

## ANEXO 6

### FORMATO DE INFORME DE AVANCE FÍSICO-FINANCIERO

#### N° \_\_\_\_ INFORME FINAL DE AVANCE FÍSICO Y FINANCIERO

Proyecto: [“EJECUCIÓN DE UNA ESTRUCTURA DESPLEGABLE DE TETRASPAS PARA COBERTURAS DE

GRANDES LUCES EN OBRAS DE CONTINGENCIA EN EL SECTOR EDUCATIVO USANDO PROCESOS DE FABRICACIÓN DIGITAL”

#### I. Descripción del Proyecto

Breve descripción del proyecto, incluyendo su objetivo principal y alcance.

#### II. Objetivos del Proyecto

**Objetivo General:** Ejecutar una estructura desplegable que funcione como cobertura en escala 1:1 usando procesos de fabricación digital en un laboratorio Fab Lab acondicionado en la Universidad Nacional de Piura, la cual cubra el 50% de un patio educativo siguiendo las directivas de Minedu- PRONIED para ofrecer un aporte a las obras provisionales en el sector educativo.

**Objetivos Específicos:**

Utilizar un proceso de diseño el cual nos brinde posibilidades de poder usar los procesos de fabricación digital y así obtener desde los prototipos 1 en 10, hasta el prototipo definitivo 1 en 1.

Usar diseño paramétrico para controlar la geometría de la estructura en sus diferentes estados.

Desarrollar prototipos para comprender y analizar de forma exacta la transformación de la estructura y los diferentes procesos mecánicos que esta sufre mientras realiza su movimiento.

Diseñar cada componente de la estructura según: uniones, refuerzos (de necesitarlos), una cubierta textil la cual se enganche en las mismas uniones.

Solucionar la evacuación pluvial de la cubierta textil para evitar su deterioro.

Generar apoyos móviles como ruedas para no anclarse al suelo y permitir su fácil movimiento ( Solo en los momentos de instalación, deberá tener dispositivos de frenos para seguridad). Estas deberán ser ajustables para poder adaptarse a las diferentes topografías que se nos presente.

Calcular con el software estructural SAP 2000 la dimensiones y deformaciones de las barras y su espesor según la luz que cubrirá. Las barras cuando entran en el proceso de transformación sufren estados extremos, aún más grandes que cuando está la estructura en su forma totalmente desplegada, es por ello que usaremos aluminio por su bajo módulo de elasticidad.

Iniciar el primer Fab Lab para siguientes proyectos de investigación aplicada.

Que sea un aporte que quede abierto a diferentes casos, ya sea en la arquitectura de emergencia o algún otro campo como el aeroespacial, no solo con una monografía, si no con prototipos de escala humana que demuestran la eficiencia de este tipo de estructuras.

### III. Estado Actual del Proyecto

*Desarrollo de prototipo a escala 1/1 y conclusiones finales- presentación de informe final*

### IV. Avance Físico del Proyecto

[Desarrollo de prototipo a escala 1/1 y conclusiones finales- presentación de informe final]

[Porcentaje de Avance: 100%]

Tabla 1. Descripción de Actividades Realizadas

N°	Actividades Realizadas	Porcentaje de Avance
1	<b>Desarrollo de prototipo a escala 1/1 y conclusiones finales- presentación de informe final</b>	100%

Elaboración propia.

### V. Avance Financiero del Proyecto

Gastos Realizados: Registro detallado de los gastos efectuados hasta el momento.

Presupuesto Ejecutado: Comparación entre el presupuesto planificado y el real.

Tabla 2. Detalle de Gastos por Categoría

Adjunto el cuadro detallado de los gastos hasta la fecha:



## VI. Problemas y Desviaciones del plan original

La investigación ha seguido la línea de desarrollo tal cual se planteó.

## VII. Conclusiones

Los referentes están ayudando a sustentar la idea de utilizar las estructuras desplegables con el uso de tecnologías contemporáneas como lo es la impresión 3d.

## IX. Anexos

[Los anexos deben incluir órdenes de compra, órdenes de servicio, boletas de compra, factura, recibos u Otros documentos relacionados con los gastos realizados en el proyecto, actas de conformidad de recepción de bienes y servicios, hasta la fecha. De ser posible incluir gráficos, tablas de datos, fotografías, imágenes que ilustren el estado actual del proyecto].

