

Desarrollo de espacio transformable a partir de una estructura de barras plegables en caña flecha

Ana Elena Rodríguez Morelo

Valentina Osorio Urueta

José Alejandro Viera Geney

Corporación Universitaria del Caribe – CECAR

Facultad de Ciencias Básicas Ingeniería y Arquitectura

Programa de Arquitectura

Sincelejo

2022

Desarrollo de espacio transformable a partir de una estructura de barras plegables en caña flecha

Ana Elena Rodríguez Morelo

Valentina Osorio Urueta

José Alejandro Viera Geney

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Arquitecto

Director

Pedro Martínez Osorio

Doctor en Design

Codirectora

Alexandra Castellanos Tuirán

Magister en Desarrollo y Ambiente

Corporación Universitaria del Caribe – CECAR

Facultad de Ciencias Básicas Ingeniería y Arquitectura

Programa de Arquitectura

Sincelejo

2022

Nota de Aceptación

4.65



Director



Evaluador 1



Evaluador 2

Sincelejo, Sucre, 19 de octubre de 2022

Agradecimientos

A Dios por darnos la fuerza, sabiduría y acompañamiento a lo largo de nuestra formación.

A nuestros padres y familiares, quienes nos brindaron apoyo, fueron pilar y motivación durante el proceso de formación, a quienes esperamos llenar de orgullo y alegría con la finalización del presente.

A nuestro director, Dr. Arq. Pedro Martínez, gracias por encaminar las bases del presente trabajo e introducirnos en el campo de las estructuras transformables. Gracias por guiarnos en la dirección apropiada.

Tabla de Contenido

Resumen	12
Abstract	13
Introducción	14
1 Capítulo I: El problema	17
1.1 Diagnóstico de la necesidad	17
1.2 Objetivos	21
1.2.1 General	21
1.2.2 Específicos.....	21
2 Capítulo II: Marco de referencia.....	22
2.1 Antecedentes de la investigación.....	22
2.2 Marco referencial	28
2.3 Marco conceptual.....	37
2.3.1 Estructura.....	37
2.3.2 Estructuras recíprocas	37
2.3.3 Estructuras temporales	37
2.3.4 Barras y planos	38
2.3.5 Desmontable	38
2.3.6 Estructuras desplegadas	38
2.3.6.1 Estructura de superficie.....	39
2.3.6.2 Estructura de barras.....	39
2.3.6.2.1 Mecanismo deslizante o de paraguas.....	39
2.3.6.2.2 Mecanismo de bisagra o plegable.....	39
2.3.6.2.3 Mecanismo de tijera o barras articuladas.....	40
3 Capítulo III: Marco tecnológico	43
3.1 Metodología.....	43

3.1.1	Fase 1: Exploratoria: Recolección de datos	43
3.1.2	Fase 2: Prueba y análisis de diseño	43
3.1.3	Fase 3: Elaboración de prototipo	44
3.2	Materiales	46
3.2.1.1	Caña flecha.	47
3.2.1.2	Concepto y características de la especie.	47
4	Capítulo IV: Resultados y discusión	51
4.1	Fase 1: Exploratoria: Recolección de datos	51
4.1.1	Revisión bibliográfica	51
4.1.1.1	Revisión de patentes.	52
4.1.1.2	Análisis conceptual del diseño.	55
4.2	Fase 2: Prueba y análisis de diseño conceptual	60
4.2.1	Pruebas de despliegue	60
4.2.1.1	Prueba 1: Extensión de la estructura tipo tijera.	60
4.2.1.2	Prueba 2: Sistema tipo tijera desde un punto inferior.	62
4.2.1.3	Prueba 3: Despliegue a escala 1:100.....	64
4.2.1.4	Prueba 3: Despliegue en caña flecha.	65
4.2.1.5	Reflexiones sobre el diseño.	70
4.2.2	Diseño morfológico del elemento.....	71
4.2.2.1	Geometría del elemento.	71
4.2.2.2	Propuestas de espacio transformable.	77
4.3	Desarrollo del prototipo seleccionado.....	85
4.3.1	Presupuesto para la construcción del prototipo	92
4.3.1.1	Elaboración de prototipo.	93
4.3.1.1.1	Preliminares.	93
4.3.2	Articulación de elementos	95
4.3.3	Cubierta.....	99
5	Conclusiones.....	102



Referencias 105

Anexos..... 109

Tabla de Figuras

Figura 1 Referencias En La Antigüedad De Estructura Plegables	23
Figura 2 a) Pintura Sobre Piedra Hallada Al Sur De Suecia Evidenciando Velámenes Vikingos. b) Papilio Romano.....	23
Figura 3 El Velum O Velarium Romano	24
Figura 4 Ejemplos De Estructuras Desplegables En Diferentes Partes Del Mundo.....	24
Figura 5 Dibujos De Leonardo Da Vinci De Mecanismos Desplegables En El Siglo XV.....	26
Figura 6 Ejemplos de Obras de Emilio Pérez de Piñero	27
Figura 7 Paquete Y Estructura De Enlace De La Patente De Emilio Pérez Piñero.....	28
Figura 8 Prototipo De Paraguas Retráctil.....	30
Figura 9 Forma Final del proyecto de investigación de una hipérbole plegable tensada	31
Figura 10 Proceso Geométrico Para La Conformación De Barras Rectas Para Una Cúpula.	32
Figura 11 Edificio Plegable Empleados Durante La Copa Mundial FIFA 2018.....	33
Figura 12 Diseño Paramétrico Del Pabellón Vértex.....	34
Figura 13 Pabellón Vértex.....	35
Figura 14 Estructuras No Convencionales. Proyectos Desarrollados Por Smia.....	36
Figura 15 Ejemplo Denominaciones Del Mecanismo De Tijera De Acuerdo A Formas De Despliegue Y Posición De Articulaciones.....	41
Figura 16 Aplicación de mecanismos de tijera.....	42
Figura 17 Esquema De Resumen Metodológico	44
Figura 18 Resumen de Actividades Metodológicas.....	45
Figura 19 Localización Cultivo De Caña Flecha.....	47
Figura 20 Mazos de Caña Divididos En Jornales	47
Figura 21 Vivienda En Caña Flecha. Tuchín- Córdoba.....	48
Figura 22 Variantes De La Caña Flecha	49
Figura 23 Caña Flecha Tuchin- Córdoba.	49
Figura 24 Patente N° 1	53

Figura 25 Patente N° 2	54
Figura 26 Patente N° 3	55
Figura 27 Formas De Generar Una Estructura Desplegable	56
Figura 28 Desarrollo De Una Adecuación Geométrica Generada Por Formas Y Miembros Modulares	58
Figura 29 Condición De Plegado Para Configurar Agrupaciones De Tijeras	58
Figura 30 Clasificación De Estructuras Desplegables Del Sistema Tipo Tijera.	59
Figura 31 Despliegue De Sistema De Tijera Desde Un Punto Central.....	60
Figura 32 Despliegue De Estructura Tipo Tijera Repetida Desde Un Punto Central.....	61
Figura 33 Extensión De Estructura De Tijera Desde Un Punto Central.	61
Figura 34 Esquema De Referencia Del Funcionamiento Tijeras Desde Un Punto Inferior.	62
Figura 35 Funcionamiento del sistema tijera desde un punto inferior: Rotación de barras	62
Figura 36 Extensión De La Estructura De Tijera Desde Un Punto Inferior Formando Un Arco	62
Figura 37 Despliegue De Modelo Experimental Escala 1:100.....	65
Figura 38 Maqueta esc. 1:5	67
Figura 39 Modelo Experimental. ESC. 1:5	68
Figura 40 Distancia Entre Enlaces Modelo Experimental Escala 1:5: Pliegue Y Despliegue Del Modelo.....	69
Figura 41 Despliegue del Módulo Esc. 1:5	70
Figura 42 Proceso de Conformación Geométrica de Modelo Experimental Digital a base de Hexágono	72
Figura 43 Modelo Experimental Digital A Base De Hexágono	73
Figura 44 Proceso de Conformación Geométrica Líneas De Referencia Del Modelo Experimental Digital A Base De Heptágonos.	74
Figura 45 Modelo Experimental Digital A Base De Un Heptágono: 1 Propuesta	75
Figura 46 Modelo Experimental Digital A Base De Un Heptágono: 2 Propuesta	76
Figura 47 Modelo Experimental Digital A Base De Un Heptágono: 3 Propuesta	77
Figura 48 Conformación Sencilla De Un Espacio Transformable: Dos Módulos.	78

Figura 50 Primera Propuesta De Diseño De Un Espacio Transformable	79
Figura 51 Segunda Propuesta De Distribución De Un Espacio Transformable.....	80
Figura 52 Perspectiva 1 De Segunda Propuesta Distribución De Un Espacio Transformable Plegable.....	81
Figura 53 Vista Superior y lateral De Tercera Propuesta De Diseño De Un Espacio Transformable Plegable	82
Figura 54 Perspectiva De Tercera Propuesta De Diseño De Un Espacio Transformable Plegable	83
Figura 54 Propuesta De Distribución Tipo Domo.	84
Figura 55 Modelo a proponer: Geometría de La Forma a base de heptágono- pliegue y despliegue	85
Figura 56 Elevación Modelo Desplegado	86
Figura 57 Detalle de las Uniones Centrales	86
Figura 58 Detalle De Las Uniones Centrales Y Elementos.	87
Figura 59 Detalle: Distancia entre uniones barras inferiores	87
Figura 60 Detalles De Las Uniones De Los Extremos De Las Barras De Las Tijeras De La Base.	88
Figura 61 Detalle de las Uniones de extremos y Elementos.	89
Figura 62 Detalle De Las Uniones De Extremos De Las Barras Inferiores.....	90
Figura 63 Detalle 5: Amarre Para Las Bases Del Modelo.	90
Figura 64 Detalle 6 Conformación Superior De Los Módulos.	91
Figura 65 Detalle De Amarre Entre La Lona Y La Estructura.....	91
Figura 66 Procesos Preliminares: Limpieza, Selección Y Almacenamiento De La Caña.	95
Figura 67 Proceso De Corte, Marcación, y Perforación De Uniones.	95
Figura 68 Unión De Elementos	96
Figura 69 Módulos plegados.	97
Figura 70 Despliegue De Primer Módulo De Espacio Transformable e instalación de seguros .	97

Figura 71 Levantamiento de los módulos Para La Conformación De Un Espacio Transformable.	98
Figura 72 Unión Entre Módulos	99
Figura 73 Instalación de Cubierta	99
Figura 74 Prototipo Montado	100

Lista de Tablas

Tabla 1 Materiales-Herramientas	46
Tabla 2 Ecotipos De La Caña Flecha En La Región, De Acuerdo A Su Calidad Para La Elaboración De Artesanías	50
Tabla 3 Resultados Cadena De Búsqueda En Bases De Datos	51
Tabla 4 Patente N° 1	52
Tabla 5 Patente N° 2	53
Tabla 6 Patente N° 3	54
Tabla 7 Formas De Generar Una Estructura Desplegable	56
Tabla 8 Descripción De La Prueba De Despliegue 3	64
Tabla 9 Descripción De La Prueba De Despliegue 4- Prueba En El Material	67
Tabla 10 Presupuesto Por Módulo	92
Tabla 11 Presupuesto Para La Construcción De 4 Módulos	92
Tabla 12 Pasos Preliminares Para La Construcción Con Caña Flecha.	93

Resumen

La presente investigación, estudia el desarrollo y la aplicación de un espacio arquitectónico transformable, a partir de una estructura de barras plegables en caña flecha (*Gynerium sagittatum*), con el propósito de fortalecer la innovación mediante la implementación de estructuras no convencionales en el entorno, además de potenciar la cadena productiva de la caña flecha, que es un emblema cultural a nivel nacional y forma parte de la identidad del paisaje cultural de la región Caribe.

Para el desarrollo del presente trabajo, se empleó una metodología de tipo proyectual mediante un enfoque cualitativo, dividido en tres fases: exploratoria, donde se elaboró una recolección de datos mediante una revisión bibliográfica; fase de prueba y análisis de diseño, que consistió en pruebas de pliegue y despliegue con modelos digitales y a escala, y la fase de elaboración del prototipo a escala real.

Como resultado, en la fase exploratoria, se construyó el marco de referencia y los antecedentes de la investigación, lo que facilitó la elección de un método aplicable para el diseño de nuestro espacio transformable a partir de una estructura plegable; las pruebas realizadas en la segunda fase, permitieron evaluar las cualidades físicas del proyecto y el diseño de un módulo plegable, con el cual se proponen diversas propuestas de espacio transformable.

Finalmente, en la tercera fase de la investigación, se aplica la construcción de un prototipo de espacio transformable tipo pabellón, a escala real (1:1), con 2 módulos de tijeras plegables con barras rectas de caña flecha dispuestos de forma radial.

Palabras clave: Estructuras plegables, estructuras ligeras, arquitectura efímera, caña flecha, estructuras ligeras.

Abstract

This research studies the development and application of a transformable architectural space, from a structure of folding bars in cane arrow (*Gynerium sagittatum*), with the purpose of strengthening innovation through the implementation of unconventional structures in the environment, in addition to promoting the productive chain of arrow cane, which is a cultural emblem at the national level and is part of the identity of the cultural landscape of the Caribbean region.

For the development of this work, a project-type methodology was used through a qualitative approach, divided into three phases: exploratory, where a data collection was developed through a bibliographic review; test phase and design analysis, which consisted in the elaboration of folding and unfolding tests with digital and scale models, and the phase of elaboration of the scale prototype.

As a result, in the exploratory phase, the reference framework and the research background were built that facilitated the choice of an applicable method for the design of our transformable space from a folding structure; the tests carried out in the second phase made it possible to evaluate the physical qualities of the project and the design of a folding module, with which various proposals for transformable space are proposed.

Finally, in the third phase of the investigation, the construction of a prototype of a transformable pavilion-type space is applied, on a real scale (1:1), with 2 modules of folding scissors with straight arrow cane bars arranged radially.

Keywords: folding structures, lightweight structures, ephemeral architecture, arrow cane, lightweight structures.

Introducción

A lo largo de la historia, el hombre ha sentido la necesidad de edificar espacios adaptables a sus cambiantes necesidades, la arquitectura transformable; ha sido pensada para solventar la necesidad de levantar y desarticular espacios de forma rápida, permitiendo la posibilidad de transportar elementos que permitan la transformación de un espacio.

Uno de los temas que abarca la arquitectura transformable y el cual es el objeto de estudio del presente trabajo, es el sistema de estructuras desplegadas, que para Avellaneda (2020) son sistemas de barras articuladas para la definición de espacios, que pueden ajustarse o cambiar su forma. Las soluciones de diseño que ofrecen estos sistemas, permiten abordar problemas de habitabilidad mediante requerimientos de confort climático, ofrecen facilidad de montaje y adaptabilidad en cuanto a espacio y función. (pp. 2-7)

La iniciativa de la presente investigación, abre paso a la innovación, mediante las posibles aplicaciones de los materiales locales, necesidad que aparece identificada en el Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación de Sucre -PEDCTI (2013), en el cual se anota la necesidad de impulsar procesos de innovación y desarrollo tecnológico en el departamento, vinculados al sector productivo de la región, de manera que promueva soluciones a través de proyectos, priorizando y generando oportunidades basadas en las condiciones de mercado, los componentes territoriales y tradicionales (p.391)

La innovación, así como la modernización en tecnologías han sido importantes en el desarrollo de cadenas productivas, tanto en su competitividad como en el mejoramiento del nivel de vida de los trabajadores quienes son el motor de los sectores económicos, especialmente en el de artesanías por ser intensivo en mano de obra (Vergara, 2017, p.10).

En relación con lo anterior, la caña flecha, es un material representativo de toda una cultura a nivel nacional, principalmente cultivado por los indígenas Zenú, Martínez et al. (2020), identifican esa comunidad como un pueblo que conserva como tradición la producción de

artesanías y está ubicado en la región Caribe al norte de Colombia; en los departamentos de Córdoba, Sucre y norte de Antioquia (p.50).

Es importante explorar el potencial que presenta ese insumo frente al desarrollo e innovación arquitectónica, especialmente en el ámbito de estructuras plegables; las cuales tampoco se ven reflejadas comúnmente como hechos arquitectónicos; abrir campo a una alternativa innovadora dentro de la arquitectura contemporánea, enriqueciendo los métodos de construcción tradicionales de la región, mediante soluciones fácilmente aplicables con bajo impacto ambiental. En la medida que proporciona una nueva alternativa arquitectónica; reforzando el construir, el habitar y la apropiación cultural de los materiales de la zona.

Esta investigación centra su interés, en el diseño de estructuras plegables; la ligereza y la capacidad de ser modulable, orientado a mejorar el trabajo existente, contribuye información técnico-práctica acerca del diseño y construcción de un prototipo de estructura plegable en caña flecha, las posibles soluciones en que la arquitectura tradicional se mezcla con la arquitectura transformable y permite desarrollar un elemento funcional e innovador; estableciendo un perfil cultural que promueva la labor creativa, instituyendo una amalgama entre el diseño de estructuras plegables y materiales locales.

Abordar esta temática desde lo académico, crea precedentes ante otros proyectos que pretendan una exploración más exhaustiva acerca de las estructuras plegables en Colombia, la caña flecha y su tratamiento como material constructivo bioclimático y sustentable dentro de la región.

En el aporte metodológico, desarrolla un proceso creativo para la formación y creación de futuros proyectos, estas contribuciones proporcionan a otros profesionales o estudiantes de la arquitectura, las bases constructivas para elaborar diseños similares y mejorar el tratamiento para el aprovechamiento de la materia prima en la región (caña flecha), aporta posibilidades en la correcta aplicación de estas teorías en nuestro contexto, además de viabilizar una nueva opción

para implementar una arquitectura efímera, espacios transformables como sistemas de apoyo de arquitecturas de emergencia.

Todo el proceso investigativo se divide en cuatro capítulos: el capítulo I, describe el problema de investigación, la justificación y los objetivos del proyecto; el capítulo II, puntualiza el marco de referencia, antecedentes de la investigación, marco conceptual, y marco referencial del proyecto; en el capítulo III, se especifica el diseño o marco tecnológico del proyecto investigativo, describiendo en este, los materiales y métodos empleados en este desarrollo tecnológico.

Finalmente, el capítulo IV, plantea los resultados del estudio dividido en las tres fases que se describen en el capítulo anterior: la fase exploratoria, que residió en el análisis y recolección de datos bibliográficos que sustentaran la teoría de la investigación, lo cual proporcionó los métodos para el diseño; la segunda fase, es la fase de pruebas y análisis de diseño, mediante la experimentación con modelos de trabajo de las metodologías de diseño estudiadas, los resultados de la tercera fase culminaron en la elaboración de un prototipo en escala 1:1 de un espacio transformable y finaliza con conclusiones de todo el proceso de la investigación.

1 Capítulo I: El problema

1.1 Diagnóstico de la necesidad

Desde el punto de vista de Torres y Alkim de Matos (2018) una estructura desplegable, es una estructura que presenta movimiento total o parcial de sus elementos, a partir de mecanismos para obtener una nueva configuración o aumento de volumen; estas, pueden ser modificadas según las necesidades del diseño, logrando ventajas como ligereza, modulación de elementos, facilidad en el montaje, eficiencia estructural y compacidad para un cómodo almacenamiento o transporte a una nueva ubicación. (p.23)

Es un hecho, que las innovaciones tecnológicas han conquistado un amplio campo en la búsqueda de nuevos métodos constructivos, que permitan generar espacios versátiles y rápidos de construir y de este modo, generar nuevas posibilidades de transformación del espacio arquitectónico. Alrededor del mundo, se han abierto nuevas perspectivas desde el ámbito de la innovación; es posible encontrar en nuevas patentes alternativas de estructuras plegables dentro y fuera de la arquitectura, desde sistemas de estructuras de emergencia, edificaciones, cubiertas, domos, hasta antenas satelitales o espaciales, mecanismos de apoyo médico, juguetes etc.

En este sentido, dentro del campo de las estructuras plegables en Colombia; encontramos variedad de empresas en el mercado dedicadas a la elaboración de estructuras plegables, desarmables, especializadas en el diseño y producción de textiles, membranas arquitectónicas, sombrillas, parasoles etcétera, pensadas para ubicarse en cualquier tipo de superficies y climas, las empresas más populares se ubican en su mayoría en el interior del país, algunos ejemplos de ellas son: Cubrimientos sol y luna; desde 2013, Carpas full de Colombia; desde 2002, ambas empresas bogotanas; Carpas y estructuras; desde 2007, Carpas Inducarpas; desde 1963, Carpas Macías, éstas ubicadas en Medellín; Carpas mundial; una empresa caleña, Toldar S.A.S y World Myd Solución

Mobiliaria Y Tecnológica; ubicadas en Bucaramanga y Carpas Alianza Ltda. ubicada en Palmira. Los últimos 6 ejemplos cuentan con sedes en la ciudad de Montería.

En este orden de ideas, de acuerdo a Bautista et al. (2021), nacionalmente la mayoría de empresas dedicadas a la elaboración este tipo de estructuras o similares, emplean el metal como materia prima; el metal que se produce no basta para cubrir la necesidad de abastecimiento; lo cual, representa inconvenientes respecto al costo de producción por la demanda de material que se produce, adicional a esto; la emergencia sanitaria, ha provocado a los proveedores una baja producción e incremento en el precio del material.

Colombia cuenta con 5 plantas siderúrgicas que producen alrededor de 1,4 millones de toneladas de largos de acero (varillas y alambrones) que no son suficientes para abastecer la demanda de todas las empresas del país (Bautista, et al. 2021, p.5).

Por su parte, el PEDCTI de Córdoba (2012) por ejemplo, señala que, en el mismo departamento hay poca innovación frente al sector de la construcción, y ninguna utilización de materia prima local para el desarrollo de construcciones sostenibles conforme al medio ambiente; las cuales generalmente no reúnen condiciones de confort ni atienden a las condiciones climáticas y culturales de la región (p.27).

Desde otra perspectiva, el Plan Estratégico Departamental de Ciencia y Tecnología de Sucre -PEDCTI (2013) centra su interés en la producción de madera, dejando una brecha en cuanto a la debilidad en la cadena productiva de caña flecha, sin embargo, resalta la necesidad de desarrollar y estudiar medios, tecnologías y técnicas de innovación que a su vez permitan; reducir, manejar y reciclar desperdicios y puedan impulsar la comercialización de muebles. (pp. 282-283).

Martínez et al. (2020) Indicó que la viabilidad de incorporar la caña en el diseño y artesanado es una alternativa de innovación y desarrollo, con potencial para competir con la cadena productiva de la madera.

En esta línea, la caña flecha; se asocia con la cultura indígena Zenú; las hojas de esta planta conforman la materia prima para la fabricación de artesanías, como bolsos, carteras, pulseras, y la artesanía más distintiva: el Sombrero Fino Vueltiao, icono de representación cultural nacional; de acuerdo a Durango, et al. (2017) en la producción de artesanías se emplea mayormente la hoja, y se generan subproductos como el tallo, lo cual genera cierta cantidad de residuos que podrán ser aprovechables y evitarían la pérdida de su producción.

En la región y mayormente en zonas rurales, era habitual, y aún se emplea el tallo de la caña flecha para la elaboración de casas, trojas y cielos rasos, sin embargo; a medida que pasan los años se evidencia un desuso de este material para la construcción. Para Vergara, (2017) la cadena productiva de la caña, para la creación de las artesanías se realizan por tradición y proporciona un pobre sustento, por esta razón, los artesanos y constructores prefieren fijar su mirada en sólo las formas que conocen para trabajar con este insumo (pp. 9-10); Por lo que se puede afirmar que “A pesar de ser muy reconocida como materia prima para la producción de artesanías Zenú, en Colombia existe muy poca información al respecto de esta especie.” (Martínez, et al., 2020, p. 206).

Por esta razón, la innovación y la inclusión de nuevas técnicas o formas constructivas, y en este caso la aplicación de las estructuras plegables empleando la caña flecha como insumo principal, puede resultar significativo a la hora de mejorar la cadena productiva de la caña flecha en la región.

En cuanto a la aplicación de estructuras desplegadas, SMiA (*Structural Morphology in Architecture*) es un grupo de arquitectos investigadores, que han realizado sistemas enfocados en la morfología de estructuras ligeras y sus aplicaciones reales, mediante el uso de herramientas y técnicas digitales de diseño paramétrico. No obstante, y pese a la amplitud en referentes teóricos, siguen siendo pocas las referencias construidas.

Para Avellaneda, (2020) son conocidas aplicaciones parciales del sistema, como por ejemplo pieles o fachadas, pero pocas estructuras desplegadas como objetos habitables. Es posible que la problemática surja, debido al procedimiento llevado a cabo durante los procesos de construcción; en cuanto a los cambios de escala en modelos de trabajo a escala real, donde aumenta la complejidad de los nudos y articulaciones, es decir principalmente por cuestiones técnicas y de diseño, (p.4). Guzmán (2018) reafirma esta opinión; señaló que a la hora innovar en la construcción de este sistema estructural, las uniones son el punto fundamental que determinan la eficiencia, o ineficiencia en los movimientos de despliegue de la estructura.

Del mismo modo, Morales (2016) reválida que las estructuras desplegadas abren paso a la innovación y brindan posibilidades tecnológicas, sin embargo, son poco utilizadas porque su manufactura suele llevar cierto grado de complejidad (p.90).

Es importante, realizar aplicaciones arquitectónicas a escalas reales de estructuras desplegadas habitables, de lo contrario, esta tendencia de no experimentar con modelos habitables de estructuras ligeras persistirá.

