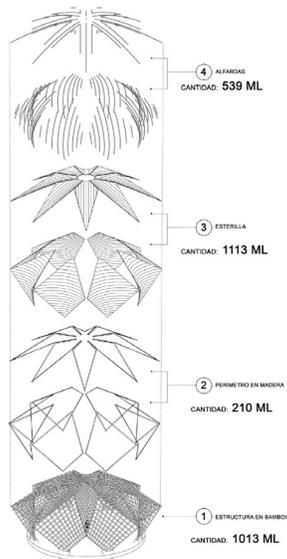
CONTIENE:
PLANTAS ARQUITECTONICAS

ESCALA:
1-50

FECHA:
NOVIEMBRE
2021

PLANO:
1/n

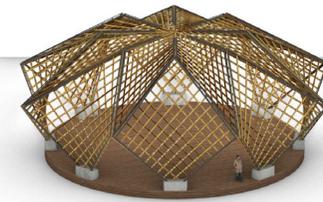
PROCESO CONSTRUCTIVO DE CUBIERTA



1 ESTRUCTURA EN BAMBOO



2 PERIMETRO EN MADERA



3 ESTERILLA



4 ALFARDAS



DIRECCIÓN:
GUARANDA - SP
0800-000.8848

APOYO EN DISEÑO:
ANGIE MELISSA MARICÓ
JONAN SEBASTIÁN ROBLEDO

DISEÑO:
XAVIER ANDRÉS RING ACEVEDO
ANGIE MELISSA MARICÓ
JONAN SEBASTIÁN ROBLEDO
bamboosdepopayan.com

CONTIENE:
PROCESO CONSTRUCTIVO DE
CUBIERTA

ESCALA:
1-50

FECHA:
NOVIEMBRE
2021

PLANO:
1/n

	<p>5 MANTO ASFALTICO CANTIDAD: 186 ML</p>	<p>6 LATAS EN BAMBOO CANTIDAD: 1107 ML</p>
	<p>7 TEJA EN ESTERILLA CANTIDAD: 431 M2</p>	<p>8 BORDES DE REMATE</p>
	<p>4 ALFARDAS</p>	

ARQUITECTURA BAMBOOM
bamboomarquitectura.com

DIRECCIÓN:
SARAHITA - 35
30001000 - BHSA

APOYO EN DISEÑO:
ANGIE MELISSA MUÑOZ
JOHAN SEBASTIAN ROBLEDO

DISEÑO:
XAVIER ANDRÉS PINO ACEVEDO
ARQUITECTO
NIT # 42118 2004
025 234 1217463

CONTIENE:
PROCESO CONSTRUCTIVO DE
CUBIERTA

ESCALA:
1-50

FECHA:
NOVIEMBRE
2021

PLANO:
1/n

<p>BAGUÁ, TERRA MULUNGU.</p>	<p>APOYO EN DISEÑO: ANGIE MELISSA MUÑOZ JOHAN SEBASTIAN ROBLEDO</p>	<p>DISEÑO: XAVIER ANDRÉS PINO ACEVEDO ARQUITECTO NIT # 42118 2004 025 234 1217463</p>	<p>CONTENIDO: PLANCHA PROMOCIONAL</p>	<p>ESCALA: INDICADA</p>	<p>JULIO 2021 FECHA:</p>	<p>P1/2 PLANCHA:</p>
------------------------------	---	---	---	-----------------------------	----------------------------------	---------------------------------