Fecha: 21 de noviembre de 2025



---

**M.Sc. Fabio Samuel Carbajal Bengoa**

DNI 08665839

Investigador Principal



---

**Stevenson Lee Reforme Trelles**

DNI 70088432

Coinvestigador



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA**  
FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO



**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

“EJECUCIÓN DE UNA ESTRUCTURA DESPLEGABLE DE TETRASPAS PARA COBERTURAS DE GRANDES LUCES EN OBRAS DE CONTINGENCIA EN EL SECTOR EDUCATIVO USANDO PROCESOS DE FABRICACIÓN DIGITAL ”

INFORME FINAL

Presentado por:

Msc. Arq. Fabio Samuel Carbajal Bengoa  
Mg. Arq. Stevenson Lee Reforme

Piura, Perú, 2025

# INFORME FINAL -

## *Prototipo escala 1 en 5*

*Este informe aborda el desarrollo del ensamblaje y construcción del prototipo de una estructura desplegable de tetrapas es escala 1 en 5, en el que se detalla todo el proceso que se ha realizado desde la fabricación de las piezas en impresión 3D hasta la colocación de la cubierta, pasando por una serie de pruebas y errores que han permitido ir perfeccionando el prototipo, las mismas que han sido llevadas a la par de un cálculo estructural que brinde la seguridad de que el protitpo este apto para ser sometido a todas las cargas posibles que puedan afectar.*