Para Mercado, Morales (2019) Menciona el método de modelo combinado con la geometría y las ventajas que este ofrece, una de estas es que se realizan sin necesidad de usar softwares externos para comprobar su funcionalidad y puede ser de gran utilidad por permitir la exploración y experimentación de estas estructuras, ya que mediante la experimentación se puede explorar cómo actúa la geometría de las formas en la composición de estas estructuras.

Por otro lado; es necesario atender necesidad de innovación en la cadena productiva de la caña flecha, y las posibilidades de su uso como material constructivo, de no atender esta brecha, los departamentos de Córdoba y Sucre, posiblemente seguirán estancados en materia de innovación, ignorando la importancia de la arquitectura en relación con los componentes sociales y culturales.

Es necesario reinterpretar la técnica de estructuras plegables aplicadas a la caña flecha, teniendo en cuenta el aspecto ambiental y tecnológico en el diseño de estructuras plegables y ligeras, recuperando elementos de la arquitectura tradicional; y en consecuencia, demostrar que con una estructura desplegable en caña flecha se pueden generar espacios efímeros, transformables, con eficiencia estructural y con una mejor calidad del ambiente y de esta manera mejorar la productividad de este material en la región.

A partir de lo anterior se plantea la siguiente pregunta problema:

¿Cómo es posible vincular un material tradicional de la región como lo es la caña flecha en el desarrollo y construcción de una estructura de barras plegables?

1.2 Objetivos

1.2.1 General

- Desarrollar un prototipo de espacio arquitectónico a partir de una estructura de barras plegables en caña flecha (*Gynerium sagittatum*).

1.2.2 Específicos

- Analizar la morfología de los elementos desplegados para su aplicación en el desarrollo de un prototipo de espacio arquitectónico con base en la caña flecha.
- Explorar la caña flecha como material constructivo para el desarrollo de estructuras plegables.
- Desarrollar un proceso constructivo para un prototipo de estructura de barras plegables en caña flecha y sus posibles aplicaciones.

2 Capítulo II: Marco de referencia

2.1 Antecedentes de la investigación

Es probable que los orígenes de la arquitectura desplegable no estén exactamente documentados desde sus inicios, Crespo (2017) refiere que esto se debe a que su proceso se desarrolló en distintas maneras y en diferentes partes del mundo.

Sin embargo; algunos autores como Muñoz (2001) relacionan los antecedentes con la arquitectura transformable, y las técnicas de construcciones desmontables y ligeras elaboradas a partir de pieles de animales y cuerdas sujetas a estructuras de ramas empleadas por los primeros pueblos nómadas y aborígenes en el periodo paleolítico.

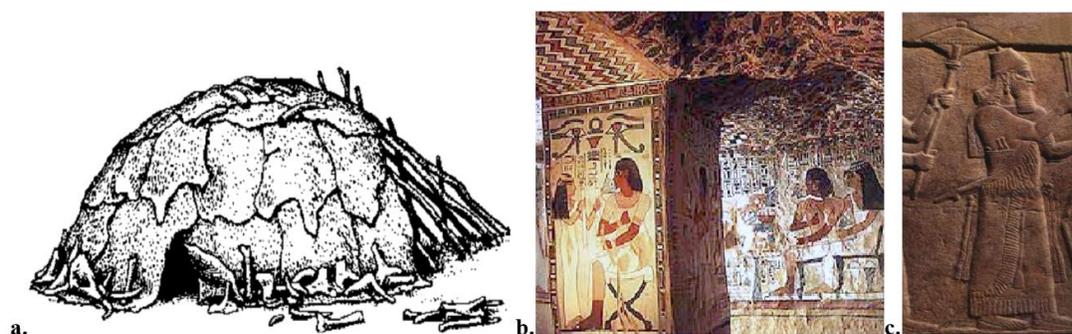
Para Torres y Alkim de Matos (2018), estos sistemas fueron aplicados en la construcción de refugios temporales a partir de conceptos basados en formas de la naturaleza, para diseñar viviendas ligeras, plegables y de rápido montaje, estructuras que, en el transcurso del tiempo, fueron resultando con formas semiesféricas orientadas a cónicas.

Así mismo y de acuerdo a Muñoz (2001), en los campamentos militares temporales de los egipcios, se elaboraban tiendas con cañas y palmeras, cuyos métodos constructivos aún se desconocen. Las aplicaciones antiguas conocidas de estructuras plegables, no solo se relacionan con temas de construcción, una muestra de ellos son algunos gráficos egipcios donde se muestran sillas de tijera, como por ejemplo en una terracota babilónica que data del 2.000 a.C. y, otro ejemplo es un relieve egipcio (obelisco negro 820 a.C.) donde se observa la sombrilla que cubre el rey Salmanasar III.

Figura 1

Referencias En La Antigüedad De Estructura Plegables

a) *Primeras Tiendas En Periodo Paleolítico.* b) *Silla De Tijera En Gráfico De Terracota Babilónica* c) *Relieve Egipcio Evidenciando Sombrilla Plegable*

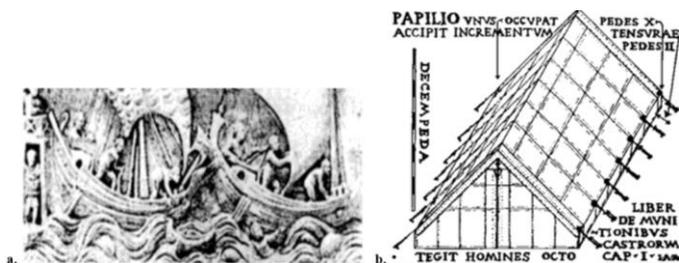


Fuente: Muñoz (2001).

Según Muñoz (2001) puede afirmarse, que las técnicas romanas de estructuras temporales estuvieron inspiradas en las técnicas de plegado de las prácticas navales, realizadas por los vikingos para desplegar o recoger las velas que impulsaron sus embarcaciones de guerra y esto se puede evidenciar primero, en las tiendas de campamento militar (*las papilio*), aproximadamente en el año 100 a.C. y segundo en el "El Velum o velarium Romano".

Figura 2

a) *Pintura Sobre Piedra Hallada Al Sur De Suecia Evidenciando Velámenes Vikingos.* b) *Papilio Romano*

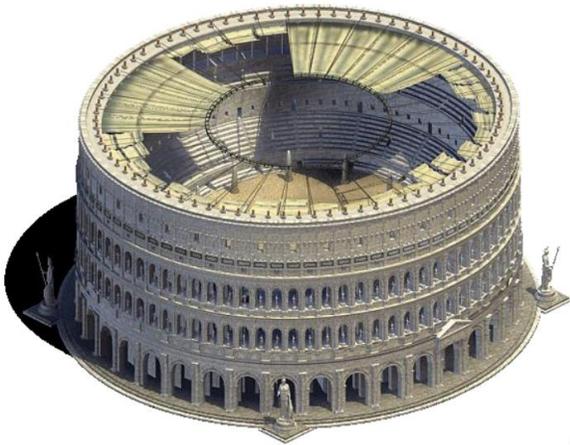


Fuente: Muñoz (2001).

Según Avellaneda (2020) "El Velum Romano" era una cubierta móvil que se empleó para proporcionar sombra a los espectadores en verano, estaba ubicado en la parte superior del coliseo y se trató de una estructura en madera acompañada de textiles y cuerdas que se movían radialmente.

Figura 3

El Velum O Velarium Romano

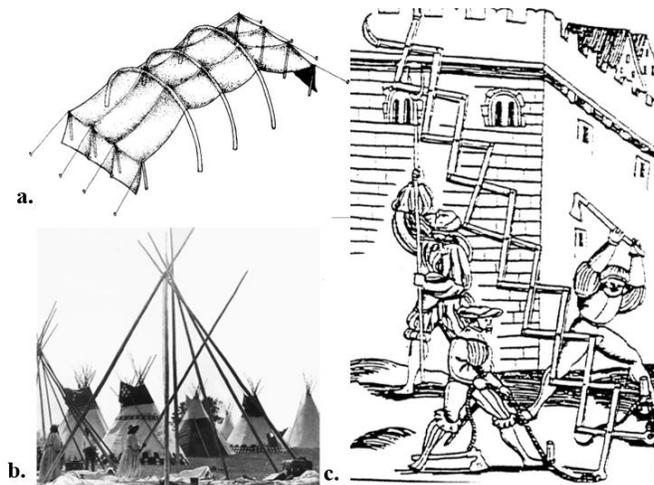


Fuente: Avellaneda (2020)

Para Muñoz (2001), los espacios transformables y las formas que adoptan se relacionan a las necesidades que se presentan, en Norte América, por ejemplo, los pueblos indígenas desarrollaron viviendas desmontables, que podían transportarse atadas a los caballos, se trataba de semicircunferencias armadas con varas y cubiertas con piel de bisonte; en Afganistán, implementaron tiendas con arcos hechos consiguiendo la forma de bóvedas.

Figura 4

Ejemplos De Estructuras Desplegables En Diferentes Partes Del Mundo

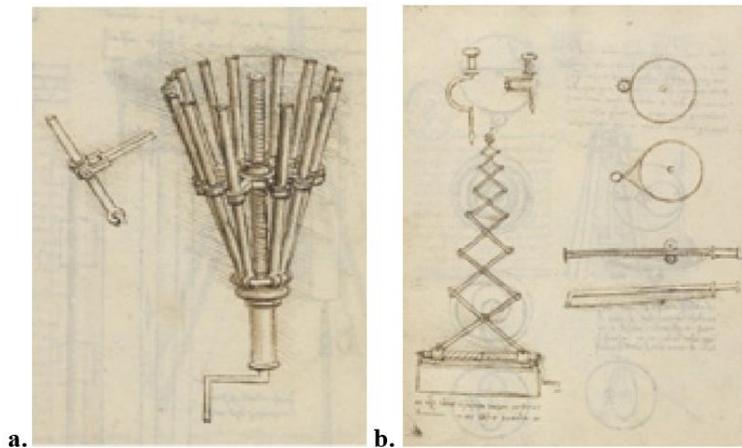


Notas: a) Ejemplo De Arquitectura Temporal: Tiendas Nómadas En Afganistán Bóveda De Barril Con Arcos Formados Con Ramas. b) Viviendas desmontables en Norte América. c) Máquina De Asedio Medieval. Fuente: Muñoz (2001)

Posteriormente, las investigaciones de Crespo (2017), refieren que Leonardo da Vinci en el siglo XV, habría realizado estudios y documentado mediante dibujos de lo que se conocen como los primeros documentos detallados de estructuras no convencionales, y mecanismos plegables.

Figura 5

Dibujos De Leonardo Da Vinci De Mecanismos Desplegables En El Siglo XV.



Fuente: Crespo, 2017.

Buckminster Fuller, (1895-1981) que, con base a Muñoz (2001) es considerado por muchos como el padre de los sistemas desplegados, inicia una serie de investigaciones en 1945, acerca de arquitectura de emergencia, y en 1953 elabora una serie de cúpulas geodésicas plegables.

Sin embargo; para autores como Puertas (1990) el mayor desarrollo de las estructuras desplegadas inició en los años 60, gracias al arquitecto Español Emilio Pérez Piñero, el primer investigador en desarrollar y construir un sistema de estructuras de barras plegables y desmontables entre 1961 y 1972. Dedicó once años de carrera profesional en definir propuestas de posibles estructuras para cada mecanismo y desarrollo de sus obras, basadas en arquitectura plegable.

Las bases tecnológicas de Pérez Piñero, se realizaron a partir de construcciones experimentales y los conjuntos de técnicas que suministraban los mecánicos y artesanos de la época, de acuerdo a Puertas (1989) su desarrollo conocido en cuanto a las estructuras plegables surge a partir de 1961, al momento de ganar un concurso internacional para estudiantes de arquitectura, “Teatro ambulante para 500 espectadores”, en el VII congreso de la U.I.A. En Londres; la idea del proyecto era que la malla pudiera ser transportable y plegable desde un

vehículo. Consistió en un conjunto de planos definidos a nivel de anteproyecto y una maqueta del diseño; una estructura plegable llamada módulo de haz de doble capa.

En el año de 1964, se da a conocer, cuando gana el primer lugar en el concurso para la construcción de un pabellón transportable para exposiciones; por lo que, al momento de su construcción, surge la primera estructura plegable de gran tamaño construida en el mundo compuesta por de barras y cables de doble curvatura.

Figura 6

Ejemplos de Obras de Emilio Pérez de Piñero

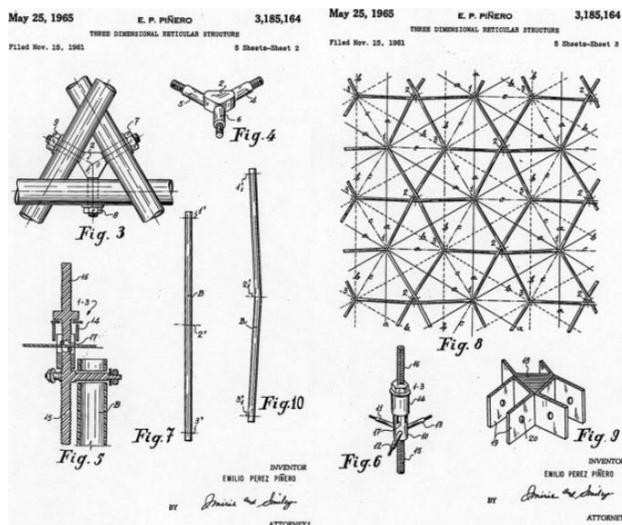


Notas: a) Pliegue y Despliegue del Diseño de un teatro ambulante para 500 personas. b) Teatro de los Festivales 1966. Fuente: Crespo, 2017.

Inicialmente, los primeros diseños de Piñero, se aplicaron mediante la unión de barras por un enlace central, Pérez et al. (2021), manifiestan que el diseño de la estructura se basó en un conjunto de tres o cuatro barras con uniones en el centro, articulados con otros módulos en sus extremos para formar una cuadrícula o malla.

Figura 7

Paquete Y Estructura De Enlace De La Patente De Emilio Pérez Piñero.



Fuente: Pérez, et al. (2021)

De este modo, conforme a Guzmán (2016), Emilio Pérez es destacado como pionero en investigación mundial de estructuras plegable y a partir de su acierto dentro del concurso, logra abrir campo a las investigaciones de arquitecturas plegables y dedicar los próximos años de su vida a las estructuras desmontables, espaciales de barras y plegables suministrando soluciones estructurales y formas de aplicación de estas tipologías estructurales.

En consideración con la breve reseña histórica, pudimos observar cómo ha sido la evolución de las estructuras transformables a lo largo del tiempo, y de este modo orientarnos frente al desarrollo de la arquitectura transformable, la cual ha estado presente en la vida del hombre en la medida que ha diseñado, construido y transformado su entorno de diferentes formas.

2.2 Marco referencial

Con el transcurso de los años, se han elaborado diversos trabajos investigativos acerca de las estructuras no convencionales bajo los criterios de la arquitectura efímera, como es el caso de Ebru Tunç (2015), un estudiante de La Universidad Tecnológica de Delft quien en 2015 realizó

una investigación llamada “Dar forma a una estructura de marco recíproco en madera” con el objetivo de indagar cuáles son las influencias en la forma y la formación de estructuras no convencionales y en específico de los marcos recíprocos; con el fin de obtener información sobre la materia, en este trabajo, se emplearon tres métodos de investigación, primero estudios de literatura; utilizando a O.P Larson como base teórica principal, realizaron un estudio de casos: análisis de elementos y referentes para conocer las limitaciones que presentan las estructuras no convencionales y por último emplearon pruebas de diseño, para así poner en práctica los conocimientos adquiridos por medio de pequeños modelos de tipos básicos de marcos recíprocos y analizar las diferencias y la forma en que funcionan de manera física, este trabajo arroja como conclusión que el tamaño de las vigas influyen en la forma del marco y de sus pendientes mientras que su curvatura está determinada por la forma en la que se conectan los enlaces.

Calvo y Sanz (2011), enfatiza en el estudio de estructuras desmontables y plegables las soluciones matemáticas y utilización de programas de diseño 3D para la definición geométrica y cómo estas relaciones determinan el reticulado de su diseño, el análisis de mecanismos de movilidad, lo cual se ve caracterizado por el empleo de barras curvas o planas. Además, en la fase estructural analiza los estudios de Perez de Piñero, documentando y definiendo los componentes de los sistemas plegables, donde propone varias estructuras posibles para cada mecanismo.

Por otra parte, Guzmán (2016), realizó una investigación acerca del diseño de sistemas transformables, con el objetivo de elaborar un modelo experimental y estudiar las características de las estructuras plegables y retráctiles.

La metodología empleada en esta investigación, inicia con una fase de análisis de referentes, para generar aportes teórico-prácticos a la hora de elaborar la metodología y crear las hipótesis de diseño, comparando las estructuras para analizar el porqué del origen de los métodos que se han utilizado, y la fase de experimentación. Se analizó el sistema retráctil de paraguas gracias al diseño paramétrico, los resultados arrojaron la necesidad de 4 brazos adicionales al sistema original, y que la membrana textil debe estar bien diseñada ya que contribuye a la estabilidad del paraguas.

El modelo experimental consistió en la construcción de un paraguas retráctil de 4 miembros. En su investigación, describe el proceso y las etapas en el desarrollo de las estructuras transformables y los divide en cuatro fases, la primera etapa es la flexibilidad, la estructura debe tener la cualidad de flexible para adaptarse a otros requerimientos, la segunda etapa es la prefabricación, el uso de materiales resistentes, ligeros y prefabricados permiten construir espacios en corto tiempo, ser aplicable a varios usos y ajustarse a distintos medios, en la etapa de transformación Guzmán (2016) concluyó que “se realizan pocos debido a su complicado sistema de manufactura y análisis estructural” (p. 100), aunque las estructuras plegables tienen la capacidad de adaptarse a los espacios para transformarlos y darles multifuncionalidad,

Figura 8

Prototipo De Paraguas Retráctil.



Fuente: Morales, 2016.

Más adelante, Morales (2018) estudia a través de la adecuación geometría descriptiva, la simulación del diseño de los detalles experimentales en el diseño mediante uso de softwares 3D de una cubierta hiperbólica plegable tensada, y así interpretar los movimientos del sistema y diseñar un elemento flexible y transportable empleando una piel de tenso-estructura. En esta investigación, también se emplearon modelos físicos a escala para demostrar la funcionalidad con tres hileras de tijeras para desarrollar un elemento estable aproximado, sin embargo, para este diseño se buscaba mayor diámetro de abertura, sin complicar la estabilidad.

Figura 9

Forma Final del proyecto de investigación de una hipérbola plegable tensada

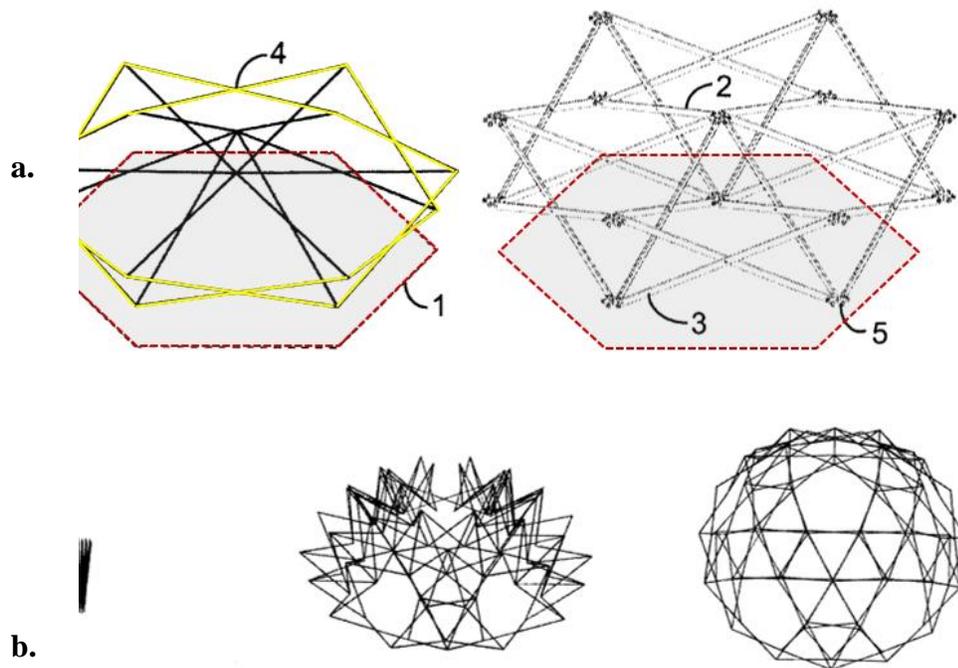


Fuente: Morales, 2018.

Por otra parte, en el libro “Sistema de estructuras desplegadas con barras rectas para cúpulas”, Avellaneda et al. (2018), desarrollan un sistema de rápido montaje para cúpulas, el módulo consta de seis pares de tijeras simples, de barras rectas y del mismo tamaño con unión asimétrica, unidas para conformar el hexágono base y a su vez articuladas con unas conexiones diseñadas por los autores que permiten al conjunto de módulos grados de libertad y movimiento controlado, el cual puede plegarse de manera lineal y desplegarse para formar una cubierta ligera, que posteriormente puede fijarse mediante una cubierta textil, adquiriendo la cualidad de una arquitectura temporal o portátil según sea el caso.

Figura 10

Proceso Geométrico Para La Conformación De Barras Rectas Para Una Cúpula.



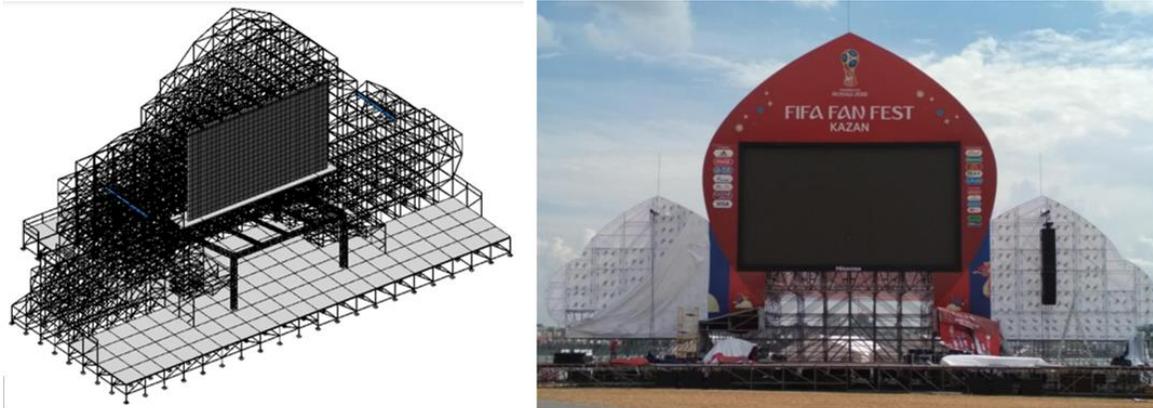
Nota: a) Proceso Geométrico Para Definición Final Del Icosaedro Truncado. b) Proceso De Despliegue Del Domo De Izquierda A Derecha.

Fuente: *Sistema de Estructuras Desplegables con Barras Rectas para Domos* por Avellaneda et al. (2018)

Para el estudio de la viabilidad en el uso de estructuras de barras móviles espaciales, la construcción de edificios temporales, (Engineering, 2019), elaboró un estudio experimental a partir de la construcción de unos edificios plegables durante y después del evento (Copa Mundial FIFA 2018). Los esfuerzos y movimientos de la estructura, fueron monitoreados teniendo en cuenta la inexistencia de cimentaciones y su efímero periodo de funcionamiento. En dicho estudio, se resaltó el potencial de diseños diversos, la rapidez de montaje y desmontaje debido a la facilidad de ensamble de los elementos de conexión, demostrando como ventaja principal la economía y ligereza del diseño.

Figura 11

Edificio Plegable Empleados Durante La Copa Mundial FIFA 2018



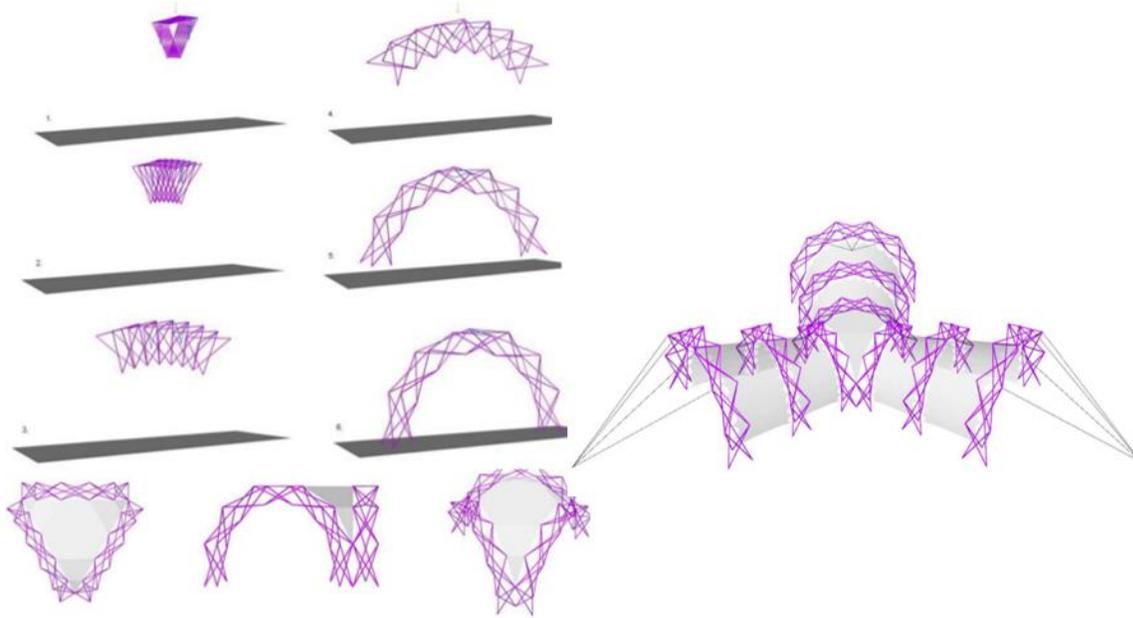
Fuente: Engineering, 2019.

Avellaneda (2020), es miembro y cofundador del grupo de investigación SMiA (Structural Morphology in Architecture); se enfoca en el estudio de estructuras no convencionales en la arquitectura. En su tesis doctoral, relata los trabajos más distintivos de estructuras desplegadas en específico el sistema de barras rectas, analizó y clasificó las estructuras desplegadas, con lo que después propone modelos de simulación y movimiento de estos; con el objetivo de aplicar el diseño paramétrico en dos casos de estudio y en la construcción de prototipos a escala 1:1 proponiendo soluciones constructivas y fomentando la aplicación de estas estructuras en la arquitectura. El primer resultado fue la construcción de un domo plegable de 30m² y el segundo el *pabellón Vértex*.

El proyecto “*Pabellón Vértex*” de grupo SMiA fue el resultado constructivo a escala humana de las investigaciones de Avellaneda (2020), publicado por (SMiA Morfología Estructural en Arquitectura, 2019) este, obtuvo el primer lugar en el Premio Nacional de Arquitectura Efímera en España, 2019, y en el Concurso de Diseño Estudiantil de Estructuras de Tela en Orlando, Florida el mismo año. Se trata de un conjunto de 12 arcos desplegados compuestos por 7 módulos triangulares dos caras con barras de articulaciones asimétricas y una cara simétrica; emplea el uso de cables y anclajes.

Figura 12

Diseño Paramétrico Del Pabellón Vértex.



Fuente: Avellaneda, 2020.

Figura 13

Pabellón Vértex.

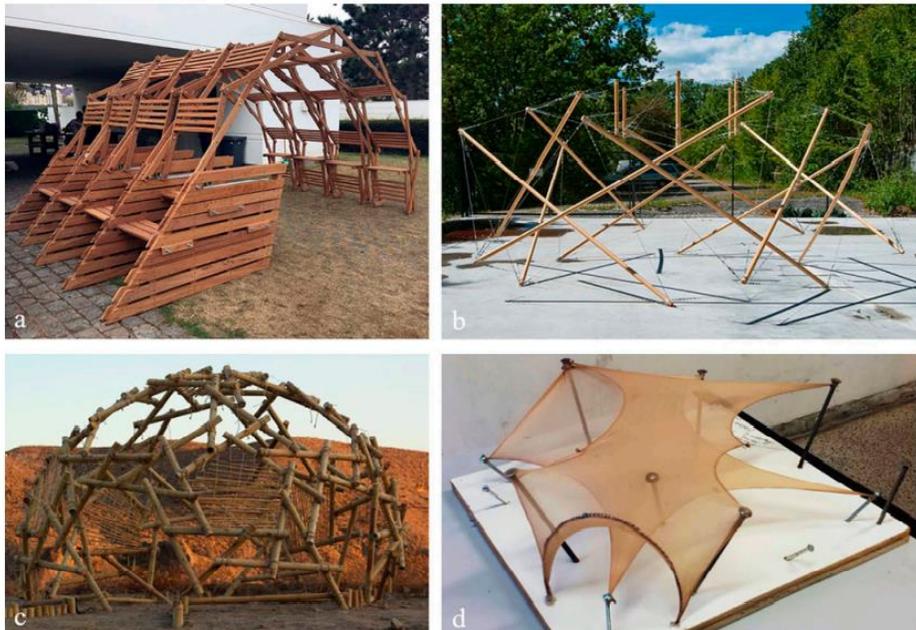


Fuente: SMiA Morfología Estructural en Arquitectura, 2019.

Torres L & Alkmim de Matos (2018) muestra el modelo desplegable tipo tijera, como una alternativa sencilla de diseño transformable y modular. Su método de trabajo se basa en la experimentación mediante modelos a escala, software de diseño e impresiones 3D, que se incorporan en los enlaces. Los diseños finales resultan en ligeros y plegables pabellones de madera, aplicables a diferentes utilidades.

Figura 14

Estructuras No Convencionales. Proyectos Desarrollados Por Smia.



Nota: A) Estructura Desplegable. Pabellón “Xuê”. Brasil. B) Estructura Tensegrity. Prototipo TG3. Alemania. Fuente: www.smia-experimental.com citado en Torres y Alkmim de Matos, (2018)

2.3 Marco conceptual

En el presente capítulo, se elaboró una revisión acerca de los conceptos base que sustentan el presente trabajo, se contemplan los siguientes conceptos:

2.3.1 Estructura

Para este trabajo, podemos entender este concepto como un sistema o conjunto de elementos que unidos tienen la función de soportar las cargas, peso o mantener en pie un objeto permitiendo su correcto funcionamiento, se puede encontrar mayormente en las construcciones de edificios, puentes, viviendas, etc. soportando las cargas vivas y muertas.

2.3.2 Estructuras recíprocas

Son aquellas estructuras que pueden ser estáticas o dinámicas, se componen de piezas que, apoyadas entre sí, forman la estructura mediante el equilibrio que se genera por la fuerza aplicada entre ellas, es decir un elemento va soportando al anterior, estas piezas pueden sostenerse por sí mismas o se puede mejorar su eficiencia mediante uniones o amarres.

2.3.3 Estructuras temporales

Para Avellaneda (2020) es importante recordar que las “Estructuras que son temporales, no por su durabilidad en el tiempo sino por su opción de ser montada y desmontada en un lugar, para luego ser transportada y montada y desmontada en otro lugar” (p.7).

En el contexto de este estudio las estructuras temporales son elementos arquitectónicos cuya principal característica es su flexibilidad. Son transformables, cambiantes, transportables, y pueden ser montados y desmontados para generar espacios habitables en tiempos de montaje reducidos.

2.3.4 Barras y planos

Son aquellos elementos que unidos entre sí conforman el sistema de la estructura. De acuerdo a Torres y Alkmim de Matos (2018), son las piezas que componen los mecanismos de la tijera, si dos barras o planos son articulados ya sea en un punto central o excéntrico componen un sistema tipo tijera. En este estudio se constituyen como los elementos estructurales indispensables para el funcionamiento del sistema.

2.3.5 Desmontable

Se considera como la capacidad de separar, fragmentar o dividir un elemento en partes de manera que posteriormente se pueda volver a ensamblar. Con base a Culcas (2020), es la capacidad de desarmar una estructura en piezas individuales permitiendo su rearmado, transporte, manejo, reemplazo o reutilización.

2.3.6 Estructuras desplegadas

En Culcas (2020), el concepto desplegable es definido como la capacidad de movimiento uniforme que poseen las estructuras al variar de un estado compacto a desplegado por medio de ciertos mecanismos aplicados en su diseño de acuerdo a su necesidad, estas cuentan con menor desgaste en sus uniones y pueden compactarse en la menor unidad posible.

Para Gantes (1991), citado en Culcas, (2020) estructuras desplegadas es un nombre genérico, asignado a las estructuras prefabricadas y transformables desde una disposición compacta cerrada, a una forma expandida preestablecida. Mediante dicha estructura se obtiene rigidez, y capacidad de soportar cargas.

Una estructura desplegable es definida por Torres y Alkmim de Matos, (2018) como una estructura con movimiento total o parcial a partir de sus mecanismos con el propósito de aumentar o configurar su volumen, y de este modo, mediante su cualidad transformable adaptarse según las necesidades del diseño,

logrando liviandad y modulación de los elementos, facilidad en ensamble montaje, eficiencia estructural y plegable lo cual facilita su transporte.

A partir de lo anterior, podemos definir a las estructuras desplegadas, como un conjunto de planos o barras, que se unen mediante un nodo o articulación, que según su disposición y mediante el movimiento controlado se puede extender o recoger.

Existen diferentes mecanismos categorizados como estructuras desplegadas, (Hernández, 1987, citado en Culcas, 2020) Las estructuras desplegadas se agrupan en diversos mecanismos, sin embargo, pueden clasificarse dos categorías principales: estructuras de superficie y estructuras de barras (pp.24-33).

2.3.6.1 Estructura de superficie.

En Culcas (2020) se define como estructuras soportadas por una superficie usualmente sometida a tensión. Algunos ejemplos son elementos inflables, estructuras continuas conformadas a partir de planos unidos por algún elemento que conforme una estructura continua.

2.3.6.2 Estructura de barras.

Usualmente, trabajan por compresión, tensión o flexión conectados por uniones e incluso bisagras. Según Culcas (2020) su funcionamiento puede darse por medio de distintos mecanismos señalados a continuación:

2.3.6.2.1 Mecanismo deslizante o de paraguas.

El despliegue de la estructura, reside en una unión cilíndrica que se desliza alrededor de un soporte recto.

2.3.6.2.2 Mecanismo de bisagra o plegable.

Su despliegue se basa en elementos unidos en sus extremos mediante bisagras, posterior a su despliegue final, las uniones articuladas se bloquean y la estructura se comporta como un solo elemento.

2.3.6.2.3 *Mecanismo de tijera o barras articuladas.*

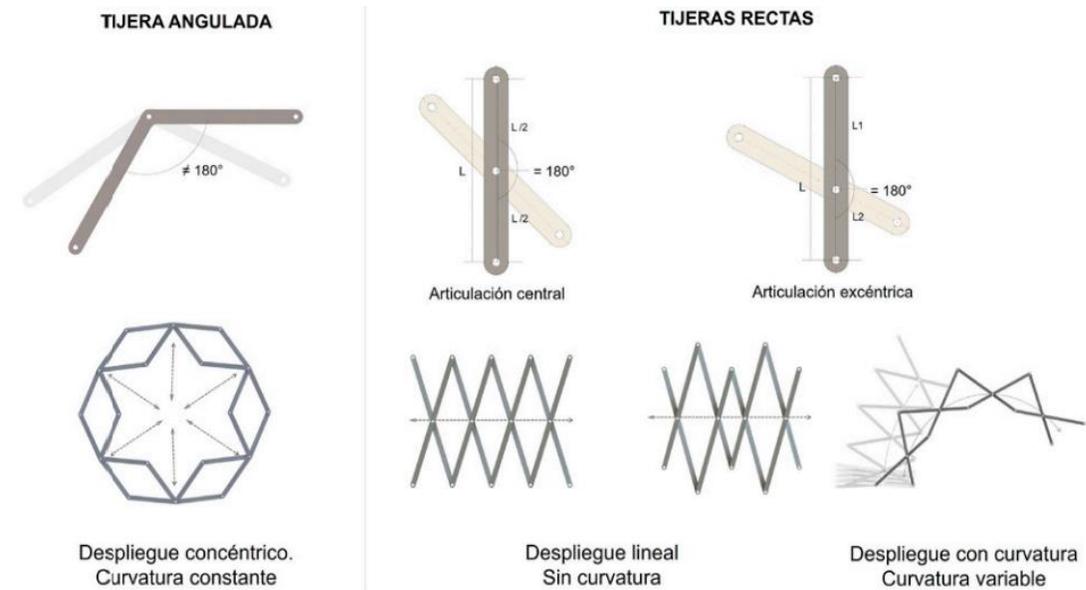
Morales (2021) Define este sistema de tijera, también conocido como “Pantógrafo”, el cual se basa en un nudo intermedio y dos puntos en los extremos, que tienen un grado de libertad total entre las dos barras en un eje perpendicular al plano de la tijera. (pp. 2-3).

Este sistema es definido por Torres L & Alkmim de Matos (2018), como la articulación de dos barras en un punto central, sobre el eje longitudinal de los planos que se articulan (p. 26). Este mecanismo, funciona mediante la articulación de dos elementos firmes y rectos a través de nodos y bisagras de tijera que, junto a las conexiones, limitan el grado de libertad rotacional. El sistema comprende dos formas: estado compacto y estado desplegado. Dentro del mecanismo existen variaciones de diseño de acuerdo a la posición de sus articulaciones que se describen a continuación:

- a- De tijeras rectas con movimiento simétrico: Son elementos posicionados en línea recta con las articulaciones, forman un despliegue sin curvatura y generan un movimiento lineal.
- b- De tijeras rectas con movimiento asimétrico: Los elementos se ubican en línea recta, teniendo como referencia un punto central y así formar un despliegue con curvatura alterable y derivando un movimiento radial pero variable.
- c- Las de tijeras angulares: cuando se compone de elementos que no son rectos, cuando los puntos entre articulaciones se componen por ángulos diferentes a 180 grados, tienen como referencia un punto central que te sitúa el centro del despliegue radial de curvatura constante.

Figura 15

Ejemplo Denominaciones Del Mecanismo De Tijera De Acuerdo A Formas De Despliegue Y Posición De Articulaciones

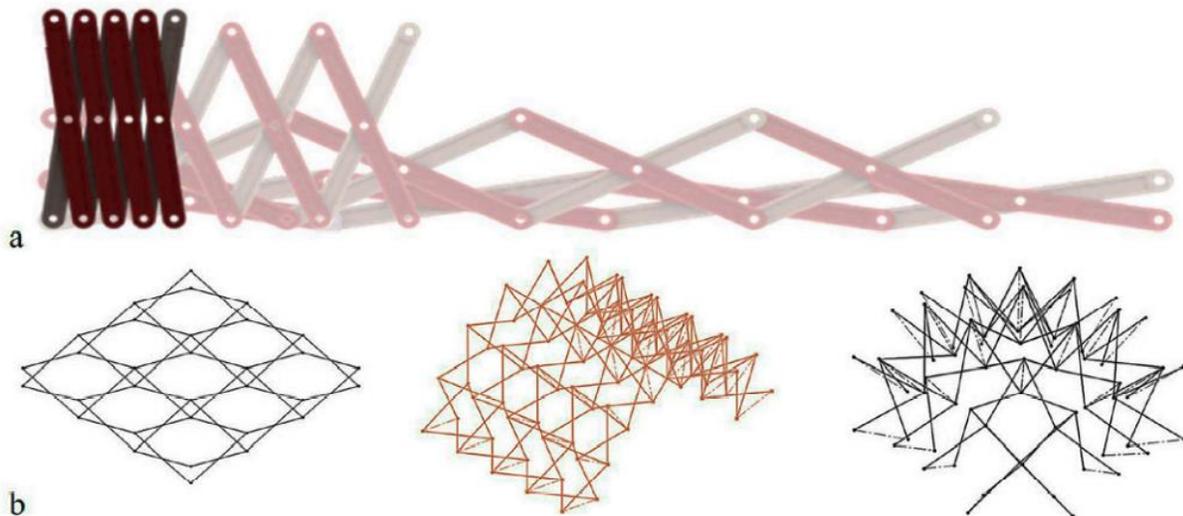


Fuente: *Estructuras desplegables: sistema tipo tijera.* (p.28) por Torres y Alkim de Matos, 2018.

En general, los mecanismos de tijera pueden ser aplicados para desarrollar movimientos de despliegue volumétrico (en varias dimensiones) permitiendo la conformación de mallas mediante módulos diseñados geoméricamente.

Figura 16

Aplicación de mecanismos de tijera.



Nota: a) Agrupación Plana De Módulos De Tijeras. b) Ejemplo De Algunas Configuraciones Espaciales A Partir De Sistemas De Tijera. Fuente: Estructuras desplegables: sistema tipo tijera. (p.28) por Torres y Alkim de Matos, 2018.

3 Capítulo III: Marco tecnológico

3.1 Metodología

La metodología de la investigación es de tipo proyectual (Martínez, 2009; Martínez, 2016), a partir de un enfoque cualitativo, basado en el análisis de los temas relacionados con la calidad, tratamiento y utilización de materiales; así como técnicas constructivas y usos a nivel arquitectónico del sistema plegable. Dichos conocimientos, se pusieron en práctica durante de la experimentación de la estructura y por medio de la elaboración de modelos a escala y digitales, tomando como base softwares en los que se apoyó el diseño del prototipo final.

Metodológicamente el proyecto se desarrolló en tres fases; a continuación, se describen los elementos y técnicas empleados en la investigación:

3.1.1 Fase 1: Exploratoria: Recolección de datos

Se realiza una exploración de documentos relacionados a la investigación, en un límite temporal comprendido entre últimos 5 años (2017-2022) con las siguientes palabras clave: *folding structures, lightweight structures, ephemeral architecture, arrow cane, lightweight structures*; y por medio de búsqueda en bases de datos como: Google académico, Scopus, Google patents, Google trends y Wipo, se obtuvo la materia guía del presente, la cual cuenta con archivos de acceso abierto tales como: tesis doctorales, artículos, libros guías y patentes; con el propósito de dar claridad a la técnica constructiva y funcionamiento del sistema que a implementar.

3.1.2 Fase 2: Prueba y análisis de diseño

Durante esta fase, habiendo hecho un reconocimiento completo de los dos conceptos asociados al trabajo (estructuras plegables y caña flecha como material de construcción); con el objetivo de brindar mayor acercamiento al sistema y explorar los métodos estudiados, se elaboraron pruebas iniciales de pliegue y despliegue de tipos básicos de estructuras plegables; lo que permitió analizar su funcionamiento mediante modelos a escala y modelos digitales en las herramientas SketchUp y AutoCAD, esta experimentaciones permiten la verificación de cada

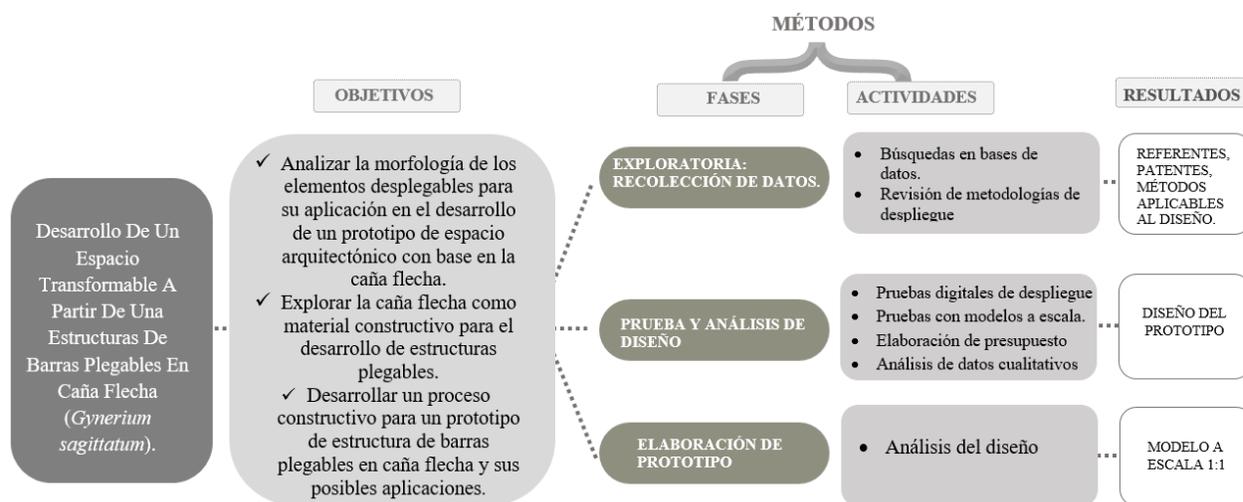
unión de elementos. Dentro de la misma fase, se procedió a elaborar el diseño morfológico del elemento, y finalmente elaborar un presupuesto para el diseño final.

3.1.3 Fase 3: Elaboración de prototipo

Se elaboró el sistema de estructura plegable en escala 1:1, empleando como materia prima la caña flecha (*Gynerium sagittatum*) para su montaje.

Figura 17

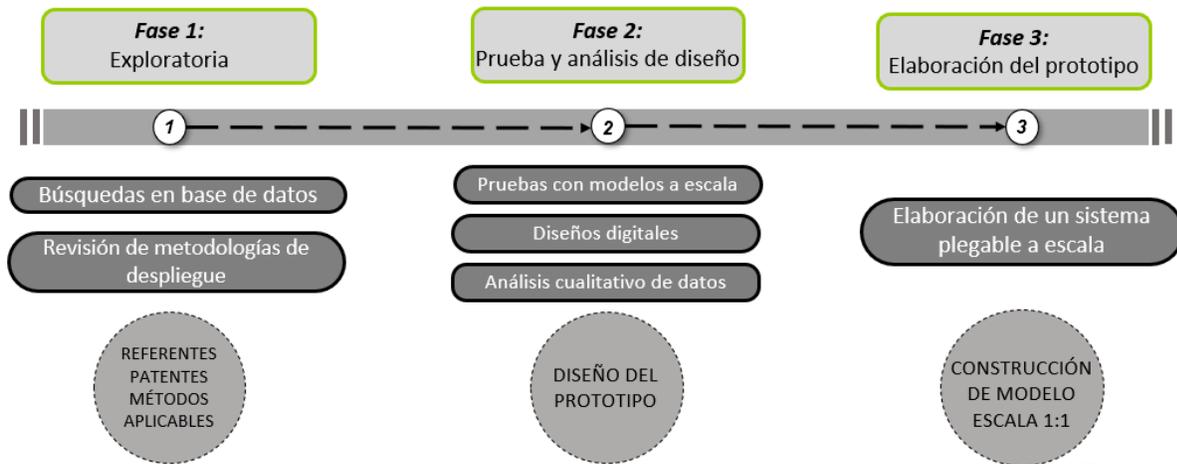
Esquema De Resumen Metodológico



Nota: La imagen anterior representa un resumen de la metodología, explicando las fases, las actividades y resultados del proyecto. Fuente: Elaborado por los autores.

Figura 18

Resumen de Actividades Metodológicas.



Nota: El gráfico muestra en orden cronológico, las actividades desarrolladas en las fases explicadas en la metodología. Fuente: Elaborado por los autores.

3.2 Materiales

A continuación, son señalados los materiales empleados en la investigación durante la fase de diseño morfológico del elemento y de elaboración del prototipo.

Tabla 1

Materiales-Herramientas

MATERIALES-HERRAMIENTAS	
	Palillos de madera, escalímetro, alambre galvanizado o alambre dulce, taladro, lápiz.
Tornillos o Pernos:	Los tornillos funcionaron como amarre entre caña y caña, permitiendo el fácil movimiento de esta estructura, acompañados de sus respectivas tuercas para evitar que se salgan los tornillos y permitir al prototipo funcionar de manera correcta.
Arandelas	Empleadas como elementos de fijación entre el tornillo y la superficie de la caña. Su finalidad es la protección de los tornillos y la prevención de desgaste en las barras de caña.
Taladro	Esta herramienta es importante para poder perforar la caña flecha sin hacerle sufrir un daño que permita que se rompa, así poder introducir los tornillos para su amarre.
Pinza	Funciona como apoyo en caso tal que se necesite sujetar o torcer algo ya que a veces se presentan estos pequeños problemas que no son esperados.
Machete	Es una herramienta opcional en caso que se requiera cortar o hacer algún quiebre en alguna de las barras, para lograr las medidas perfectas
Flexómetro	De vital importancia, requerido para asegurar la correcta longitud de las barras y las distancias precisas de los amarres
Elementos de seguridad	<ul style="list-style-type: none"> - Zapatos cómodos y cerrados. - Mangas y pantalones largos, lentes de sol y guantes (opcional). - Sombrero o gorra. - Agua.

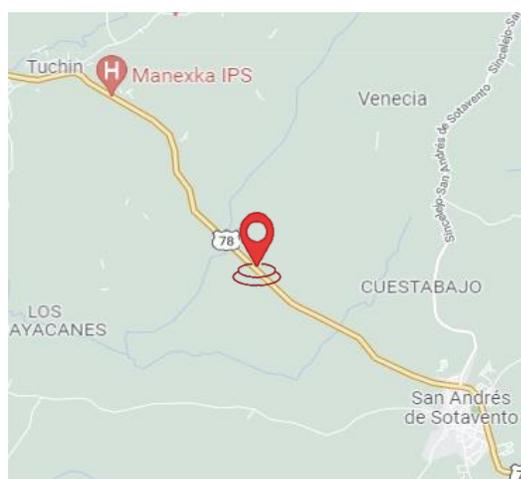
Fuente: Elaborado por los Autores

3.2.1.1 Caña flecha.

El material utilizado para la fase exploratoria y construcción del prototipo fue caña flecha (*Gynerium sagittatum*), de la subespecie Martinera, extraída del municipio de Tuchín, Córdoba.

Figura 19

Localización Cultivo De Caña Flecha



Fuente: (Google Maps)

Figura 20

Mazos de Caña Divididos En Jornales



Fuente: Fotografía Tomada Por Los autores

3.2.1.2 Concepto y características de la especie.

La caña flecha, o también conocida como caña brava, pertenece a la familia Poaceae, de la especie *Gynerium sagittatum*, es un tipo de pasto leñoso y silvestre, similar a la caña de azúcar, en América del sur, se conoce de distintas maneras: caña flecha, caña brava, caña boba, chusque, carrizo, (Durango, et al., 2017).

Casas (2010), describió esta planta, como una caña con un tallo de longitud entre 3 y 6 metros, con nódulos y entrenudos, y que presenta un diámetro de entre 2 y 4 centímetros cuyas hojas llegan a medir entre 1 y 2 metros de largo y 8 centímetros de ancho (pp. 10-12). Es empleada principalmente para la elaboración de artesanías como sombreros, carteras entre otros accesorios y su caña se utiliza como material de construcción en paredes, cercas y cielos rasos, en los departamentos de Córdoba y Sucre.