R

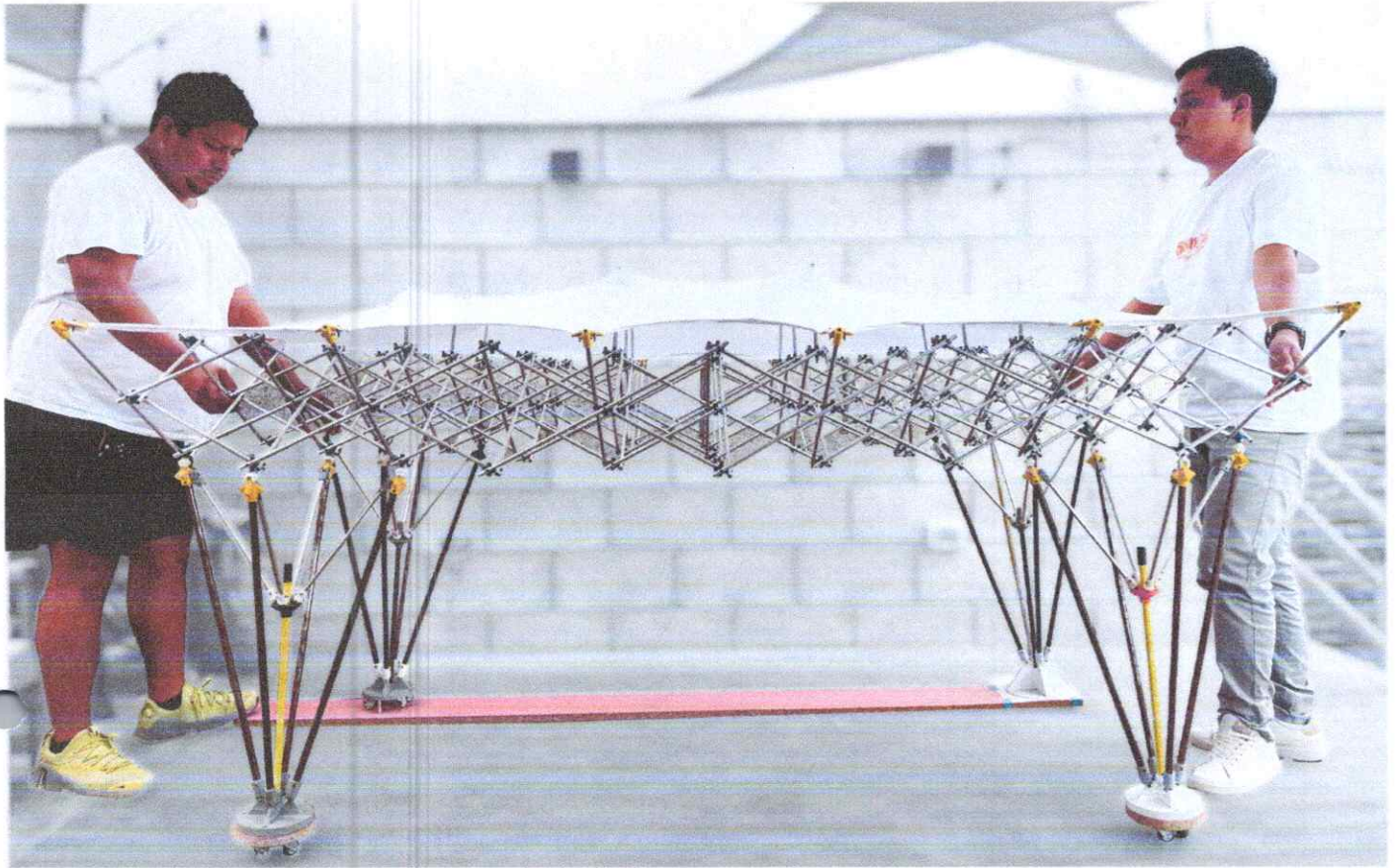


Figure 1.0. Etapas de plegadura del prototipo de estructura desplegable de tetrapas en escala 1 en 10  
Fuente: Elaborado por el autor

## 1) Desarrollo del prototipo 1 en 5.

### 1.1) Introducción.

El desarrollo de estructuras desplegables ha constituido un campo de investigación arquitectónica y de ingeniería con amplia proyección en contextos que demandan soluciones temporales, eficientes y de rápida implementación. Para su estudio, la construcción de maquetas a distintas escalas se ha consolidado como una herramienta fundamental para validar principios estructurales y de movimiento. En este sentido, la utilización de escalas intermedias como 1:10, 1:5 o 1:2.5 resulta especialmente ventajosa, ya que permite reproducir con precisión la geometría, los mecanismos de despliegue y las condiciones de carga sin incurrir en los elevados costos, tiempos y complejidades logísticas que conlleva un prototipo en escala 1:1.

Dentro de este marco, se identifican antecedentes relevantes en la investigación internacional que respaldan el uso de prototipos en escala 1:5 como una metodología válida para el análisis experimental. Diversos autores y referentes en el estudio de estructuras desplegables han recurrido a esta escala, dado que constituye un punto de equilibrio entre el detalle constructivo y la factibilidad de ejecución.

Dichos prototipos han sido sometidos a pruebas en túneles de viento, análisis de despliegue y ensayos de resistencia, obteniéndose resultados confiables que posteriormente son extrapolados con éxito a proyectos en escala real. De esta manera, la maqueta 1:5 no solo se justifica como una alternativa económica y práctica, sino también como un estándar ampliamente aceptado en la investigación y desarrollo de este tipo de estructuras.

## 2) Construcción del prototipo 1 en 5.

### 2.1) Introducción

El proceso de desarrollo y construcción de un prototipo arquitectónico comprende diversas etapas clave, comenzando con la creación de una versión a escala reducida y culminando en la construcción a tamaño real. En este caso, la fabricación del prototipo a escala 1:10 permitió perfeccionar tanto el diseño estructural como las soluciones tecnológicas necesarias antes de proceder a la versión final a escala 1:5. La implementación de herramientas digitales avanzadas resultó fundamental para realizar simulaciones precisas del comportamiento estructural, permitiendo identificar puntos críticos y optimizar tanto las uniones como la distribución de fuerzas en la estructura.

Uno de los desafíos más importantes fue el diseño de las uniones, que fueron producidas mediante impresión 3D. Durante la fase de pruebas en el comienzo del ensamblaje del prototipo 1:5, se detectaron problemas de resistencia en los soportes de la estructura, lo que llevó a una serie de ajustes en el diseño. Estos cambios implicaron el rediseño de las patas de la estructura, cambiando los espesores de los tubos y los anclajes de los mismo, par así poder soportar las cargas a las que están sometidas este prototipo y a una escala mayor.

La construcción del prototipo a escala 1:5 se llevó a cabo utilizando los mismos materiales empleados en la versión reducida, pero adaptados a las dimensiones de la estructura. En este proceso, la fabricación digital continuó siendo una herramienta esencial, garantizando precisión en la creación de las uniones y facilitando la optimización del tiempo de construcción. Este enfoque interactivo, desde el prototipo a escala hasta la construcción final, no solo asegura la viabilidad técnica del proyecto, sino que también resalta la importancia de la fabricación digital y el diseño paramétrico en la arquitectura móvil moderna, garantizando un producto final que cumple con las exigencias de estabilidad, funcionalidad y seguridad.

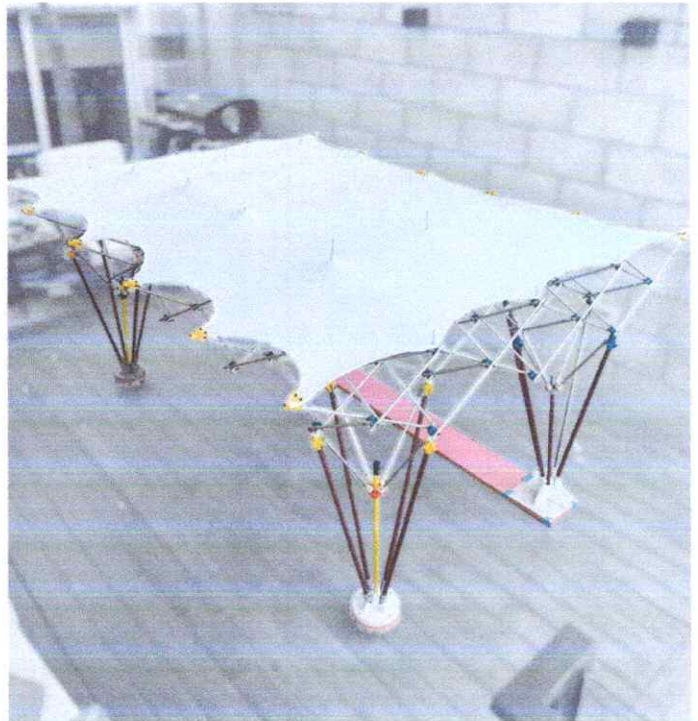


Figura 3.0 Prototipo escala 1 en 5 desplegado  
Fuente: Elaborado por el autor

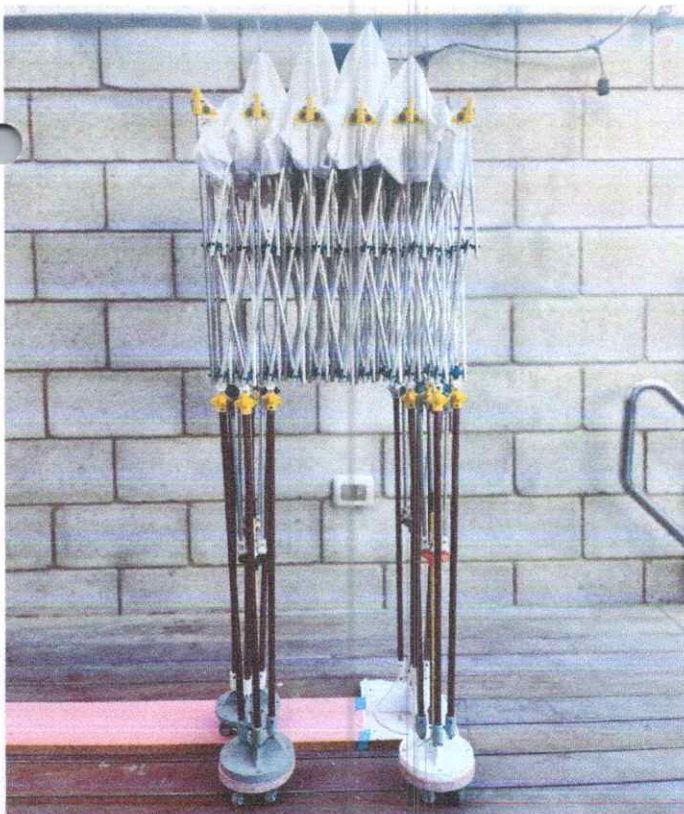


Figura 2.0 Prototipo escala 1 en 5 plegado  
Fuente: Elaborado por el autor

*[Handwritten signature]*

### 3) De la fabricación digital

#### 3.3) Perfeccionamiento del prototipo a escala 1 en 10

Tras el diseño y desarrollo del proyecto utilizando los software mencionados anteriormente, se procede a la fase de validación en el mundo real, donde se verifica si los mecanismos utilizados en el entorno digital funcionan conforme a lo previsto en las simulaciones. Este paso es crucial, ya que permite contrastar el comportamiento virtual con el físico y ajustar cualquier posible discrepancia entre ambos.