Figura 21

Vivienda En Caña Flecha. Tuchín- Córdoba



Fuente: Fotografía tomada por los autores.

De acuerdo a Casas (2010), el tallo de la inflorescencia era antiguamente el material utilizado por el pueblo Zenú, para la elaboración de flechas y arpones, lo cual origina su nombre común.

En el departamento de Córdoba, en resguardo indígena de San Andrés de Sotavento, y Tuchín, de acuerdo a (Durango Ballesteros, Pineda Vergara, Canabal Guzmán, & Vanegas Osorio, 2017) se cultivan los tres ecotipos clasificados en base a su calidad para elaboración de artesanías, los cuales son martinera, criolla y costanera.

Figura 22*Variantes De La Caña Flecha**Nota: a) Martinera. b) Costanera c) Criolla Fuente: Durango et al. 2017***Figura 23***Caña Flecha Tuchin- Córdoba.**Nota: a) Inflorescencia. b) Detalle De Muro De Vivienda En Caña Flecha. c) Local De Artesanías
Fuente: Fotografía tomada por Los autores*

Tabla 2

Ecotipos De La Caña Flecha En La Región, De Acuerdo A Su Calidad Para La Elaboración De Artesanías

Ecotipo	Procedencia	Cualidad	Características	Calidad
Criolla	Depto. Córdoba y Sucre	de y Suave flexible	y Tallo glabro, amarillo verdoso, hojas verdes claro. Inflorescencia rosa tenue/ violeta claro al madurar	Alta
Criolla Variante tipo 1	Depto. Córdoba y Sucre	de y Suave flexible	y Tallo glabro, amarillo verdoso, hojas verdes claro. Excelente calidad de fibra. Inflorescencia rosa tenue y violeta claro al madurar, alcanza una longitud de hasta 150 cm.	Alta
Criolla variante tipo 2 (sedita)	Depto. Córdoba y Sucre	de y Suave flexible	y Tallo glabro, color amarillo verdoso, hojas en forma de abanico al final. Excelente calidad de fibra. Inflorescencia rosa tenue/ violeta claro al madurar	Alta
Martinera	Depto. Antioquia	Fibra Rígida y quebradiza	Tallo amarillo verdoso, posteriormente oscuro. Hojas verdes oscuro con cuello de la vaina y vainas pubescentes. Hijas con forma de abanico al final. Inflorescencia blanca, y amarilla al madurar. La fibra alcanza hasta 1 metro.	Media
Costera	Bordes de quebradas, orillas de ríos o mar	Quebradiza	Tallo veloso, amarillo verdoso inicialmente. hojas verdes oscuro pubescentes. Inflorescencia es de color blanco, y amarilla al madurar. susceptible a la época seca	Baja

Fuente: Elaboración propia con base en (Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC), 2009)

4 Capítulo IV: Resultados y discusión

4.1 Fase 1: Exploratoria: Recolección de datos

Esta fase, nos permitió el acceso a conocimientos prácticos y hechos sobre las variaciones de estructuras construidas, dando un análisis exploratorio de los mecanismos de funcionamiento de las estructuras plegables; lo cual permitió vislumbrar qué es una estructura plegable, cuáles son las características que condicionan el movimiento de la estructura y cuales técnicas de construcción son viables para nuestro proyecto, además de estudiar métodos posibles para amarres o uniones entre elementos.

4.1.1 Revisión bibliográfica

Por medio de una cadena de búsqueda comprendida entre los últimos 5 años (2017-2022), dentro de las bases de datos: Scopus, ProQuest, Google Patents y Wipo Patentscope, se elaboró una revisión bibliográfica, comprendida con las siguientes palabras clave: Lightweight structure, temporary building, deployable structure, transformable architecture y caña flecha. A continuación, en la siguiente tabla, se reflejan los resultados en la cadena de búsqueda en bases de datos.

Tabla 3

Resultados Cadena De Búsqueda En Bases De Datos

Cadena de Búsqueda	Scopus	ProQuest	Google Patents	Wipo patentscope
Lightweight structure	65	11	1,540	101,489
Temporary building	5	16	1,620	69,728
Folding structure	170	38	611	323,475
Transformable architecture	10	14	7	225,099
Caña flecha	1	36	0	0
Total	251	115	3,778	719,791

Fuente: Elaborado por los autores.

De este modo se tuvo acceso a 14 fuentes de trabajos investigativos; 8 de ellos artículos de revista, 3 a trabajos de grado y 3 corresponden patentes relacionadas al tema de interés, las cuales posibilitaron aportes teóricos para la presente investigación.

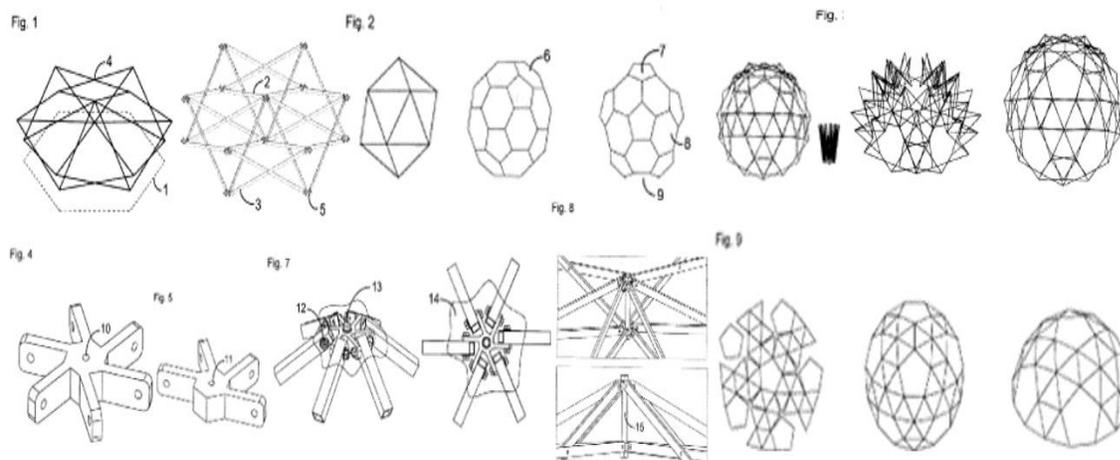
4.1.1.1 Revisión de patentes.

Se realizó una se realizó una revisión de patentes en Wipo PatentScope, Google Patents y Scopus, con el objetivo de conocer el estado de desarrollo en materia de patentes afines a nuestro tema de investigación, a continuación, se describen los documentos más significativos identificados con relación a los términos de búsqueda.

Tabla 4

Patente N° 1

Código: Ca2998771 A1
Título: Estructuras Plegables Con Barras Rectas Para Domo
Descripción: Construcción de cúpulas de rápido montaje con barras rectas de igual dimensiones que al plegarse se compacta de manera lineal para estabilizarse con un revestimiento arquitectónico flexible o rígido. Busca ofrecer soluciones a refugios temporales, invernaderos, escenarios etc.
Método: Figura base geométrica: transformación del icosaedro: 6 pares de barras articuladas en una base hexagonal, los módulos hexagonales están interconectados con movimiento sincronizados
La metodología en que se basa esta patente es similar a la del presente proyecto, ya que también utiliza la geometría de la forma para dar con los puntos de las uniones entre elementos, además de emplear el mecanismo de tijera.

Figura 24*Patente N° 1*

Fuente: Elaboración Propia Con Base A: (Patente n° CA2998771A, 2018)

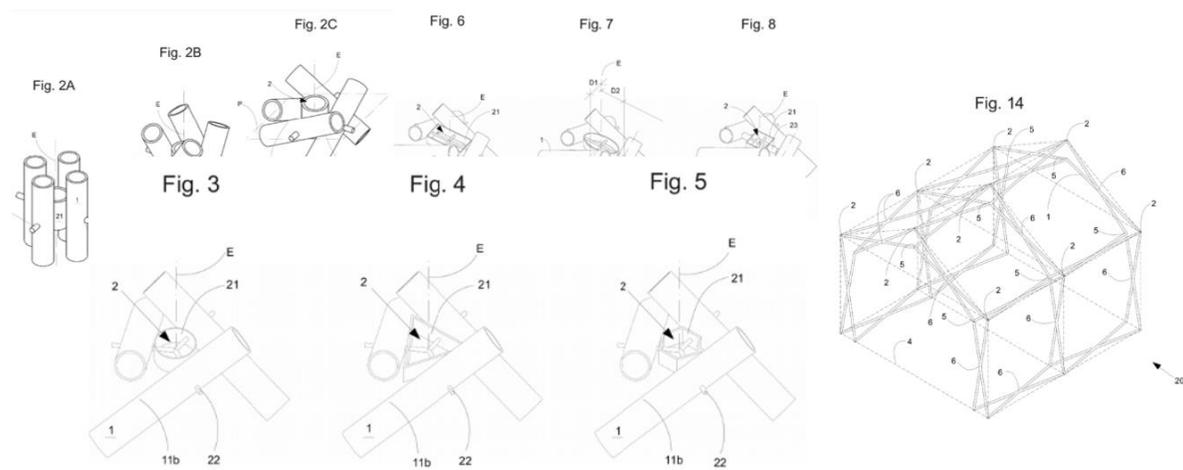
Tabla 5*Patente N° 2*

Código: ES 2 757 982 A1

Título: Estructura Desplegable, Edificación Y Método De Construcción De Una Edificación

Descripción: Esta solicitud de patente, se trata de un método de construcción de una edificación, mediante un sistema de estructura plegable.

Método: Se trata de una estructura desplegable compuesta de una malla de barras y nudos, auto bloqueables con mínimo tres barras están articuladas entre sí. De cada nudo surgen ramas de forma radial, para vincular las barras que, a su vez, se instalan en forma de T. recíprocamente, el apoyo del extremo de una T se conecta con la zona media de la T siguiente Las barras comprenden una zona de apoyo extrema y una zona de apoyo media, la zona de apoyo extrema de una barra está configurada para contactar con la zona de apoyo media de una barra contigua de forma que las barras se apoyan recíprocamente para auto bloquear los nudos.

Figura 25*Patente N° 2*

Fuente: Elaboración Propia Con Base A (*España Patente N° ES 2 757 982 A1, 2020*)

Tabla 6*Patente N° 3*

Código: Es 2 627 037 B1

Título: Estructura Plegable Con Cubierta

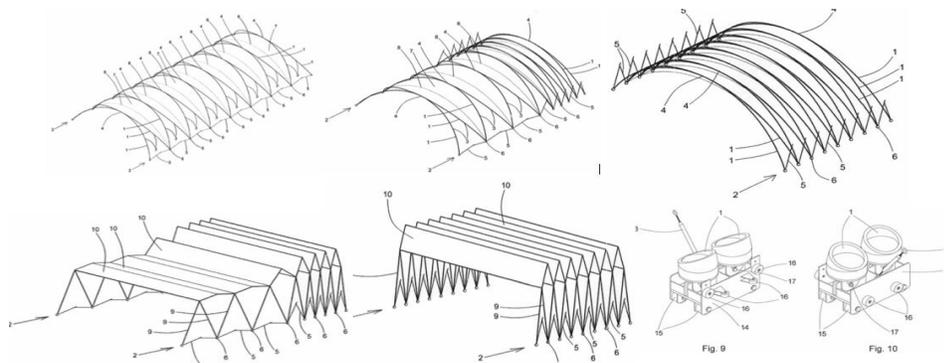
Descripción: Se refiere a un sistema estructural de cubierta desplegable ligera para cubrir recintos que precisen ser cubiertos y descubiertos, de manera estacional o con frecuencia, tales como piscinas o pistas deportivas.

Método: Los arcos o pórticos de cada pareja se unen mediante una conexión plegable superior, y una inferior, compuesta por dos brazos rígidos o pueden ser cables articulados entre sí, por medio de un eje paralelo al extremo de los arcos, y por el extremo libre, se une con el arco contiguo. Para permitir una variación en la inclinación en las parejas de arcos o pórticos, se puede modificar el ángulo formado por los dos brazos que, a su vez, tienen limitado el ángulo de apertura mediante un tope, para permitir el plegado de las estructuras sin tener que manejar dichos brazos.

Es similar en la medida en que los arcos se acomodan en pares y se distribuyen de forma continua formando una bóveda.

Figura 26

Patente N° 3



Fuente. Elaboración Propia Con Base A (España Patente n° ES 2 627 037 B1, 2018)

A partir de la información encontrada, se destaca la posibilidad de implementación o desarrollo de estructuras similares, empleando las diferencias propuestas en el presente documento; ya que los estudiados, no refieren la posibilidad de emplear un sistema de tijeras simple o a través de un sistema modular plegable, empleando la caña flecha (*Gynerium sagittatum*) como insumo principal en la construcción de estructuras plegables.

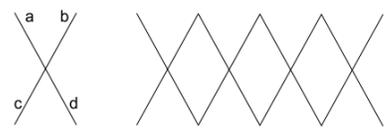
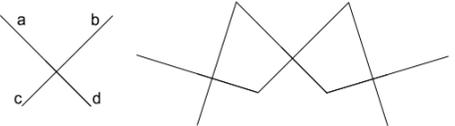
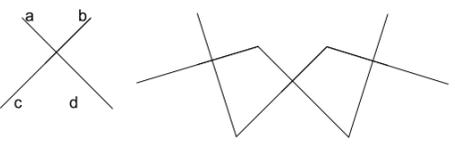
4.1.1.2 Análisis conceptual del diseño.

Con base a las investigaciones realizadas, se obtuvieron los siguientes resultados acerca de los métodos que se han desarrollado para el correcto pliegue y despliegue de las estructuras. Se requieren ciertas condiciones o principios aplicados a las uniones entre barras (tabla 3), que permitirán a la estructura brindar el pliegue y despliegue para la obtención de la forma.

Para analizar la geometría de la estructura se puede realizar una verificación matemática de cómo será el despliegue de las mismas, mediante la distancia de los extremos de las barras hasta las articulaciones, para replicarse en una serie de módulos.

Tabla 7

Formas De Generar Una Estructura Desplegable

Sistema de tijera	Condición Geométrica básica
<p>Figura 27 <i>Formas De Generar Una Estructura Desplegable</i></p> 	<p>Estructura plegable lineal. a = d y b = c que es lo mismo que:</p> <p>a + d = b + c</p>
	<p>Estructura plegable desde un punto inferior o excéntrica. a > d y b > c</p>
	<p>Estructura desplegable con curva negativa. a < d y b < c</p>

Fuente: Elaboración propia con base en Morales, C. C (2018) y Escrig, F. (1988), datos citados en Guzmán (2021).

La tabla 7, describe la metodología para crear las diferentes formas de estructuras desplegables de tijera empleando una teoría de verificación matemática para las articulaciones, lo cual es explicado por Torres y Alkmim de Matos (2018), lo cual se resume a continuación:

1. Es necesario determinar los puntos de articulación de los elementos, para el correcto funcionamiento de pliegue y despliegue se debe cumplir con la siguiente condición de plegado: **a + b = c + d.**

2. Si las uniones entre tijeras son centrales el movimiento de esta será lineal, entre más excéntricas se encuentren las uniones, mayor será la curvatura, por lo tanto, si se requiere mayor luz en el arco modular, deben lograrse tijeras menos extendidas.

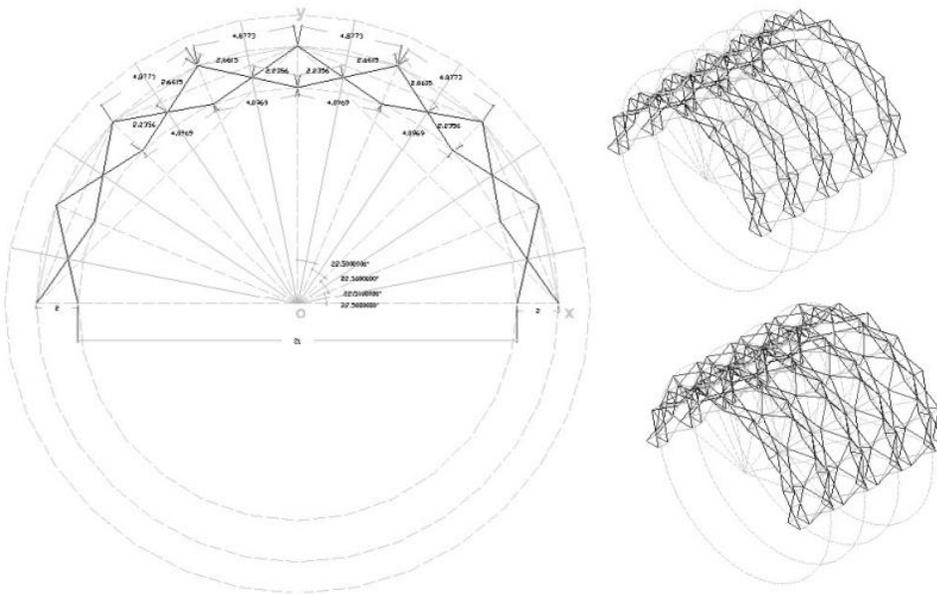
3. De acuerdo a la aplicación de las distintas tipologías de tijera a implementar, se pueden obtener distintas configuraciones de diseño. (p. 29)

Teniendo en cuenta los principios y condiciones expresadas anteriormente, se puede implementar el método de la geometría fractal; concepto descrito por Morales-Guzmán (2013), Morales (2018) como la fragmentación de una figura en repetidas ocasiones, y de este modo, mediante la modulación generar una retícula que a su vez puede ser reproducida varias veces.

Para aplicar este procedimiento mediante la experimentación, es posible realizar una adecuación del diseño con base al método geométrico anterior, explicado concisamente en (Morales Guzmán, 2021) primeramente, se toma la circunferencia como base rectora del elemento, se realiza dentro de si el ajuste de una forma de figuras geométricas; posterior a esto se trazan dos líneas de referencia (coordenadas “X” y “Y”) que parten desde el origen de la circunferencia y a partir de estas continuar dividiendo la figura, estas líneas que marcarán el esqueleto de la estructura con el número de secciones en que se decida dividir el elemento mientras la geometría lo permita, es decir; las líneas marcan las limitaciones y uniones de las barras que conforman cada elemento del primer módulo para su correcto despliegue.(p.3)

Figura 28

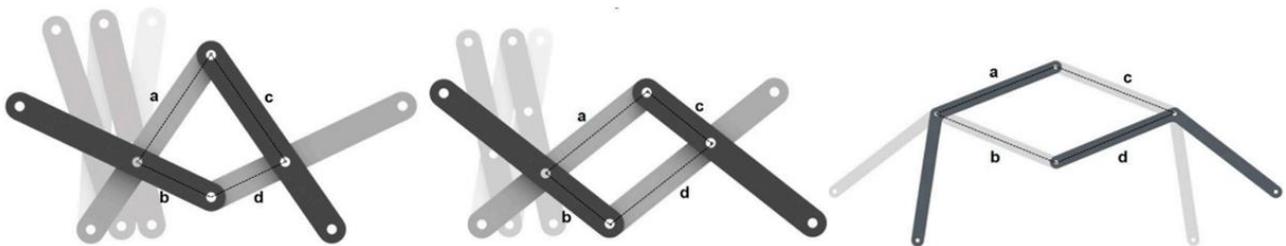
Desarrollo De Una Adecuación Geométrica Generada Por Formas Y Miembros Modulares



Fuente: Morales Guzmán, 2013.

Figura 29

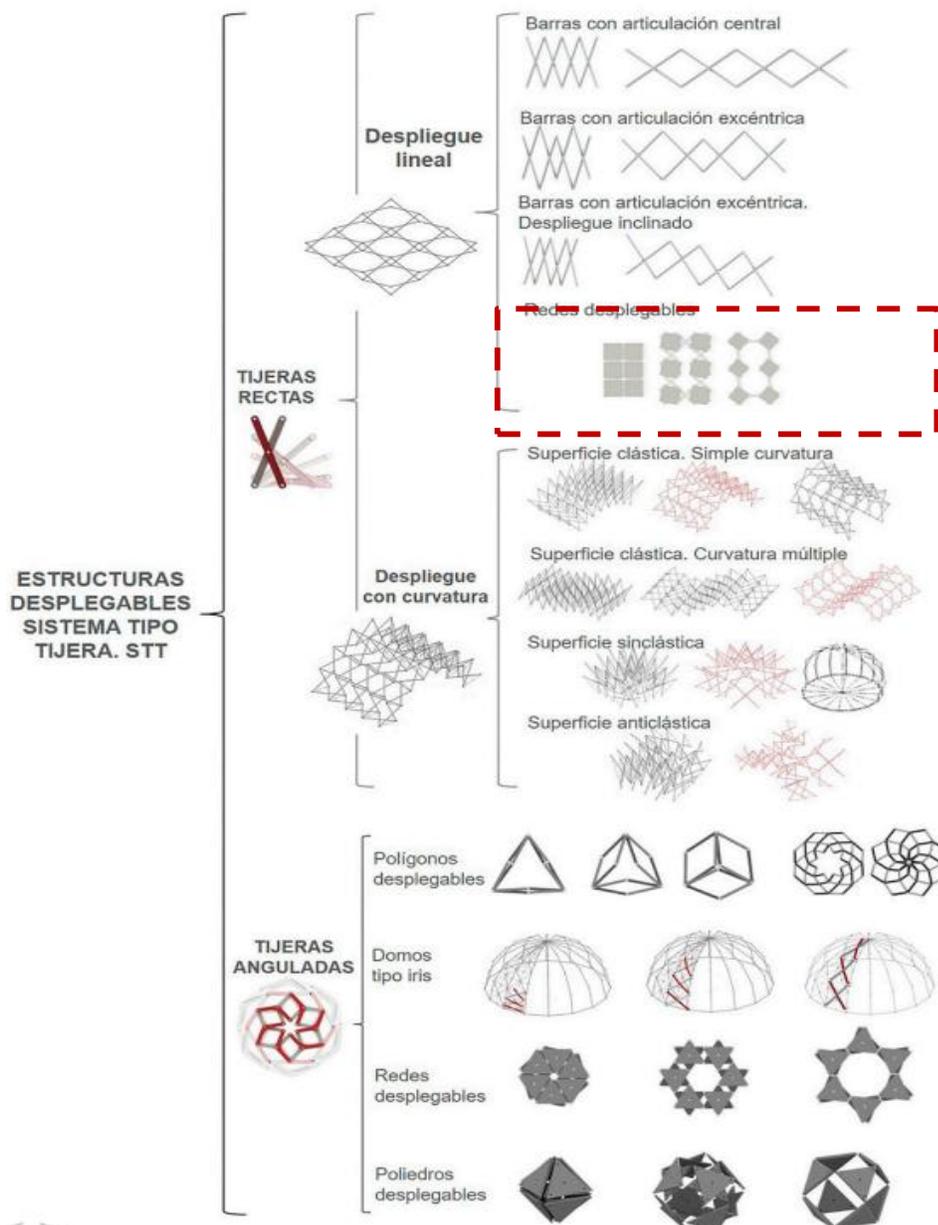
Condición De Plegado Para Configurar Agrupaciones De Tijeras



Fuente: Torres & Alkmim de Matos, 2018.

Figura 30

Clasificación De Estructuras Desplegables Del Sistema Tipo Tijera.



Fuente: Torres & Alkmim de Matos, 2018, (p. 30).

4.2 Fase 2: Prueba y análisis de diseño conceptual

A partir de lo anterior y siguiendo la condición geométrica de una estructura plegable lineal y una estructura plegable desde un punto inferior, se prosigue a explorar la construcción de pequeños modelos digitales y físicos para entender estructuralmente el proyecto.

4.2.1 Pruebas de despliegue

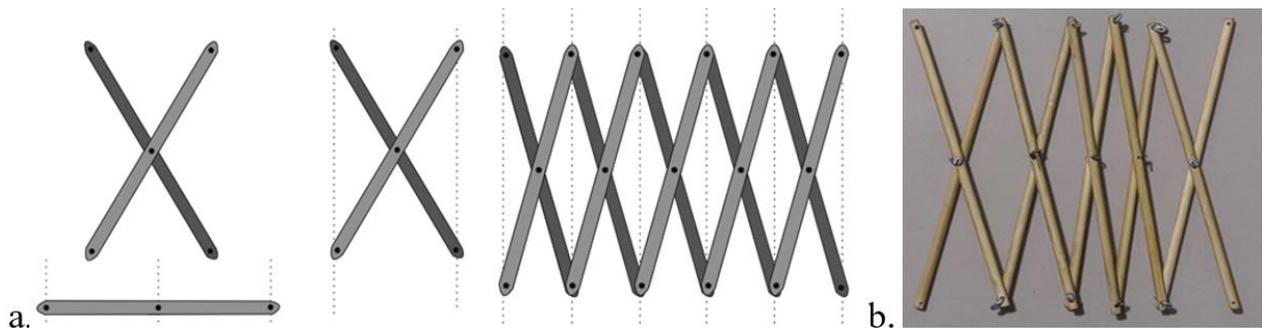
4.2.1.1 Prueba 1: Extensión de la estructura tipo tijera.

Para la primera prueba, se realizó un esquema inicial de exploración del sistema tipo tijera, consta de dos barras y un amarre que se multiplican para formar una pieza desplegable la cual está soportada a su vez con uniones que van desde un punto central o excéntrico.