La construcción del prototipo se llevará a cabo en paralelo con técnicas de fabricación digital avanzadas. Las uniones estructurales serán fabricadas mediante impresión 3D, lo que garantiza precisión y personalización en la creación de cada componente. Para el esqueleto de la estructura, se emplearán tubos de aluminio que funcionarán como barras, aportando ligereza y resistencia. Estas barras serán fijadas mediante pernos, que servirán como anclajes para asegurar la correcta conexión entre las uniones impresas y las partes metálicas.

Este proceso no solo garantiza la precisión en la manufactura del prototipo, sino que también permite optimizar el tiempo de construcción y asegurar que el diseño paramétrico concebido inicialmente se materialice con exactitud en el entorno físico.

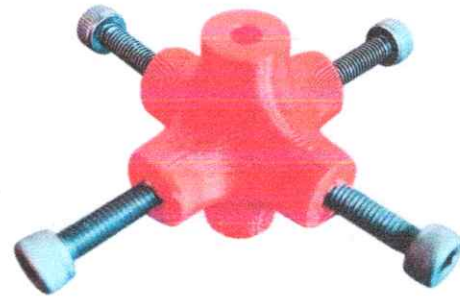


Figure 5.0 Unión ideal fabricada con impresión 3D  
Fuente: Elaborado por el autor

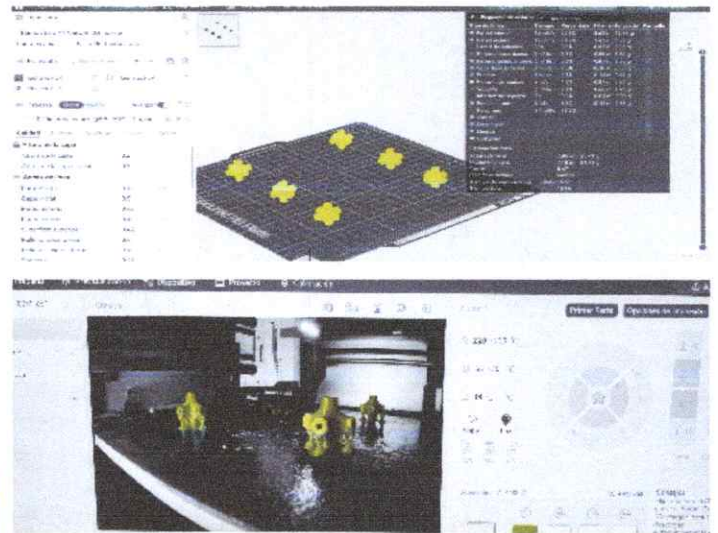


Figure 6.1 y 6.2 . Programación digital e impresión de uniones 3D  
Fuente: Elaborado por el autor



Figura 4.0 Impresión 3D de unión para prototipo (Fabricación digital).  
Fuente: Elaborado por el autor

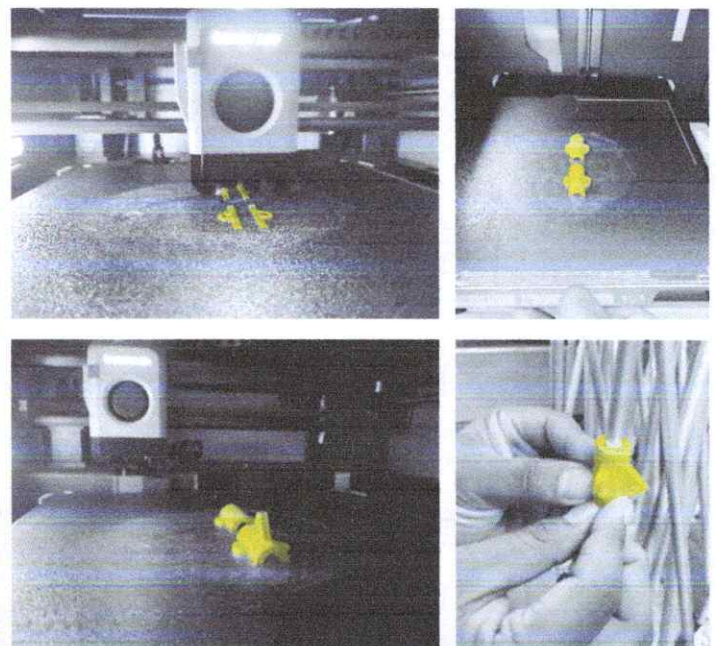


Figure 7.1, 7.2, 7.3 y 7.4 . Secuencia de impresiones 3D  
Fuente: Elaborado por el autor