Figura

31

Despliegue De Sistema De Tijera Desde Un Punto Central

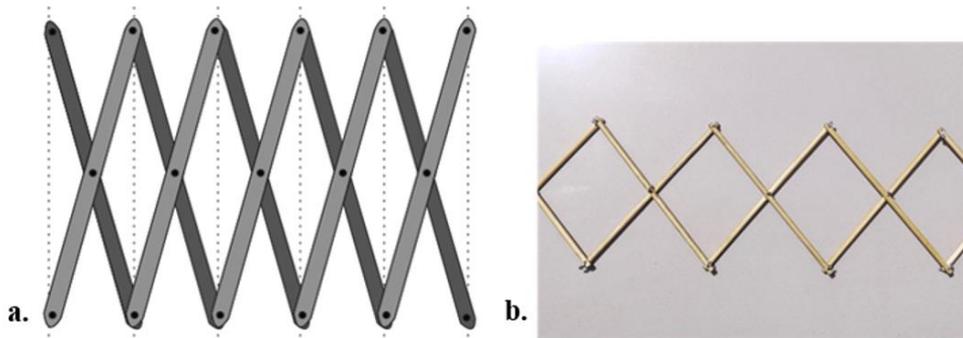


Nota: a) Modelo digital. b) Modelo De Trabajo Fuente: Elaborado por los autores.

Figura

32

Despliegue De Estructura Tipo Tijera Repetida Desde Un Punto Central.

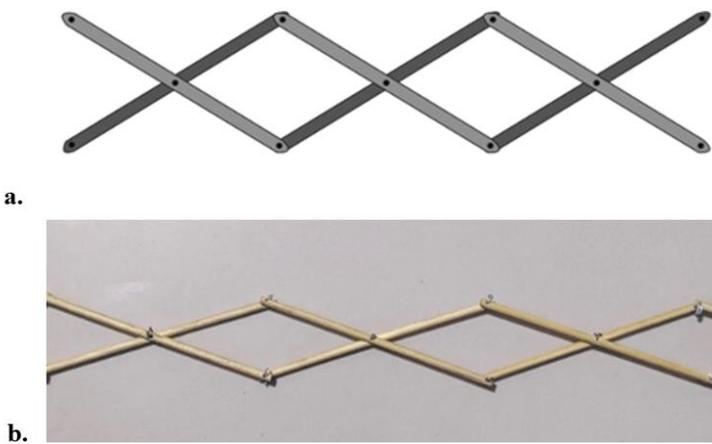


Nota: a) Modelo Digital b) Modelo De Funcionamiento. Fuente: Elaborado por los autores.

Figura

33

Extensión De Estructura De Tijera Desde Un Punto Central.



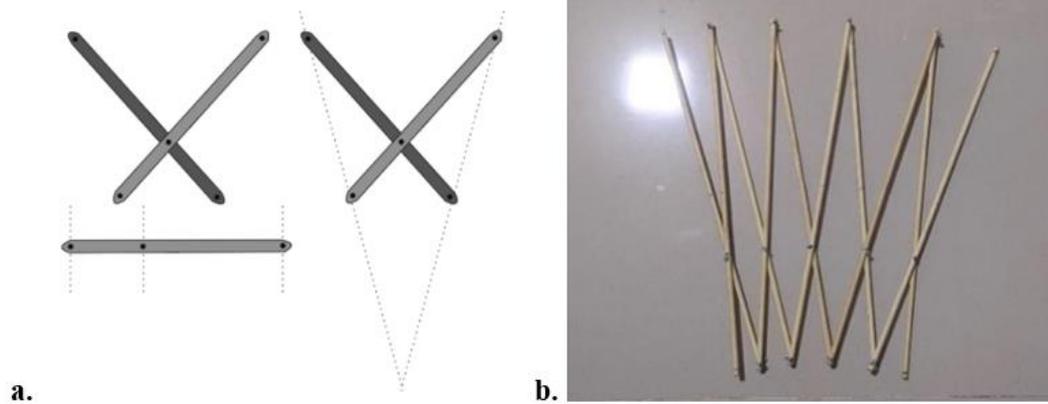
Nota: a) Modelo digital. b) Modelo De Funcionamiento Fuente: Elaborado por Los autores.

Durante la primera prueba exploratoria, se generó una estructura en palillos las cuales cumplieron con el objetivo de la exploración, el cual es generar movimiento en la estructura mediante el pliegue y despliegue de las barras.

4.2.1.2 Prueba 2: Sistema tipo tijera desde un punto inferior.

Figura 34

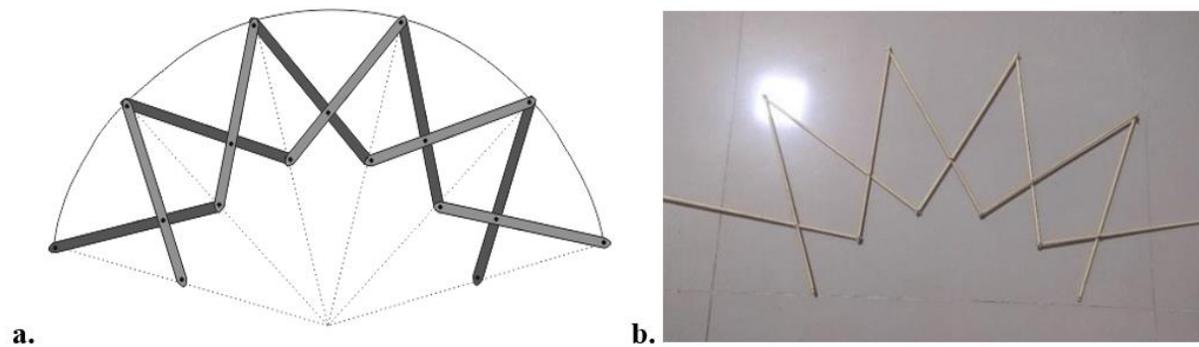
Esquema De Referencia Del Funcionamiento Tijeras Desde Un Punto Inferior.



Nota: a) Modelo digital. b) Modelo De Funcionamiento El esquema hace referencia al funcionamiento de la estructura cuando los puntos de amarre parten de un punto inferior o excéntrico, generando un arco en el mecanismo. Fuente: Elaborado por los autores.

Figura 35

Funcionamiento del sistema tijera desde un punto inferior: Rotación de barras

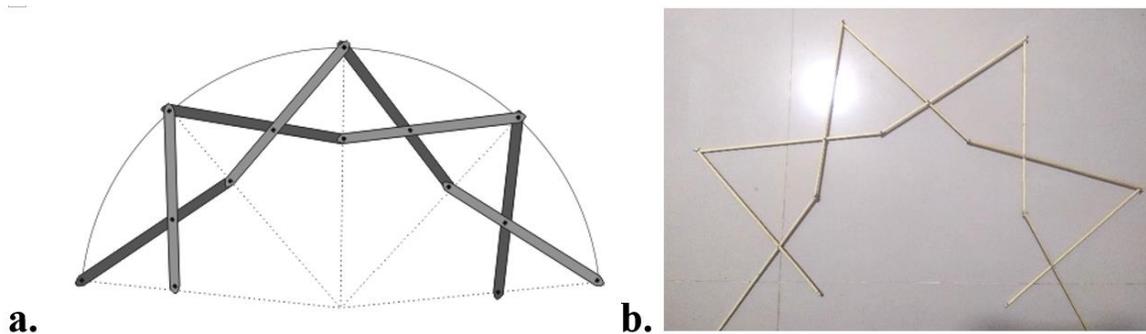


Nota: a) Modelo digital. b) Modelo de funcionamiento. Fuente: Elaborado por Los autores.

Figura

36

Extensión De La Estructura De Tijera Desde Un Punto Inferior Formando Un Arco



Nota: a) Modelo digital. b) Modelo de funcionamiento. Fuente: Elaborado por Los autores

En estas pruebas, y del mismo modo que las anteriores, el sistema modular consta de dos barras unidas excéntricamente, esta vez en un punto más bajo, a un tercio de la barra. Se concluye que el elemento proporciona libertad de movimiento, y de apariencia menos estable que las pruebas anteriores pudiendo requerir un tercer elemento que mantenga en pie el módulo y que su luz es menos amplia

En general, el sistema permite dar soluciones mediante la repetición de elementos, en nuestro caso tijeras, es posible crear mayas distintas bajo el mismo mecanismo.

Con base a la experimentación y realización de modelos de prueba a escala, es posible determinar los puntos de unión entre las barras, teniendo en cuenta que; mientras el punto sujeción central de las tijeras se encuentre más excéntrico, más pronunciado será el arco que se generará.

4.2.1.3 Prueba 3: Despliegue a escala 1:100.

En esta etapa, se construyeron varios modelos a escala, que, mediante la exploración, nos permitiera determinar los puntos de unión de las barras que conforman la tijera. Posteriormente, se realizó una prueba del método de despliegue a partir del análisis de las experimentaciones anteriores.

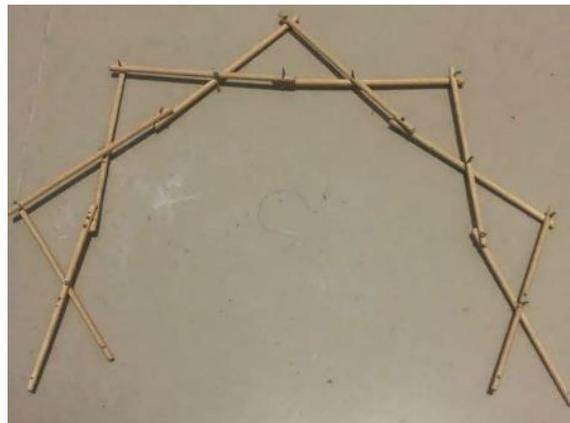
Tabla 8

Descripción De La Prueba De Despliegue 3

Desarrollo De Espacio Transformable A Partir De Una Estructura Desplegable En Caña Flecha	
Despliegue N°3	Primera Prueba de despliegue a escala (1:100)
Prototipo:	Base geométrica a base de hexágono
Tipo	-Modelo digital -Modelo físico
Materiales	Palillos de madera: 12 Palillos cortados a 1.30m a escala 1:100 Alambre: 30 cm de alambre galvanizado o alambre dulce
Herramientas	Taladro, Lápiz-marcador, Escalímetro, Pinzas.
Dimensiones	Altura:2.m Luz: 4.8m Área por módulo: 2.4m
Características:	Desplegable, medianamente estable.

Figura 37

Despliegue De Modelo Experimental Escala 1:100



Fuente: Fotografía tomada por Los autores

Observaciones:

Con un hexágono como base geométrica, se genera un arco con la cantidad de 6 tijeras, con barras en palillos de madera y enlaces en alambre, se nos permitirá alcanzar una altura en el arco de 2 metros. Con estas dimensiones; escala real, las barras de caña flecha entre más largas (1.3m) representan un riesgo de quiebre. Puede emplearse cañas hasta de 1 metro, sin embargo, brinda menor altura a la deseada.

Fuente: Elaborado por los autores.

4.2.1.4 Prueba 3: Despliegue en caña flecha.

A continuación, la aplicación consistió en el desarrollo de un módulo del modelo, más aproximado en una escala 1:5, esta vez el material empleado para las barras fue la caña flecha, con el objetivo de comprobar la efectividad de las uniones. Para ello; se realizó una selección de cañas bajo dos condiciones:

- a) Cañas cuyo diámetro oscila entre 2.5 y 3 cm de diámetro.
- b) Cañas en mejores condiciones, es decir las menos secas del mazo.

Estos dos criterios son importantes, ya que se busca prevenir el quiebre de las cañas, al momento de realizar las perforaciones necesarias con el taladro; esto para las articulaciones de las tijeras, por ello las perforaciones de los extremos de las barras se realizaron a 2 centímetros desde la terminación de la caña. Para dichas uniones se emplearon tornillos y roscas de 2 pulgadas. Las dimensiones para las barras de la estructura final deberán ser de 1.25m de longitud

Los puntos de distancia entre uniones de las barras, fueron determinados mediante la exploración en la prueba anterior, y para verificar el funcionamiento de despliegue se realizó la verificación de acuerdo a la fórmula de condición de plegado que sugiere Torres y Alkmim de Matos (2018): $a + b = c + d$ o, dicho de otro modo, asegurar que la distancia entre las uniones sea la misma para todas las barras. (p. 28)

Por último, este proceso sirvió para determinar y comprobar un tipo de uniones simples aplicables al proyecto.

Tabla 9

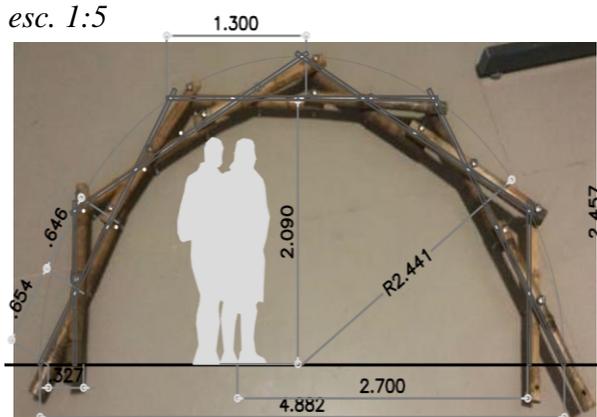
Descripción De La Prueba De Despliegue 4- Prueba En El Material

Desarrollo De Espacio Transformable A Partir De Una Estructura Desplegable En Caña Flecha

Despliegue N°2	Prueba de despliegue a escala 1:5
Prototipo:	Base geométrica a base de heptágono
Tipo	-Modelo físico.
Materiales	Caña flecha: 24 cañas cortadas a 1.30m a escala 1:5. 4 cañas cortadas a 0.5 m en escala 1: 5. tornillos, tuercas y arandelas: 32 piezas de cada elemento de 2"
Herramientas	Taladro, lápiz, marcador, cuchillo, flexómetro
Dimensiones	Altura:2.15m Luz: 4.m área: 2.15m
Características:	Desplegable, medianamente inestable.

Figura 38

Maqueta esc. 1:5



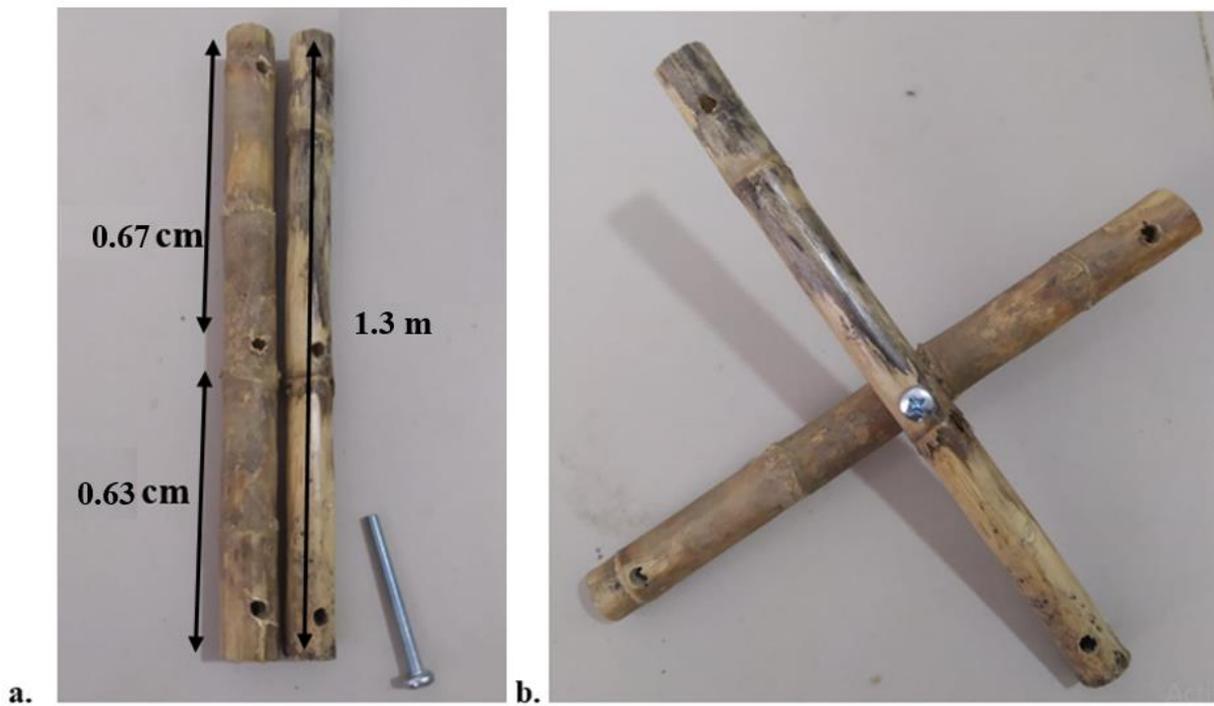
Fuente: Elaborado por los autores.

Observaciones: Las cañas resistieron, presento inestabilidad. Se le cortaron parte de las bases para poder levantarla sobre el suelo. Fue necesario implementar seguros entre modulo y entre cañas.

Fuente: Elaborado por los autores.

Figura 39

Modelo Experimental. ESC. 1:5



Nota: a) Distancia Entre Enlaces. b) Conformación De La Tijera. Fuente: Elaborado por los autores.

Figura 40

Distancia Entre Enlaces Modelo Experimental Escala 1:5: Pliegue Y Despliegue Del Modelo.



Fuente: Elaborado por los autores.

Figura 41

Despliegue del Módulo Esc. 1:5



Fuente: Elaborado por los autores.

4.2.1.5 Reflexiones sobre el diseño.

De los distintos procedimientos existentes para la solución del diseño de una estructura desplegable en caña flecha, se opta por la implementación de barras rectas de la caña flecha articuladas desde un punto inferior. De esta etapa del proceso se obtuvieron las siguientes conclusiones:

Aunque con cuidado, es posible trabajar las barras de caña flecha cuyo diámetro oscila entre los 15 y 20 milímetros.

Entre más gruesa la caña, más fácil será perforar con el taladro y menos probable de que se quiebre con este o con el tornillo.

Entre más seca la caña más probable que se quiebre la barra al momento de pasar la broca.

La utilización de pernos en lugar de tornillos previene el desgaste en las perforaciones de las barras.

Para soportar mejor las cargas y prevenir el desgaste de la caña flecha por el contacto con el tornillo tuercas, se recomienda el uso de arandelas.

4.2.2 *Diseño morfológico del elemento*

Para la realización de esta fase, se plantea una prueba inicial a una escala proporcional, la elaboración de modelos a escala en físico y digitales con base a herramientas como palillos de madera, alambre dulce y apoyándose en AutoCAD como herramienta para medir que determinarán el funcionamiento de la estructura, y de este modo comprender y visualizar el proceso de construcción y funcionamiento de las estructuras.

4.2.2.1 Geometría del elemento.

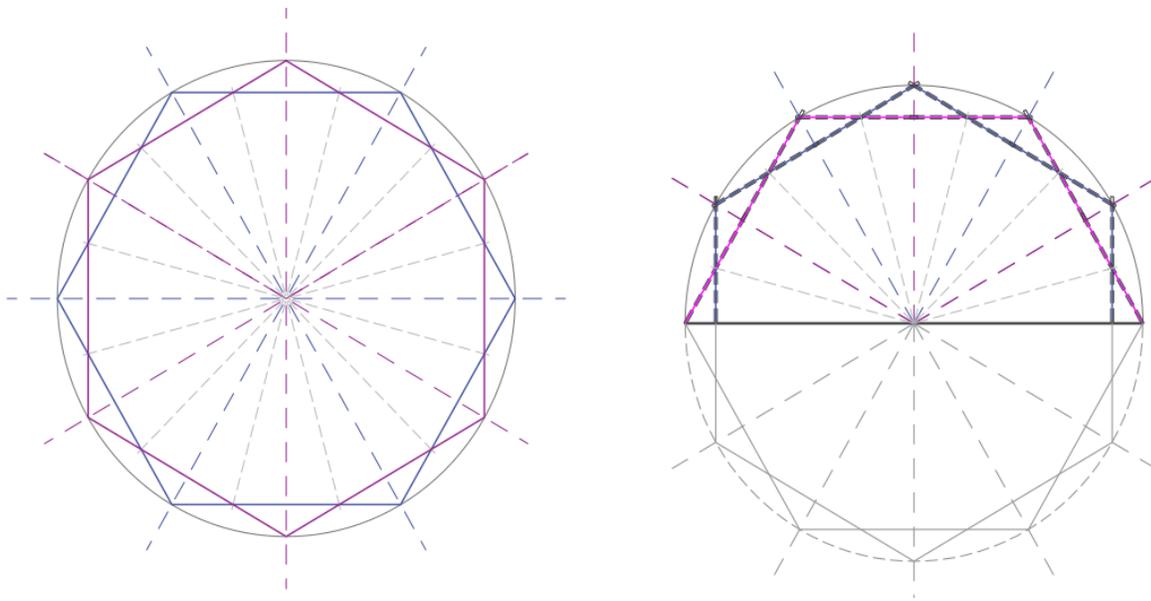
Para definir la forma de los módulos desde un ajuste geométrico experimental, se toma como punto de partida una circunferencia, la cual tendrá inscrita dentro de sí un polígono regular que posteriormente se fracciona en partes iguales desde su centro, lo cual forma una figura geométrica simple, estas líneas de referencia representan la definición de las sub estructuras que conformarán las barras de tijeras.

Para el primer ejercicio de diseño, se tomó base geométrica un hexágono, por lo que, en este diseño, el cuerpo geométrico se compone de 6 pares de tijeras excéntricas unidas, que desplegadas conforman un arco. Con el propósito de que los módulos siguientes se ajusten uno tras otro. Lo siguiente que se hace luego de definir el polígono y hallar los puntos para los nudos, es verificar si se cumple la condición de despliegue en las tijeras.

Haciendo uso de las tijeras excéntricas, y la forma de movimiento con curvatura que estas poseen, se busca que el sistema pueda ser configurado en diversos diseños de espacios transformables

Figura 42

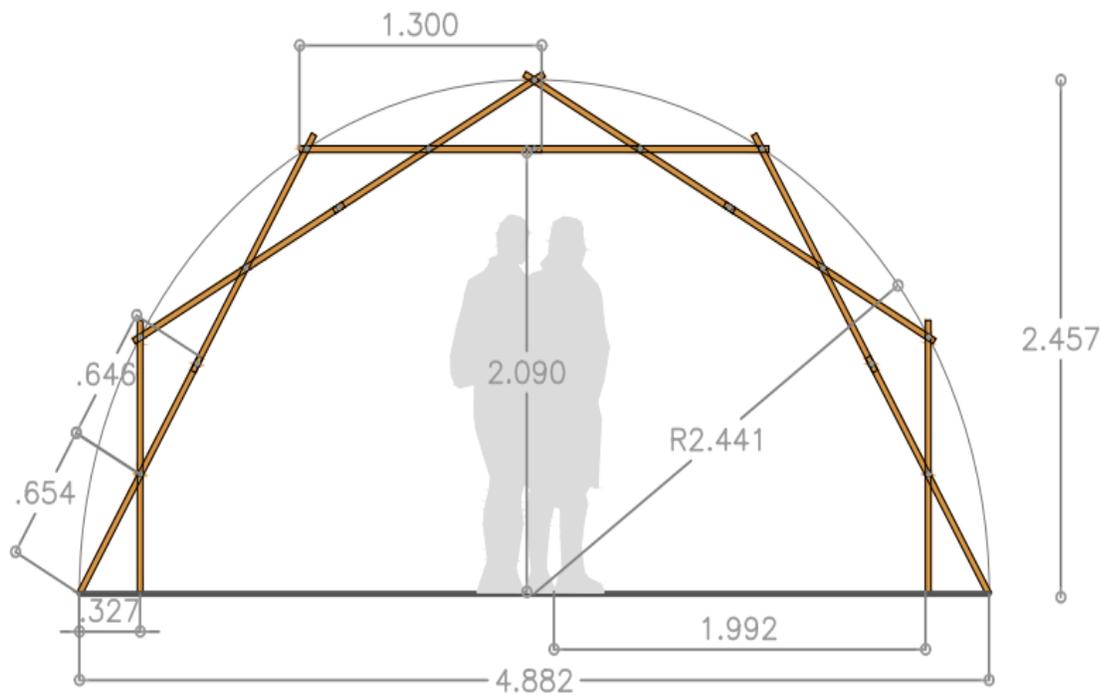
Proceso de Conformación Geométrica de Modelo Experimental Digital a base de Hexágono



Fuente: Elaborado por los autores.

Figura 43

Modelo Experimental Digital A Base De Hexágono



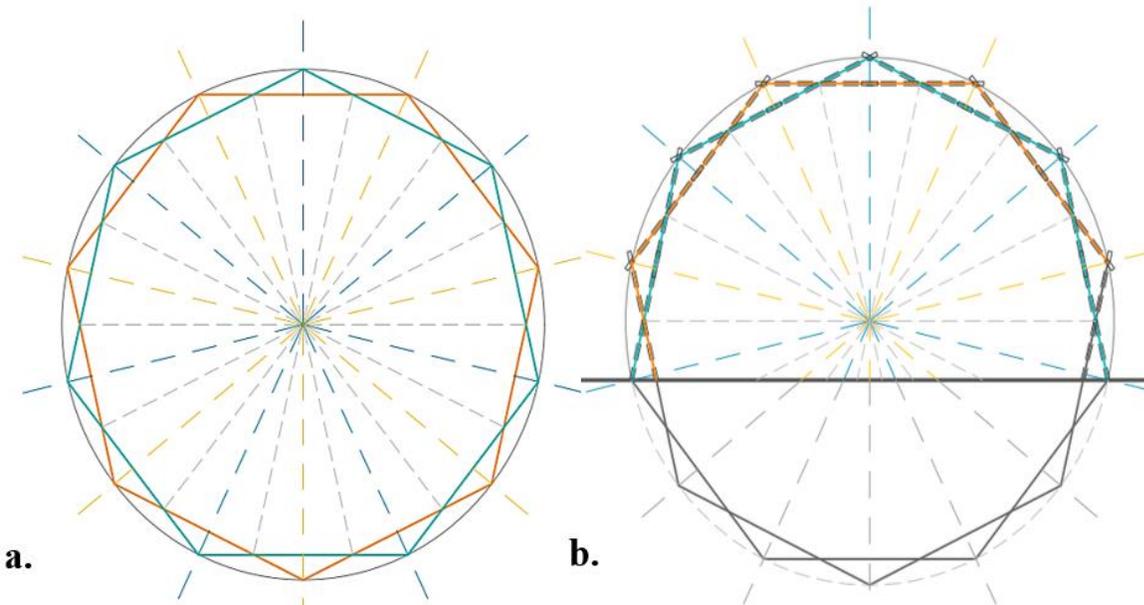
Fuente: Elaborado por los autores.

El segundo modelo experimental, toma como base geométrica dos heptágonos inscritos en un círculo, con base a la fragmentación de la forma, se obtiene un arco dividido en 8 secciones iguales; es decir 8 pares de tijeras excéntricas. A partir de la aplicación de este método, se desarrollaron tres bases modulares con barras de: 1 metro, 1.1 m y 1.25m, es decir, bajo la misma modulación geométrica, se exploró la posibilidad de realizar el mismo arco a diferentes tamaños para que mediante el juego de diferentes alturas se permitiera elaborar un diseño más dinámico.

Figura 44

Proceso de Conformación Geométrica Líneas De Referencia Del Modelo Experimental Digital A Base De Heptágonos.

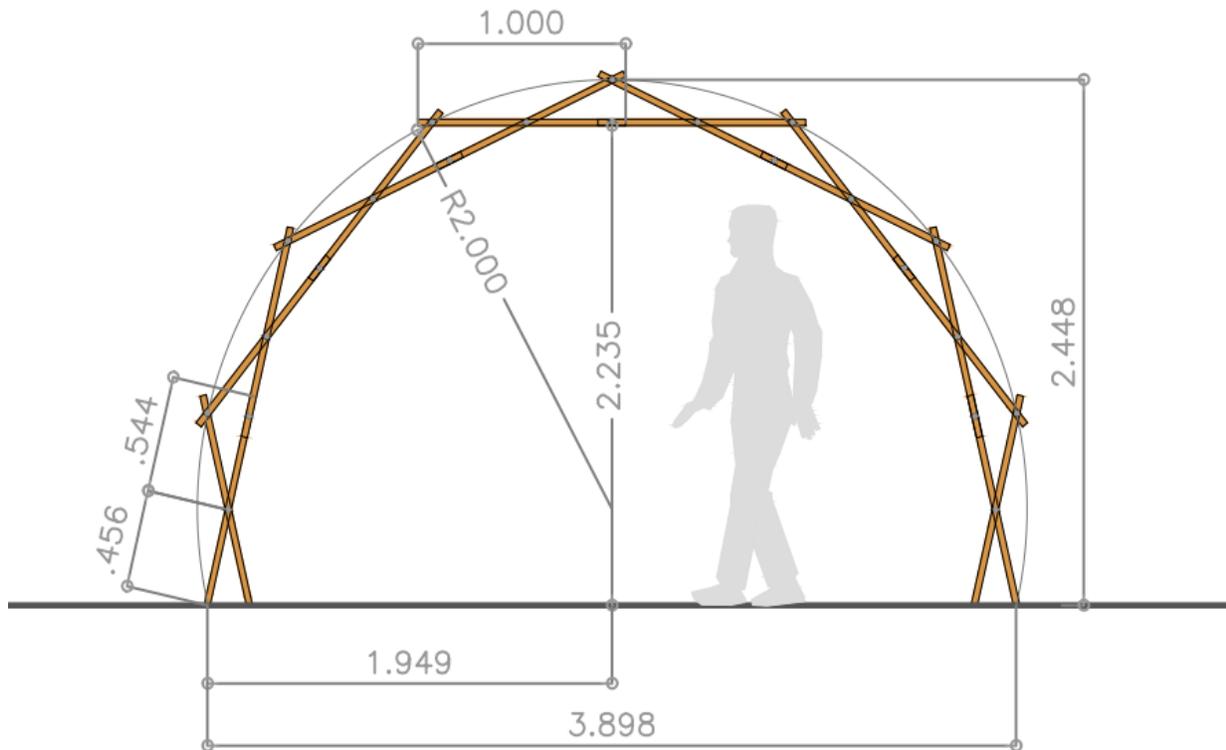
a) Base Geométrica. b) Geometría De La Forma



Fuente: Elaborado por los autores.

Figura 45

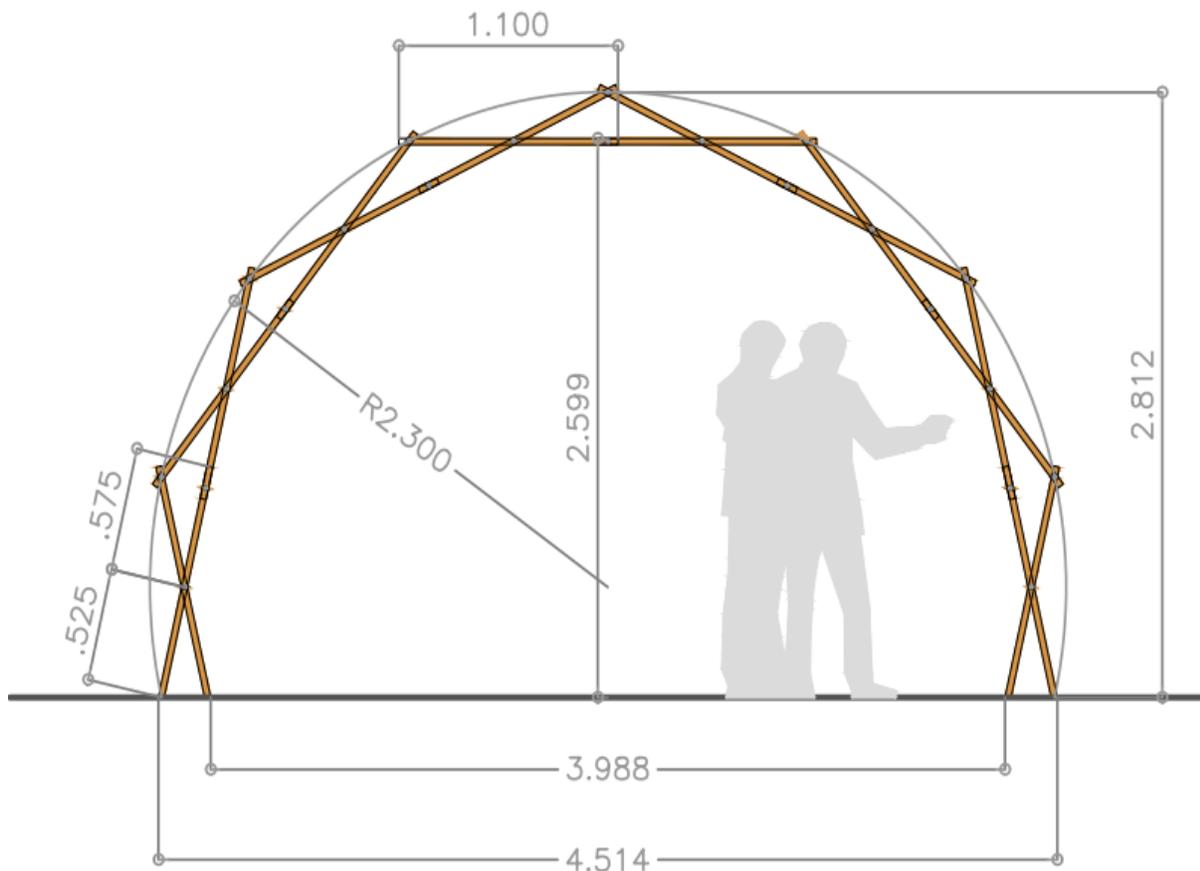
Modelo Experimental Digital A Base De Un Heptágono: 1 Propuesta



Nota: La imagen muestra la primera propuesta de modelo digital experimental, empleando un círculo de referencia con radio de 2m y barras de 1 metro, con sus centros de apoyo divididos en 0,45m y 0.54 m se logra una luz de 3.8 metros con una altura interna de 2.25 m. Fuente: Elaborado por los autores.

Figura 46

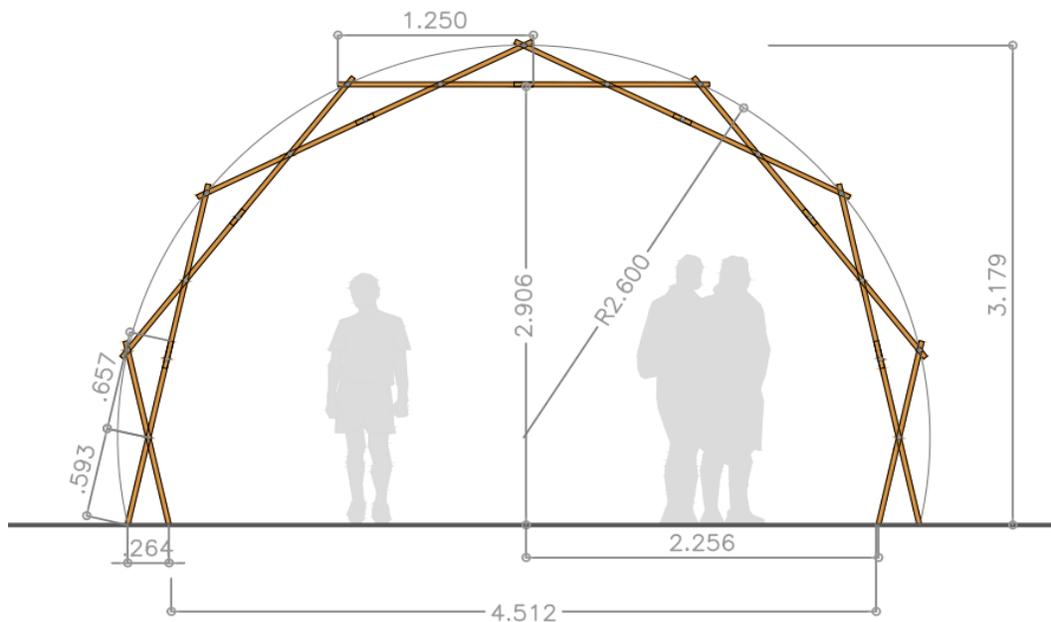
Modelo Experimental Digital A Base De Un Heptágono: 2 Propuesta



Nota: La imagen muestra el segundo modelo experimental digital, el cual es conformado por un círculo de referencia con radio de 2.3 metros 8 pares de tijeras de 1.1 metros y centros de 0.525 m y 5.75 metros, resultando en una luz de 3.98 metros con una altura interna de 2.59. Fuente Elaborado por los autores.

Figura 47

Modelo Experimental Digital A Base De Un Heptágono: 3 Propuesta



Nota: La imagen muestra el tercer modelo experimental digital, el cual es conformado por un círculo de referencia con radio de 2.6 metros, 8 pares de tijeras de 1.1 metros y puntos de uniones central de 0.525 m de un lado de la barra y 5.75 metros por el otro extremo de la barra. Resultando así en arcos con una luz de 3.98 metros con una altura interna de 2.59 metros. Fuente: Elaborado por los autores.

4.2.2.2 Propuestas de espacio transformable.

A partir del ejercicio de diseño morfológico del elemento, el modelo experimental que se procede a desarrollar para la ejecución del espacio transformable, es el proceso de conformación geométrica a base de heptágonos; la propuesta número 1, con barras de 1 metro. Luego de la definición del método geométrico, para hallar las uniones entre elementos, se elaboraron diferentes

diseños de prototipos de espacios transformables a partir del mismo módulo. A continuación, se presentan propuestas de distribución de módulos para su conformación.

Figura 48

Conformación Sencilla De Un Espacio Transformable: Dos Módulos.



Fuente: Elaborado por los autores.

Figura 49

Primera Propuesta De Diseño De Un Espacio Transformable



Nota: La imagen corresponde a la primera propuesta de diseño del espacio de esparcimiento transformable, en cuanto a la distribución de los módulos están dispuestos en forma asimétrica, con lonas divididas en secciones. Fuente: Elaborado por los autores.

Figura 50

Segunda Propuesta De Distribución De Un Espacio Transformable.



Fuente: Elaborado por los autores.

Figura 51

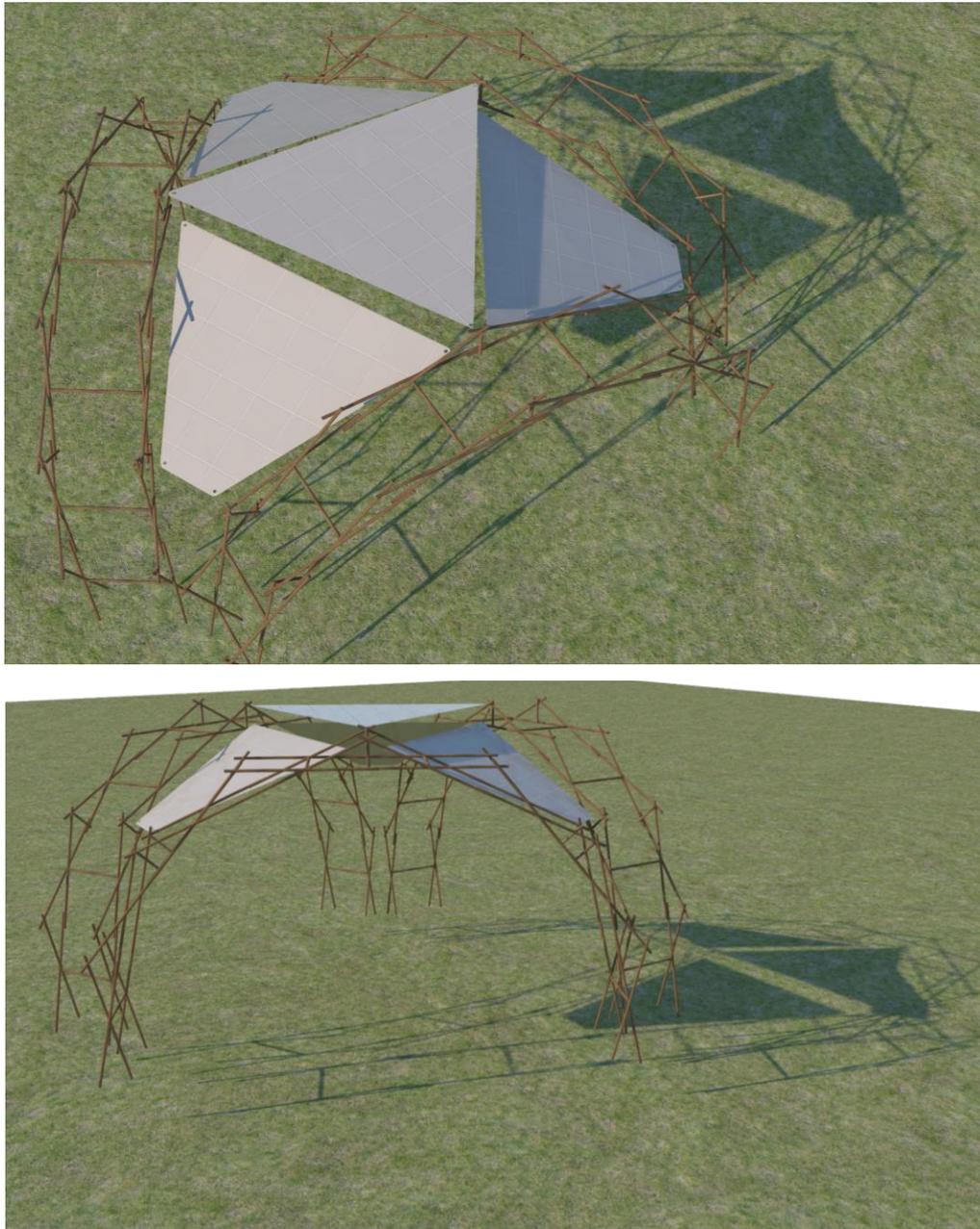
Perspectiva 1 De Segunda Propuesta Distribución De Un Espacio Transformable Plegable



Nota: En esta propuesta de distribución los módulos se disponen en forma radial para componer un pabellón conformado por un semicírculo. Fuente: Elaborado por Autores.

Figura 52

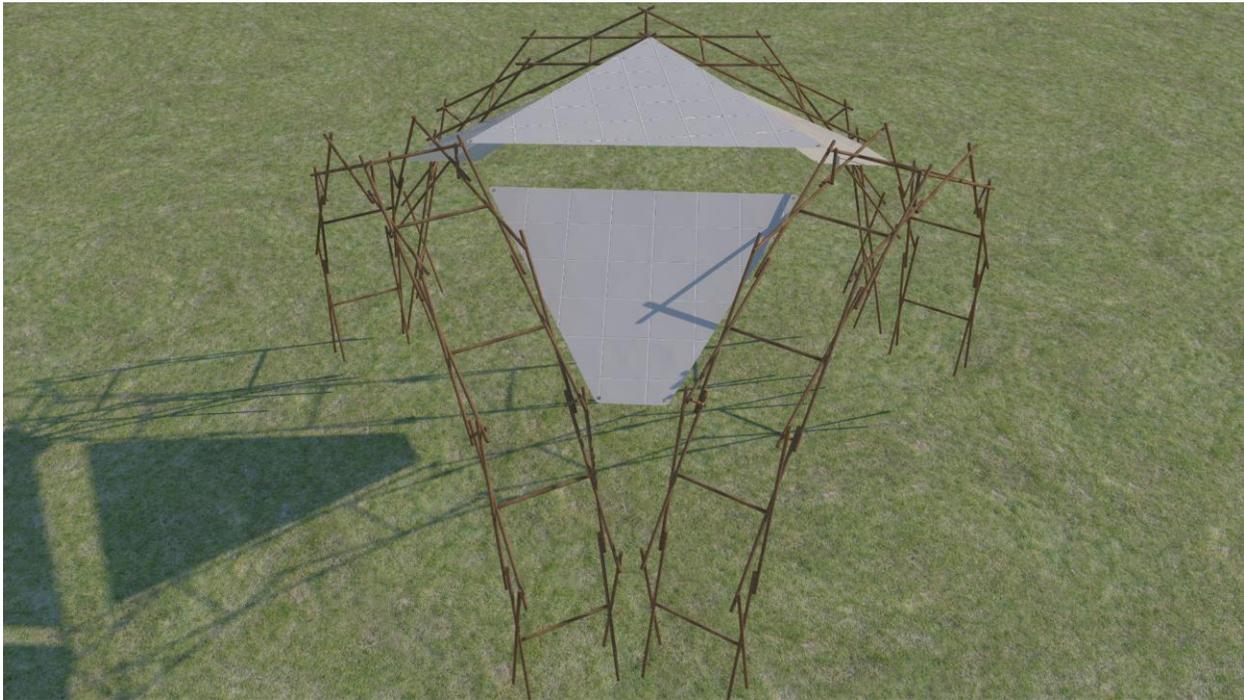
Vista Superior y lateral De Tercera Propuesta De Diseño De Un Espacio Transformable Plegable



Fuente: Elaborado por Autores

Figura 53

Perspectiva De Tercera Propuesta De Diseño De Un Espacio Transformable Plegable



Nota: La tercera propuesta, está inspirada en la distribución modular del centro del pabellón Vértex. Se distribuyen 3 módulos unidos en sus esquinas, conformando un triángulo. La diferencia de implementación es el sistema de módulos que se proponen en el presente trabajo, en el cual cada módulo se conforma de dos arcos (de 8 o 6 pares de tijeras) con barras de caña flecha, unidos entre sí. Fuente: Elaborado por Autores.

Figura 54

Propuesta De Distribución Tipo Domo.



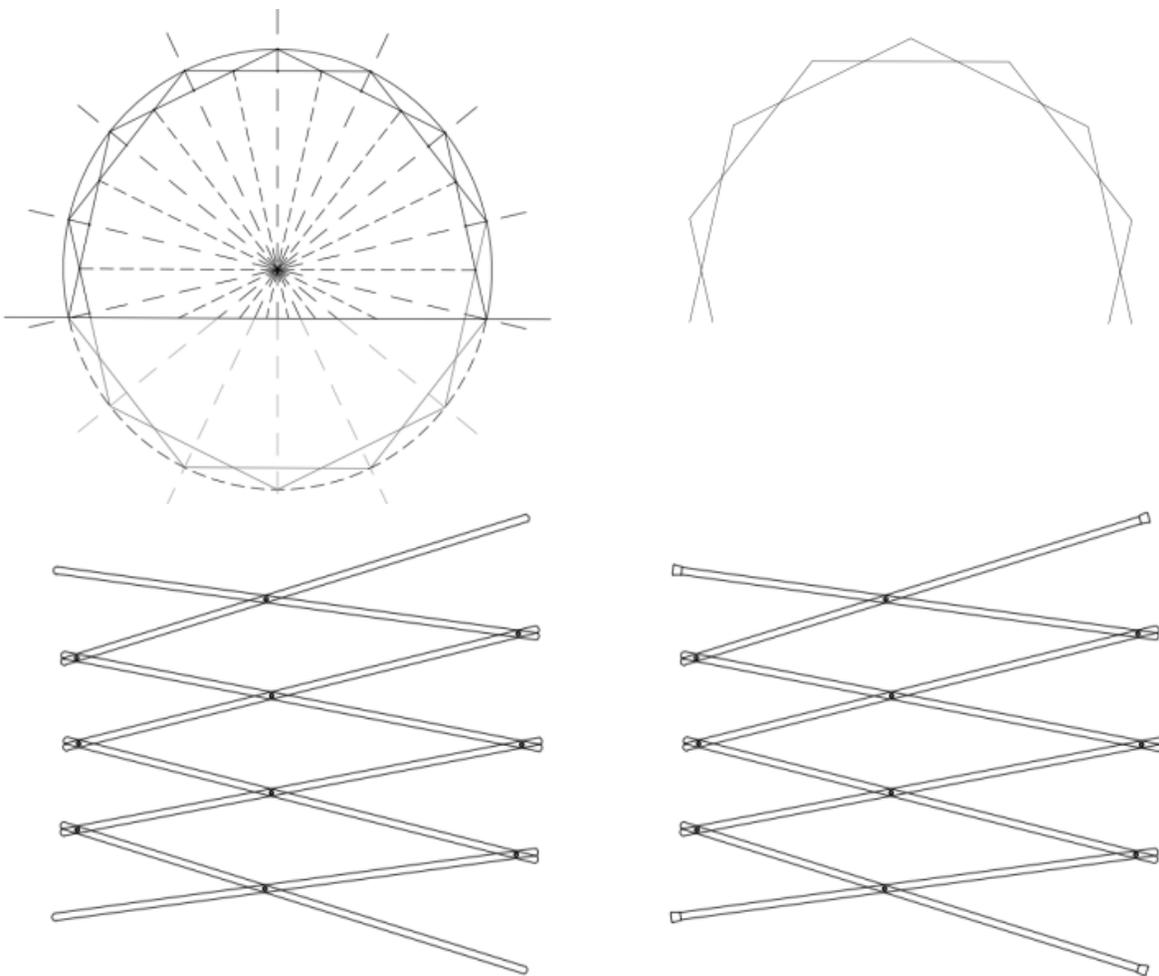
Fuente: Elaborado por los autores.

4.3 Desarrollo del prototipo seleccionado

A continuación, se muestran detalles estructurales del elemento.

Figura 55

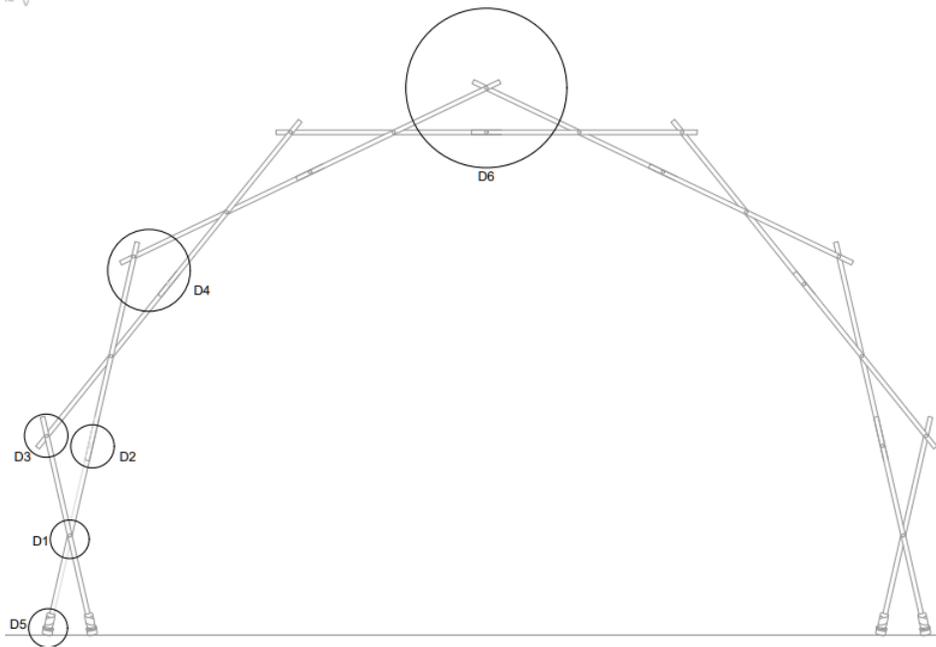
Modelo a proponer: Geometría de La Forma a base de heptágono- pliegue y despliegue



Nota: La imagen hace referencia al pliegue y despliegue del modelo que se escogió para el desarrollo de la propuesta de espacio transformable, el cual corresponde a la primera propuesta de Modelo Experimental Digital A Base De Un Heptágono. Fuente: Elaborado por los autores.