El prototipo ha sido perfeccionado a lo largo de su proceso de desarrollo, mediante un enfoque iterativo que ha permitido optimizar tanto las uniones como la estructura general. Las uniones, en particular, han sido refinadas para no solo cumplir con sus funciones primarias de movimiento y anclaje, sino también para ser lo suficientemente robustas como para soportar las fuerzas internas y externas que actúan sobre la estructura. Todo esto se ha logrado sin aumentar innecesariamente el volumen de las uniones, manteniendo un equilibrio adecuado en el uso de materiales y evitando desperdicios en zonas donde no se requiere una resistencia adicional.

Con este enfoque, se han introducido nuevas configuraciones y formas para las uniones, adaptándose a las necesidades específicas del prototipo. Cada ajuste ha permitido mejorar la funcionalidad de la estructura, asegurando que las uniones cumplan su rol sin comprometer la eficiencia material ni la estabilidad. Uno de los avances en este proceso ha sido la implementación de cables de tensión, los cuales son esenciales para proporcionar el movimiento desplegable de la estructura y garantizar su estabilidad una vez expandida. Aunque esta fase ha sido exitosa en gran medida, la optimización de los cables de tensión continúa, buscando perfeccionar su integración en el prototipo para lograr un rendimiento óptimo en cada despliegue.



Figure 8.0. Prototipo de estructura desplegable escala 1 en 1  
Fuente: Elaborado por el autor

## 4 )De los tetraspas

### 4.1 Mallas longitudinales de tetraspas.

La unión de varios módulos de tetraspa en una dirección plantean un malla longitudinal. Su expansión máxima de la malla longitudinal estará determinada por la expansión máxima de un módulo y el número de veces que este se repite para formar la malla longitudinal. Es importante que los módulos sean idénticos en geometría; el diámetro de la barra y el conector deben tener la misma medida en todos los módulos para poder ser articulados entre sí. Esta consideración es clave ya que para alcanzar su máxima resistencia la malla, las barras deben estar tangentes entre sí.