Figura 56

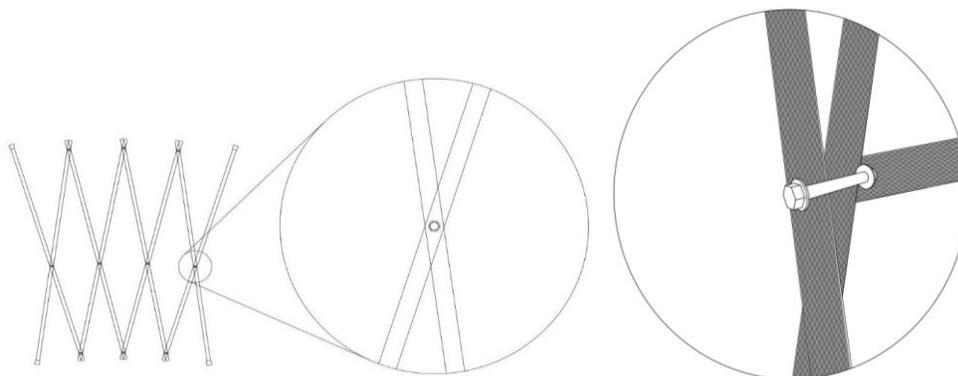
Elevación Modelo Desplegado



Fuente: Elaborado por Los autores

Figura 57

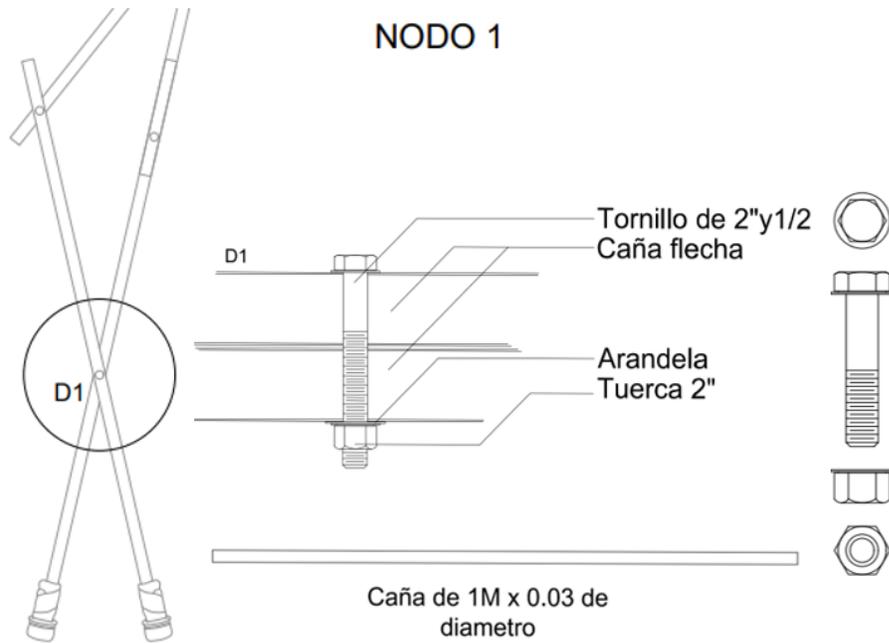
Detalle de las Uniones Centrales



Fuente: Elaborado Por los autores.

Figura 58

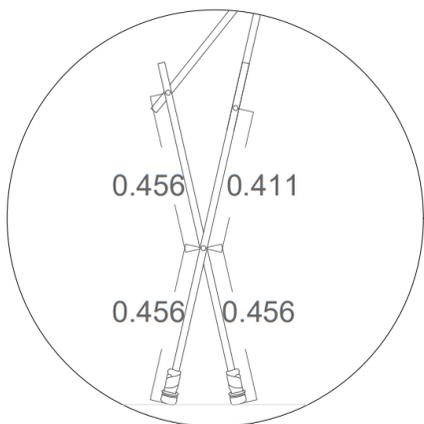
Detalle De Las Uniones Centrales Y Elementos.



Fuente: Elaborado por los autores.

Figura 59

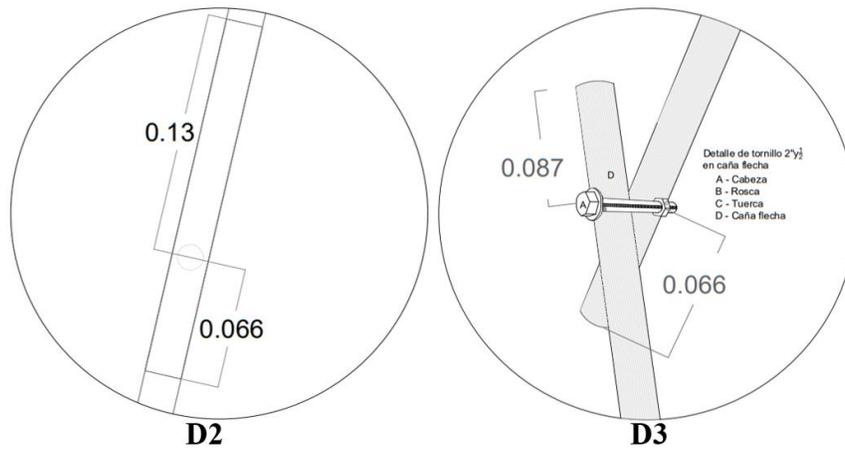
Detalle: Distancia entre uniones barras inferiores



Fuente: Elaborado por los autores.

Figura 60

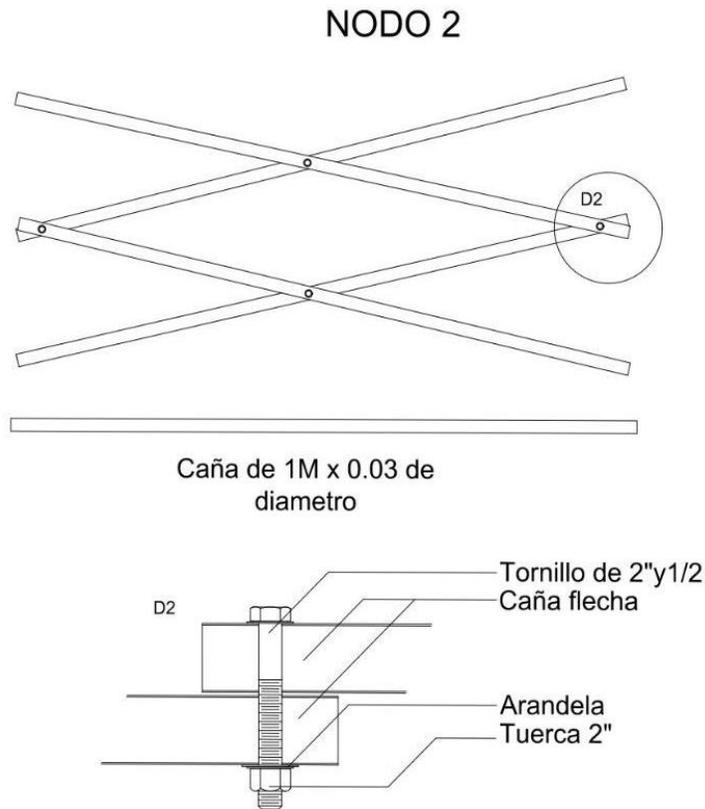
Detalles De Las Uniones De Los Extremos De Las Barras De Las Tijeras De La Base.



Fuente: Elaborado por los autores.

Figura 61

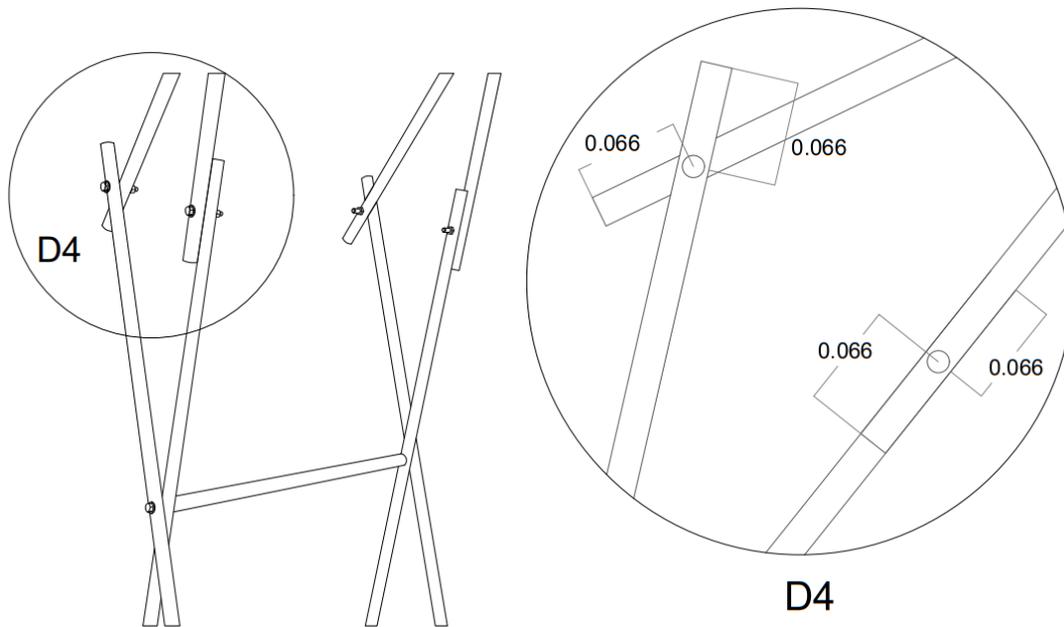
Detalle de las Uniones de extremos y Elementos.



Fuente: Elaborado por los autores.

Figura 62

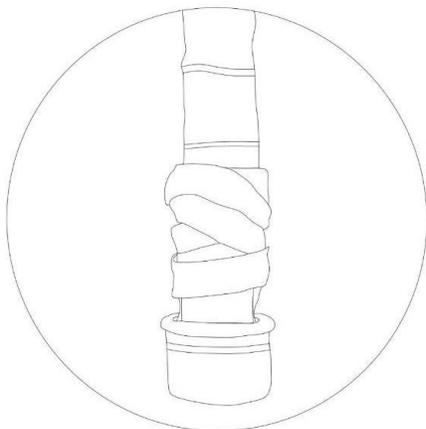
Detalle De Las Uniones De Extremos De Las Barras Inferiores



Fuente: Elaborado por los autores.

Figura 63

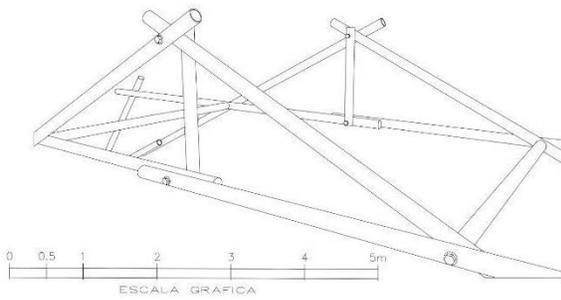
Detalle 5: Amarre Para Las Bases Del Modelo.



Fuente: Elaborado por los autores.

Figura 64

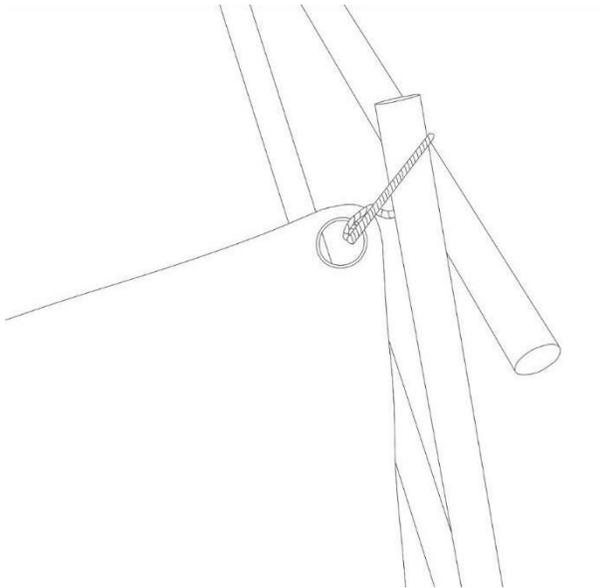
Detalle 6 Conformación Superior De Los Módulos.



Nota: El gráfico muestra como es el ensamble entre los dos arcos desplegables para la conformación de un módulo. Fuente: Elaborado por los autores.

Figura 65

Detalle De Amarre Entre La Lona Y La Estructura



Fuente: Los autores.

4.3.1 Presupuesto para la construcción del prototipo

En este punto, se procede a elaborar un presupuesto, para la elaboración de un solo módulo plegable.

Tabla 10

Presupuesto Por Módulo

Presupuesto Por Módulo			
Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Total
Caña Flecha	Jornal	1/4	\$12.500
Tornillos Tuercas	Ud.	50	\$15.650
Arandelas	Kg	1	\$12.700
Broca de madera 1/4	1	1	\$13.000
Lona	M.	4	\$42.000
Ojales Metálicos	Ud.	12	\$3.000
Segueta	Ud.	1	\$2.000
Caucho-Neumático	Ud.	2	\$3.000
TOTAL			\$ 103.850,00

Fuente: Los autores.

Tabla 11

Presupuesto Para La Construcción De 4 Módulos

Presupuesto Para La Construcción Del Prototipo (2 Módulos)				
Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Caña Flecha	Jornal	1	\$ 50.000,00	\$ 560.000
Tornillos Tuercas de 2" 1/2	Unid.	200	\$ 313,00	\$ 62.600

Arandelas	Kg	1	\$ 12.700	\$ 12.700
Broca de madera 1/4	1	1	\$ 13.000	\$ 13.000
Lona	M2	12	\$ 14.000,00	\$ 168.000
Ojales Metálicos	Unid.	36	\$ 300	\$ 10.800
Segueta	Unid.	1	\$ 2.000	\$ 2.000
Caucho-Neumático	Unid.	4	\$ 1.000,00	\$ 4.000
Total				\$ 355.100

Fuente: Elaborado por los autores.

4.3.1.1 Elaboración de prototipo.

4.3.1.1.1 Preliminares.

A continuación, se realiza una breve descripción de los pasos preliminares para el desarrollo del prototipo

Tabla 12

Pasos Preliminares Para La Construcción Con Caña Flecha.

1. COSECHA	
EDAD	De 4 a 6 meses aproximadamente. Cuando ya tenga inflorescencia.
CUANDO	Cualquier época a excepción de la luna nueva para que no sea propensa a dañarse por la proliferación de insectos.
CANTIDAD	Medio Jornal (100) cañas es suficiente para la construcción de 2 módulos.
TAMAÑO	Se requiere que el grosor de la caña haya alcanzado de 25mm a 30mm.

	La altura general de una caña es aproximadamente de 2 a 3 metros Serán cortadas barras de 1 metro de largo. por lo que de cada una se obtienen 2 barras aproximadamente.
2. LIMPIEZA	
LIMPIEZA DEL TALLO	Primeramente, para revelar el material a trabajar, se limpia el tallo de la primera capa u hoja que lo recubre, en caso de que esté seco. Este proceso es realizado con utensilios sencillos como cuchillos (ver imagen 65).
3. ALMACENAMIENTO	
ALMACENAMIENTO	Si las cañas están mojadas o muy verdes, lo ideal es separarlas y secarlas antes de ser almacenadas en fajos, las barras se ubican en forma vertical en un lugar sombreado, ventilado y seco. (ver imagen 66).
SELECCIÓN	Se seleccionan las cañas del mazo que estén en mejores condiciones para el proyecto: <ul style="list-style-type: none"> -Las más rectas -Las menos delgadas -Las más verdes
CORTE	Para la elaboración de 2 módulos se requiere: <ul style="list-style-type: none"> - Tijeras: 32 barras de 1 metro por módulo. - Uniones entre arcos: 24 barras de 40 cm por módulo. - Seguros: 24 Barras de 27 cm por módulo. - Unión entre módulos: 1 barras de 1 m, 0.79m, 0.4m 0.14m

Fuente: Elaborado por los autores.

Figura 66

Procesos Preliminares: Limpieza, Selección Y Almacenamiento De La Caña.



Fuente: Elaborado por los autores.

4.3.2 Articulación de elementos

Para el proceso de montaje del módulo a escala real, se deben tener a la mano las barras y herramientas necesarias para la articulación de los elementos.

Figura 67

Proceso De Corte, Marcación, y Perforación De Uniones.



Fuente: Los Autores.

Con un flexómetro, se dibujan las marcas de las uniones, de una forma clara y en la misma línea o cara de la caña, luego con un taladro se realizan las perforaciones de las barras: en nuestro caso, y para evitar lastimar mucho la caña, se empleó una broca delgada. Por cuyas perforaciones pueda pasar un tornillo de 2”.

Figura 68

Unión De Elementos



Nota: la imagen muestra las uniones entre pares de tijeras. Como paso inicial, y de forma delicada, con una broca se perfora a lo largo una caña de 40cm y por su longitud se pasa una varilla-tensor de ¼”, permitiendo el paso de la varilla por ambos lados. Para la creación de una tijera se usa dicha barra con el tensor y se conforma la primera tijera en la siguiente secuencia: barra con tensor, arandela, caña, arandela, caña, arandela y tuerca. Este proceso se repite hasta conformar los 8 pares de tijeras que componen un arco y por medio de la caña con el tensor se conforman el siguiente arco paralelo al primero y con ello se compone 1 módulo. Fuente: Elaborado por los autores.

Figura 69

Módulos plegados.



Nota: La imagen muestra los módulos de espacio transformable plegados, los cuales presentan dimensiones de 1m por 56 cm de ancho en su forma plegada. Para prevenir el desgaste de las barras inferiores durante el contacto con el suelo, se recubren con caucho, luego con una botella PET, y posteriormente con banner color blanco (entre cada capa de recubrimiento se utiliza calor para adherir mejor los materiales a la barra) Fuente: Los Autores.

Figura 70

Despliegue De Primer Módulo De Espacio Transformable e instalación de seguros



Fuente: Elaborado por los autores.

Para el despliegue de los módulos, es necesario un espacio amplio donde desplegar, mover y situar cómodamente los elementos que conforman el módulo de espacio transformable. Para darle soporte a las tijeras y mantenerlas tensionadas, se colocan pequeñas cañas de 27 cm. Estas se sujetan a los tornillos salientes de las tijeras por medio de dos perforaciones en su superficie a manera de seguros.

Figura 71

Levantamiento de los módulos Para La Conformación De Un Espacio Transformable.



Fuente: Los Autores.

Posteriormente al despliegue de los módulos y la instalación de seguros se posicionan los módulos en el terreno.

Figura 72 *Unión Entre Módulos*

Fuente: Elaborado por los autores.

Para las uniones entre módulo y módulo, se utiliza la barra central con tensor y a través de una perforación central en los seguros.

4.3.3 *Cubierta*

Con la estructura armada, se empiezan a amarrar la cubierta tipo textil, las cuales se sostienen con una argolla y cáñamo delgado.

Figura 73*Instalación de Cubierta*

Nota: De acuerdo al diseño propuesto la disposición de los módulos genera mayor estabilidad de la estructura junto con los soportes agregados y la cubierta, lo cual da como resultado la estructura deseada. Fuente: Los Autores

Figura 74

Prototipo Montado



Fuente: Elaborado por los autores.

El desarrollo de un espacio transformable a partir de una estructura de barras plegables en un material tradicional y sostenible de la región como lo es la caña flecha , que pese a inconvenientes como la fragilidad del material, su proceso constructivo es totalmente funcional, plegable y con un rápido tiempo de montaje de 20 min ya que dicho proceso consiste en llevar la estructura principal plegada, desplegarla e instalar los seguros mientras se posiciona y finalmente

realizar los amarres de la cubierta, mientras el desmontaje de este elemento es de 6 minutos, posibilitando su transporte para un nuevo emplazamiento.

5 Conclusiones

Teniendo en cuenta los conocimientos ancestrales, las técnicas y los procesos para la producción de artesanías por parte de comunidades indígenas de Colombia, en este caso los saberes que sobreviven en la comunidad indígena Zenú, la utilización de la caña flecha representa un insumo con potencial para la interpretación de técnicas y aplicación en diversos procesos de innovación para mejorar la productividad de materiales sustitutos de la madera y competir frente a su sector productivo, empleando conceptos de sostenibilidad.

Durante el desarrollo de la investigación, se estudió la arquitectura transformable; teniendo como principal objetivo el desarrollo de un prototipo de espacio arquitectónico a partir de una estructura de barras plegables en caña flecha (*Gynerium sagittatum*).

Para Morales et al. (2017) la construcción de este tipo de cubiertas requiere otro tipo de enfoques en cuanto al método de diseño convencional, debido a que este tipo de sistemas ofrecen una amplia multitud de formas, estas estructuras pueden incluso ser diseñadas para todo tipo de condiciones y sus requerimientos pueden hacer frente a diversos factores por su fácil construcción.

Mediante el análisis de la morfología y conformación de las estructuras plegables a través de la geometría; es factible desarrollar un proceso constructivo para el desarrollo de un prototipo plegable en base a la caña flecha, empleando las herramientas correctas; considerando las características físicas de este material tradicional de la región en el desarrollo y construcción de un prototipo de estructura de barras plegables, modulable y transformable.

Implementar los sistemas de estructuras plegables, a través de la modulación permite abrir campo a diversas distribuciones espaciales. Al entender la geometría básica de los polígonos, facilita la comprensión del funcionamiento del mecanismo y con ello la posibilidad de generar superficies sencillas planas o más complejas como las superficies con curvatura.

Durante la construcción de un primer prototipo modular plegable a escala real (1:1), se generó inestabilidad en el elemento debido a la ligereza de las barras; por lo que para conformar el nodo central entre tijeras y unir dos arcos para la conformación de 1 módulo, es requerido un refuerzo que consiste en varillas tensores de 1/4 que traspasan las barras que unen los pares de arcos.

La caña fecha, siendo un material del cual se utiliza las hojas para la producción de artesanías tradicionales, tiene un por parte de los artesanos un uso menor del tallo como material de construcción; esto se debe a su fragilidad frente a la posibilidad de aplicar otros materiales más resistentes como la madera ya que, la caña tiende a fracturarse, el grosor del material varía mucho; lo que puede dificultar el procedimiento, ya que es necesario realizar un proceso de selección de las cañas útiles acordes al diseño.

En este caso las barras implementadas cuentan con un grosor alrededor de 2 cm en adelante, en este sentido, hay que saber manipular el material para que se puedan hacer perforaciones empleando una broca pequeña para prevenir la fracturación la barra; un mal corte puede generar daños en esta sobre todo si están muy secas.

Una desventaja, se presenta al momento de hacer intervenciones a las barras ya que no soporta cambios en su estructura como pueden ser las perforaciones adicionales o de mayor grosor, el mal corte puede generar daños en esta, sin embargo, si se manipula adecuadamente el material, y se emplean las herramientas correctas, es factible aplicar la caña como barras en el desarrollo de estructuras transformables.

El desarrollo de un espacio transformable a partir de una estructura de barras en caña flecha, a través de la experimentación con modelos a escala, es un acercamiento a la creación de estructuras plegables mediante la aplicación de conceptos básicos para la conformación de espacios modulares que, mediante su rapidez de armado, ligereza y su capacidad de ser portable

permite transformar espacios. Todo el proceso se llevó a cabo pensando en las posibles soluciones en que la arquitectura tradicional se mezcla con la arquitectura transformable y permite desarrollar un elemento funcional, plegable, de rápido montaje y desmontaje innovando mediante la vinculación de un material local tradicional.

Referencias

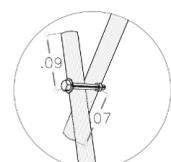
- Torres L, N., & Alkmim de Matos, H. (2018). Estructuras Desplegables: Sistemas Tipo Tijera. *Cadernos de Arquitetura e Urbanismo*, 24(35), 16-68. doi:10.5752/P.2316-1752.2017v24n35p16
- Avellaneda L., O. F., & Avella B., D. L. (2018). *Patente n° CA2998771A*.
<https://patents.google.com/patent/CA2998771A1/en?q=%E2%80%9Ctransformable+architecture%E2%80%9D&after=priority:20170101>
- Avellaneda López, O. F. (2020). Diseño Paramétrico de las Estructuras Desplegables. Control Límite de Movimiento. *Tesis de doctorado en Tecnología de la Arquitectura, Edificación y Urbanismo*. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona.
- Bautista, N., Rivas, L., Gaviria, L., Rodriguez, H., Saavedra, J. (2021). *Importación De Estructuras Plegables De 2x2 Metros Desde China Hacia Colombia*. [Plan de negocios presentado para optar por el título de negocios internacionales. Institución Universitaria Politécnico Grancolombiano].
- Calvo-López, J., y Sanz Alarcón, J. (01 de 03 de 2011). Arquitectura Plegable Para Una Década Prodigiosa (EGA). *Expresión Gráfica Arquitectónica*, 114-126.
doi:10.4995/ega.2011.888
- Crespo-Pérez, I. (2017). *Desmontabilidad y Rigidez: Estructuras Desplegables y Espaciales Fijas*. [Trabajo de Grado. Escuela Técnica Superior de Arquitectura en Madrid, Universidad Politécnica de Madrid]. Madrid, España.
- Culcas, D. R. (2020). *Estructuras desplegadas aplicadas al diseño de arquitectura efímera para las ferias desarrolladas en explanada de la plaza Huamanmarca, Huancayo - 2018*. Universidad Continental, Huancayo, Perú.

- Durango Ballesteros, E., Pineda Vergara, J. F., Canabal Guzmán, J. D., & Vanegas Osorio, J. E. (2017). *Guía para el mejoramiento de la cadena productiva de artesanías en caña flecha en Córdoba* (Vol. 1). Montería: Universidad del Sinú Elías Bechara Zainúm.
<https://www.researchgate.net/publication/323281123>
- Engineering, I. C. (2019). Experimental study of the work of a temporary structure of a dismountable bar system. *Conferencia internacional científico-técnica sobre tecnologías, equipos y materiales de ingeniería innovadores 2018 (ISTC-IETEM-2018)*, 507, pág. 9. karsán , Rusia. doi:10.1088/1757-899X/570/1/012096
- Estévez-Cimadevil, J., Pérez Valcárce, J., López César, I., & López Rodríguez, A. (2018). *España Patente nº ES 2 627 037 B1*.
- Gobernación de Córdoba. (2012). Plan estratégico departamental de ciencia, tecnología e innovación de Córdoba. *Miniciencias.gov.co*.
<https://minciencias.gov.co/portafolio/gestion-territorial/planes-de-acuerdo/listado-pedcti>
- Gobernación de Sucre. (2013). Plan estratégico departamental de ciencia, tecnología e innovación de Sucre. *Miniciencias.gov.co*.
<https://minciencias.gov.co/sites/default/files/upload/paginas/pedcti-sucre.pdf>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC). (2009). *Icontec. Norma Técnica Colombiana, Ntc 5714*. Bogotá.
https://artesaniasdecolombia.com.co/Documentos/Contenido/10597_ntc5714.pdf
- J. Pérez-Valcárcel, M. Muñoz-Vidal, F. Suárez-Riestra, Isaac R. López-César, & M.J. Freire-Tellado. (1 de octubre de 2021). Estructuras de módulos de paquetes despleables con enlaces recíprocos para edificios de emergencia. *Estructuras de ingeniería*, 244. doi:112803
- Martínez-Osorio, P. A., da Cruz Landim, P., & Ferreira Barata, T. Q. (2020). Procesos artesanales para la producción sostenible de tableros de caña flecha (Gynerium

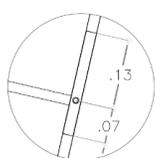
- sagittatum). *Mix sustentável*, 4(2), 59-70. <https://doi.org/10.21892/9789585547858.10>.
<https://libros.cecar.edu.co/index.php/CECAR/catalog/download/93/152/2297-1?inline=1>
- Mercado Escandón J. A., & Morales Guzmán C. C. (2019). Proceso de diseño de una cubierta con el principio de tensegridad para espacios de esparcimiento: Design process of a roof with the tensegrity principle for recreational spaces. *Procesos Urbanos*, 6(6), 92-100. <https://doi.org/10.21892/2422085X.460>
- Morales Guzmán, C. C. (2013). Prototipo de diseño de una cubierta retráctil tensada. *Revista de Arquitectura*, 15, 102-110. <http://dx.doi.org/10.14718/>
- Morales Guzmán, C. C. (1 de enero de 2016). Construcción experimental de un sistema transformable. *Revista de Arquitectura*, 1(18), 98-110. doi:10.14718
- Morales Guzmán C. C., Martínez Cruz C., Rivera Torre H., Flores Gutiérrez A. (2017). Desarrollo de la forma de una tenso estructura en el diseño por computadora. *Procesos Urbanos*, 4(4), 136 - 148. <https://doi.org/10.21892/2422085X.356>
- Morales Guzmán, C. C. (diciembre de 2018). Diseño de una cubierta hiperbólica plegable tensada. *Procesos Urbanos*, 5, 91-105. <https://doi.org/10.21892/2422085X.414>
- Morales Guzman, C. C. (2021). Desarrollo de un sistema de aspas transformable en las cubiertas plegables. *Informes de la Construcción*, 73(562). <https://doi.org/10.3989/ic.73030>
- Muñoz, M. (2001). *Cálculo Dinámico de Estructuras Desplegables*. [Tesis Doctoral Universidad da Coruña].
- Pérez , J., Muñoz, M., Riestra, F., Freire, M., López, I., Muñis, S., .Herme, V. (04 de 30 de 2020). *España Patente n° ES 2 757 982 A1*. <https://ruc.udc.es/dspace/handle/2183/27477>
- Pérez Várcacel, J., Muñoz Vidal, M., Suarez Riestra, F., Freire Tellado, M., López César, I., Muñis Gómez, S., . . . Herme Sánchez, V. (30 de 04 de 2020). *España Patente n° ES 2 757 982 A1*.

- Puertas Del Río, L. (1989). *Estructuras espaciales desmontables y desplegadas, estudio de la obra del arquitecto Emilio Perez Piñero*. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, Madrid.
- Puertas, D. R. (30 de 10 de 1990). Estructuras espaciales desmontables y desplegadas. *Informes de la Construcción*, 42(409), 43-53. 10.3989/ic
- SMiA Morfología Estructural en Arquitectura. (09 de enero de 2019). *SMiA Morfología Estructural en Arquitectura*. <https://smia-experimental.com/>
- Vergara, J. F. (2017). Estudio de Innovación en la Cadena Productiva de la Caña Flecha. *Trabajo De Grado Presentado Para Optar Al Título De Magíster En Gestión De La Innovación. Universidad Tecnológica de Bolívar*. [Universidad Tecnológica de Bolívar, Cartagena], Colombia. <https://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0070375.pdf>

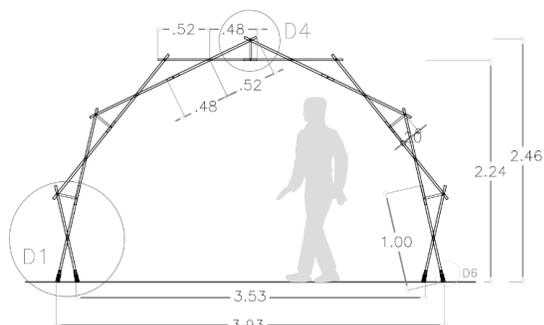
Anexos



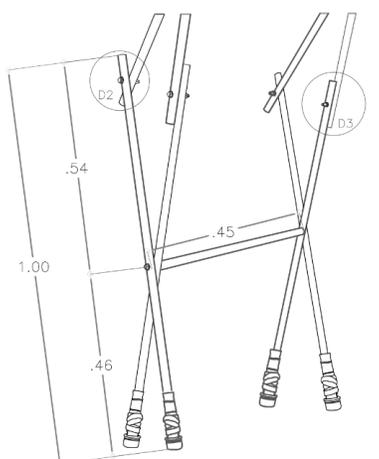
DETALLE 2
NODO 2



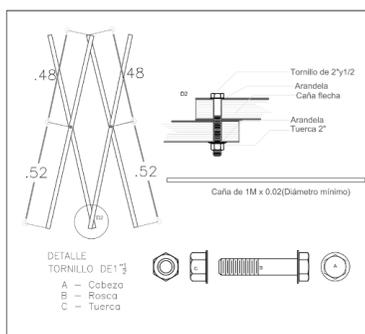
DETALLE 3



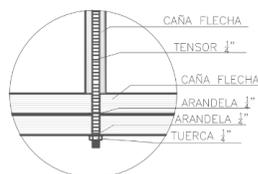
ELEVACIÓN FRONTAL DE UN MÓDULO



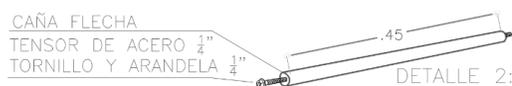
DETALLE 1: DISTANCIA ENTRE UNIONES



DETALLE
TORNILLO DE 1/2
A - Cabezo
B - Rosca
C - Tuerca



DETALLE CORTE
NODO CENTRAL



DETALLE 2: NODO CENTRAL

PLANOS ARQUITECTÓNICOS	
PLANCHA N°	DE
01	04



CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DEL CARIBE
C E C A R

PROYECTO

DESARROLLO DE UN ESPACIO TRANSFORMABLE A PARTIR DE UNA ESTRUCTURA DESPLEGABLE EN CAÑA FLECHA

PRESENTADO POR:

ANA E. RODRIGUEZ.

correo: ana.rodriguez@cecar.edu.co

JOSÉ A. VIERA G.

correo: jose.viera@cecar.edu.co

VALENTINA OSORIO

correo: valentina.osorio@cecar.edu.co

DIRECTOR:

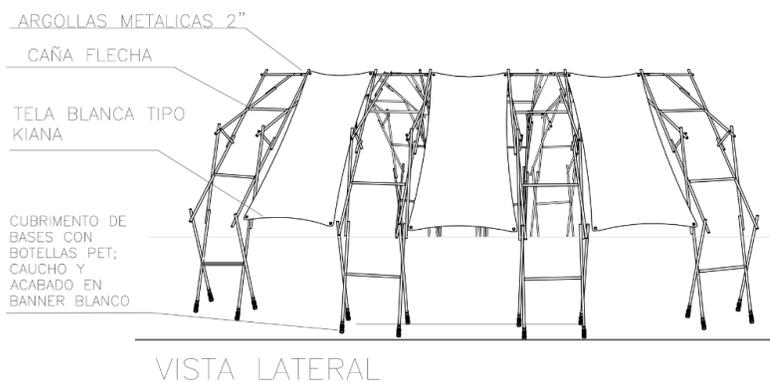
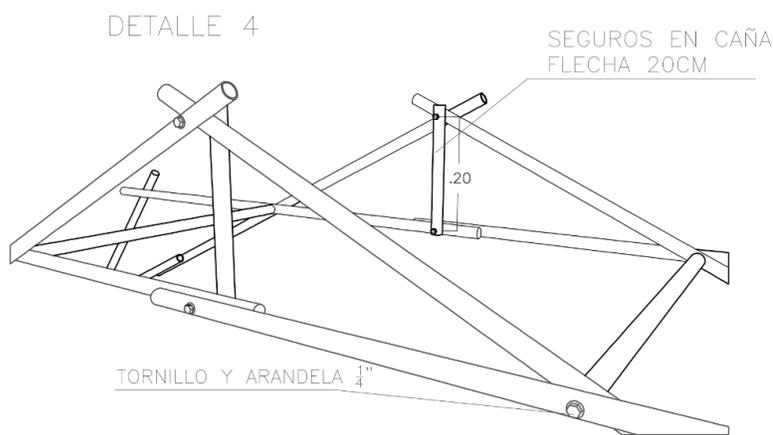
DR. ARO. PEDRO MARTINEZ.

CONTENIDO:

ELEVACIÓN MÓDULO
DETALLES ARQUITECTÓNICOS CONSTRUCTIVOS

ESCALAS:	FECHA:
ELEVACIÓN ESC. 1:50 DETALLES: ESC. 1:2	11/08/2022
ARCHIVO ISO A 4 DWG	FECHA DE MODIFICACION
PLANCHA N°	DE
01	04

DESARROLLO DE ESTRUCTURA PLEGABLE EN CAÑA FLECHA



NOTA:

LA INSTALACIÓN DEL SEGURO SE REALIZA POSTERIOR AL DESPLIEGUE DEL MÓDULO, CON BARRAS DE CAÑA FLECHA CORTADAS COMO MÍNIMO DE 0.27 M Y UNA DISTANCIA DE 20 CM ENTRE PERFORACIONES ESTAS, SE UNEN CON EL SOBRESALIENTE DE TORNILLO DE LOS NODOS TIPO 2

PLANOS ARQUITECTÓNICOS	
PLANCHA N°	DE
02	04



CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DEL CARIBE
C E C A R

PROYECTO

DESARROLLO DE UN ESPACIO TRANSFORMABLE A PARTIR DE UNA ESTRUCTURA DESPLEGABLE EN CAÑA FLECHA

PRESENTADO POR:

ANA E. RODRIGUEZ.

correo: ano.rodriguez@cecar.edu.co

JOSÉ A. VIERA G.

correo: jose.viera@cecar.edu.co

VALENTINA OSORIO

correo: valentina.osorio@cecar.edu.co

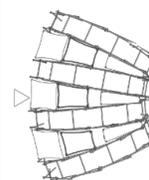
DIRECTOR:

DR. ARQ. PEDRO MARTINEZ.

PLANO DE REFERENCIA

CONTENIDO:

VISTA LATERAL
DETALLES
ARQUITECTÓNICOS
CONSTRUCTIVOS



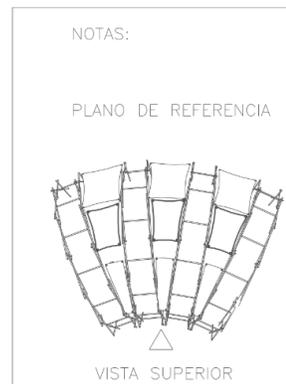
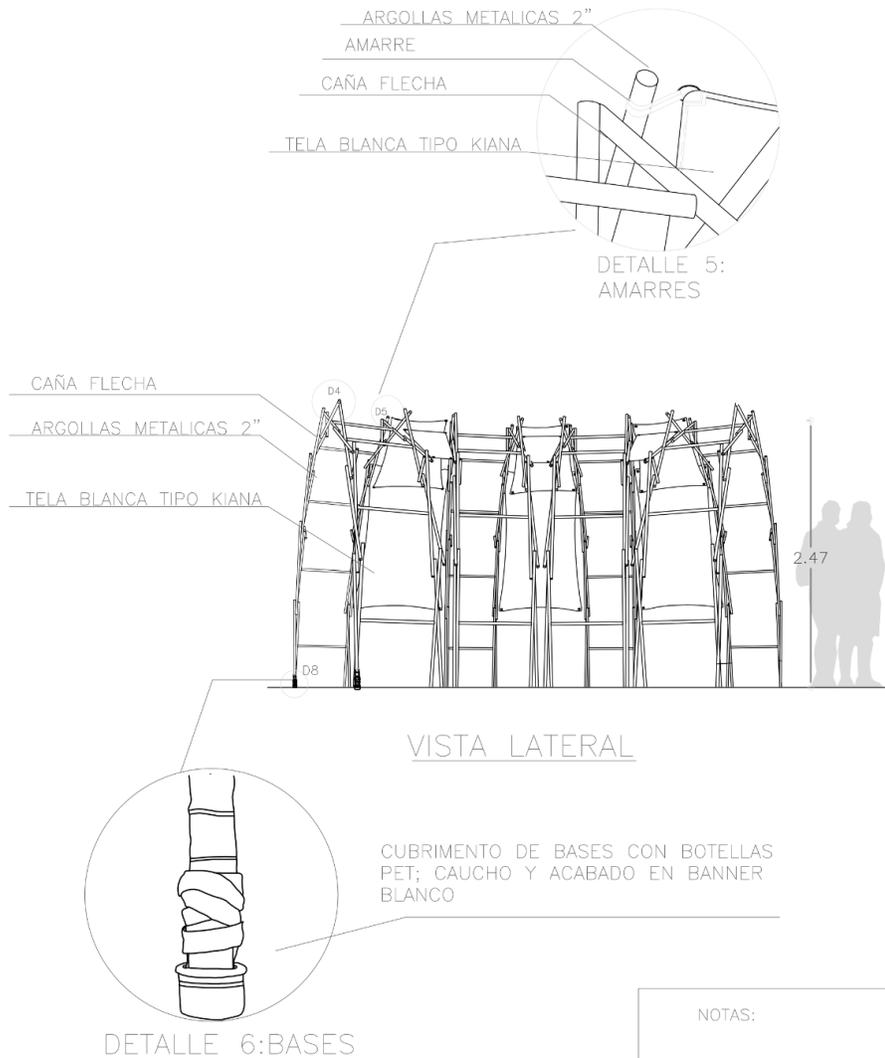
VISTA SUPERIOR

ESCALAS: ELEVACIÓN ESC. 1:50 DETALLES: ESC. GRAFICA	FECHA: 11/08/2022
---	----------------------

ARCHIVO ISO A 4 DWG	FECHA DE MODIFICACION
---------------------------	-----------------------------

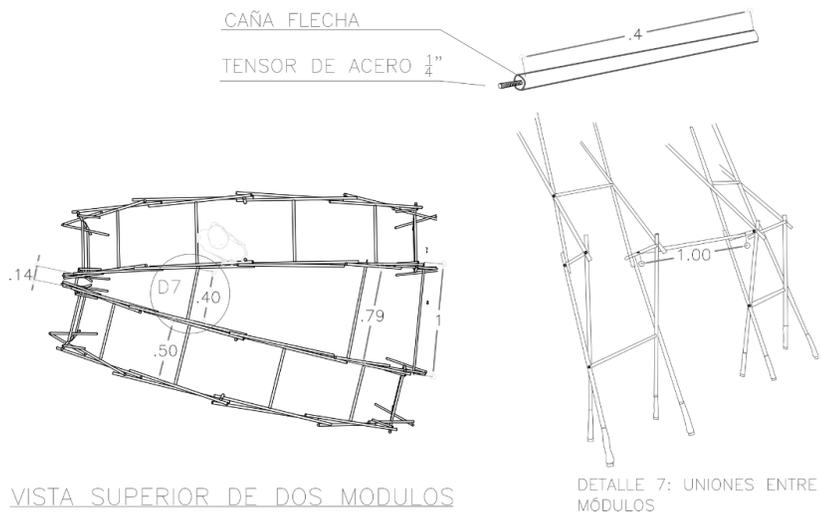
PLANCHA N°	DE
02	04

DESARROLLO DE ESTRUCTURA PLEGABLE EN CAÑA FLECHA



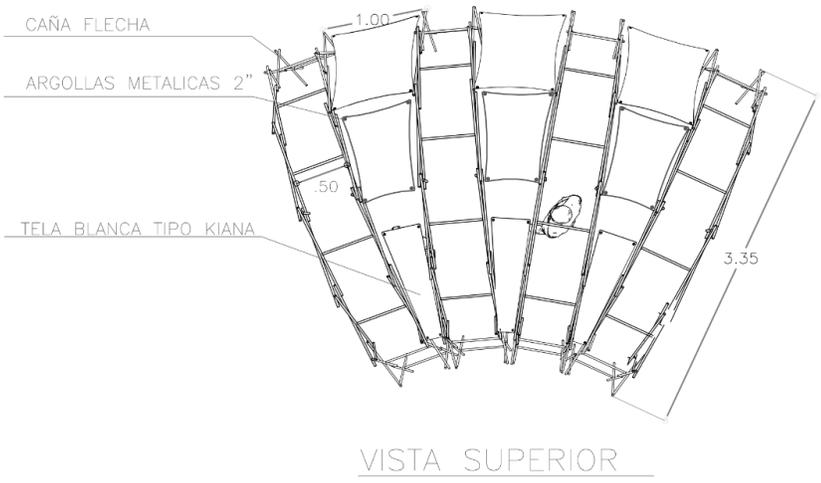
PLANOS ARQUITECTÓNICOS	
PLANCHA N°	DE
03	04
 CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DEL CARIBE C E C A R	
PROYECTO	
DESARROLLO DE UN ESPACIO TRANSFORMABLE A PARTIR DE UN A ESTRUCTURA DESPLEGABLE EN CAÑA FLECHA	
PRESENTADO POR:	
ANA E. RODRÍGUEZ. correo: ana.rodriguez@cecar.edu.co	
JOSÉ A. VIERA G. correo: jose.viero@cecar.edu.co	
VALENTINA OSORIO correo: valentina.osorio@cecar.edu.co	
DIRECTOR:	
DR. ARQ. PEDRO MARTÍNEZ.	
CONTENIDO:	
VISTA LATERAL DETALLES ARQUITECTÓNICOS CONSTRUCTIVOS	
ESCALAS:	FECHA:
ELEVACIÓN ESC. 1:50 DETALLES: ESC. 1:2	11/08/2022
ARCHIVO ISO A 4 DWG	FECHA DE MODIFICACION
PLANCHA N°	DE
03	04

DESARROLLO DE ESTRUCTURA PLEGABLE EN CAÑA FLECHA



VISTA SUPERIOR DE DOS MÓDULOS

DETALLE 7: UNIONES ENTRE MÓDULOS



VISTA SUPERIOR

PLANOS ARQUITECTÓNICOS	
PLANCHA N° 04	DE 04
 CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DEL CARIBE C E C A R	
PROYECTO DESARROLLO DE UN ESPACIO TRANSFORMABLE A PARTIR DE UNA ESTRUCTURA DESPLEGABLE EN CAÑA FLECHA	
PRESENTADO POR: ANA E. RODRIGUEZ. correo: ana.rodriguezr@cecar.edu.co JOSÉ A. VIERA G. correo: jose.viera@cecar.edu.co VALENTINA OSORIO correo: valentina.osorio@cecar.edu.co	
DIRECTOR: DR. ARQ. PEDRO MARTINEZ.	
CONTENIDO: VISTA SUPERIOR	
ESCALAS: 1:50	FECHA: 11/08/2022
ARCHIVO ISO A 4 DWG	FECHA DE MODIFICACION
PLANCHA N° 04	DE 04

DESARROLLO DE UNA ESTRUCTURA PLEGABLE EN CAÑA FLECHA P1

ANA RODRIGUEZ
VALENTINA OSORIO
JOSE VIERA

A LO LARGO DE LA HISTORIA, EL HOMBRE HA TENTADO LA NECESIDAD DE MODIFICAR LOS FORMOS Y ADAPTARLOS A SUS CAMBIANTES NECESIDADES. LA ARQUITECTURA TRANSFORMANTE HA SIDO FORMADA PARA SOLVENTAR LA NECESIDAD DE LEVANTAR Y DESMONTAR ESPACIOS DE FORMA RAPIDA, PERMITIENDO LA POSIBILIDAD DE TRANSPORTAR ELEMENTOS QUE PERMITAN LA TRANSFORMACION DE UN ESPACIO. EN PRESENTE EN EL CORPUS DE LA INDUSTRIA DE ESTRUCTURAS DE ALUMINIO, ACERO Y LAS MADERAS SON USADOS PARA LA ARQUITECTURA TRANSFORMANTE. SE MIRA A FIN A ANALIZAR LA TRANSFORMABLE Y PORQUE DESARROLLAR EN EL TERCER LUGAR, E INVESTIGAR ESTABLECIENDO UN PUNTO CULTURAL QUE PROBLEMA LA LABOR DEL ABOGADO ANALIZANDO ENTRE EL DISEÑO DE ESTRUCTURAS PLEGABLES Y UN MATERIAL LOCAL COMO LO ES LA CAÑA FLECHA.

PARA SER EN LA FORMA DE LOS MÓDULOS SE DISEÑA UN ARQUITECTO CENTRADO EXPERIMENTAL, DE FORMA EMPUJANDO HACIENDA UNA PUNTO EN UNO, SE PASA UNA EN OTRAS UNAS LETAS DESDE SU DISEÑO, ESTOS LINEAS DE REFERENCIA REPRESENTAN LA DEFINICIÓN DE LAS BASES EN UNO Y OTRAS UNAS, COMO SE MUESTRAN LAS BASES DE TIJERAS, EL TIPO DE ESTRUCTURA TIPO EQUILIBRO DE OTRAS DE TIJERAS EXCÉNTRICAS LAS UNIDADES, COMO SE MUESTRAN UNO LÍNEAS UNAS, MANTENIENDO UNO DE LAS TIJERAS EXCÉNTRICAS SE BUSCA QUE EL SISTEMA PUEDA SER USADO EN UNOS OTRAS UNAS DE FORMA TRANSFORMANTE.

UNIÓN Y DESPLIEGUE DE LA ESTRUCTURA

UNIÓN DE TIJERAS DE FORCA EXCÉNTRICA

DESPLIEGUE DE 8 TIJERAS EXCÉNTRICAS UNIDAS

APERTURA INTERMEDIA DE TIJERAS

APERTURA TOTAL DE TIJERAS

UNIÓN DE TIJERAS FORMANDO UN MÓDULO

UNIÓN DE MÓDULOS POR MEDIO DE CAÑA REFORZADA

ESTRUCTURA DE MÓDULO TRIANGULAR

PARTE PARA LA FORMACIÓN DE UNOS TIPO TIJERAS A PARTIR DE LA ESTRUCTURA

MÓDULO EXPERIMENTAL A BASE DE UN TRIÁNGULO PRODUCE 1 Y 2 Y 3

REPRESENTACIÓN FINAL DE TIJERAS PREVIA A FORMAR UN MÓDULO

DETALLE DE UNIÓN DE NODOS

CORTE DE NUDO CENTRAL QUE UNE LAS TIJERAS

DETALLE DE LAS BASES DE LA ESTRUCTURA

AMARRADO DE LONAS A LA CAÑA POR MEDIO DE CAÑAMO

ARCOS METÁLICOS 2"

AMARRADO

CAÑA FLECHA

TIPO DE CAÑA

COBERTURA DE UNAS BOTELLAS METÁLICAS Y AMARRADO EN BANNER BLANCO

PROTOTIPO PEGABLE TIPO PABELLÓN

PROTOTIPO PEGABLE TIPO DOMO

PROTOTIPO PEGABLE TIPO PABELLÓN

PROTOTIPO PEGABLE TIPO DOMO

PROTOTIPO PEGABLE TIPO PABELLÓN

PROTOTIPO PEGABLE TIPO DOMO