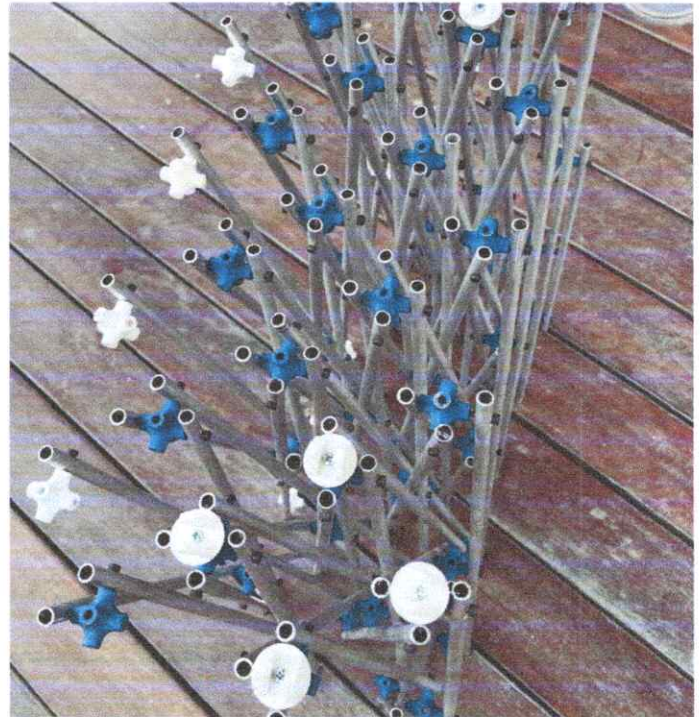


Figura 9.0 Estructura de módulos de tetraspas  
Fuente: Elaborado por el autor

### 4.2. Mallas planas de tetraspas.

Partiendo de una malla longitudinal la cual es una repetición de módulos de tetraspas individuales articulados entre si en una sola dirección, procedemos a repetir en dos direcciones ( eje x y eje y) los módulos de tetraspas, con lo cual obtendremos una malla plana. Al igual que un módulo, pasando por la malla longitudinal, el máximo despliegue dependerá de la relación entre el diámetro de las 4 barras y el diámetro de la articulación que componen el módulo de tetraspa, por lo cual se sabrá su máximo despliegue conociendo el despliegue máximo de un módulo y las veces que este se repite en ambas direcciones para generar una malla plana.

Según lo analizado con una malla longitudinal podemos plantear que se repetirá lo mismo en una malla plana. Lo interesante será que las barras que reaccionan primero al plegado dependerán de la dirección donde se comprime para plegarse. Por ejemplo en la Fig. 9 se puede ver como al comprimir la estructura de forma paralela a esta, actúan las barras de esa forma, como "aspas tridimensionales" y si observamos la Fig. 10 observaremos que al comprimir la estructura con dirección de 45° las barras actúan como "aspas tridimensionales" en ambas direcciones.

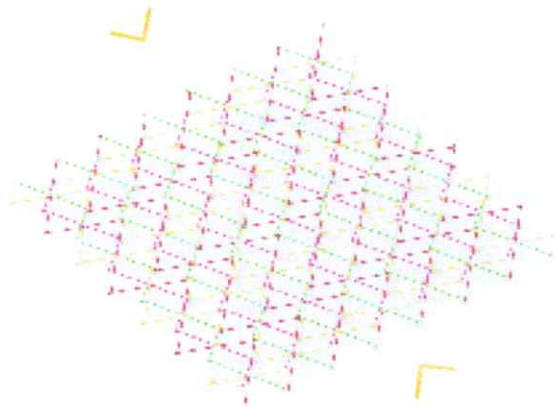


Figura 10.1 Barras articuladas según dirección de plegado. Fuente: Elaborado por el autor.

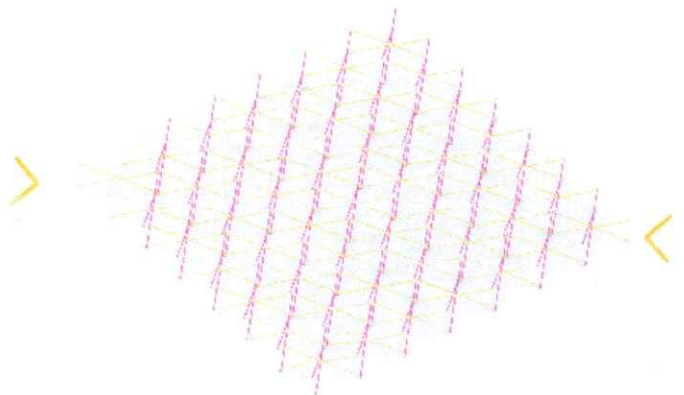


Figura 10.2. Barras articuladas según dirección de plegado. Fuente: Elaborado por el autor.

## 5) De los apoyos

### 5.1 La base

Para la base del sistema se desarrolló un prototipo con geometría circular, concebido como el punto de contacto principal entre la estructura completa y la superficie de apoyo. La elección de una base circular responde a la necesidad de distribuir uniformemente las cargas y proporcionar un área suficientemente amplia que garantice estabilidad estática y dinámica durante el funcionamiento del prototipo.

El diseño de la base se realizó considerando el ensamblaje de la estructura de tetrapas. Por este motivo, se integraron cuatro puntos de apoyo estratégicamente ubicados para el anclaje de los brazos estructurales, asegurando una transferencia eficiente de esfuerzos y una correcta alineación geométrica. Adicionalmente, se incorporó un soporte central destinado a alojar y proteger el mecanismo de control responsable del movimiento de plegado y despliegue, permitiendo su operación sin interferencias y con la rigidez necesaria.

Toda la base fue fabricada mediante impresión 3D, optimizando parámetros como el tipo de relleno, porcentaje de densidad, orientación de capas y espesor de pared. Estas consideraciones aseguran que la pieza pueda soportar adecuadamente las cargas distribuidas y concentradas a las que será sometida durante su uso.

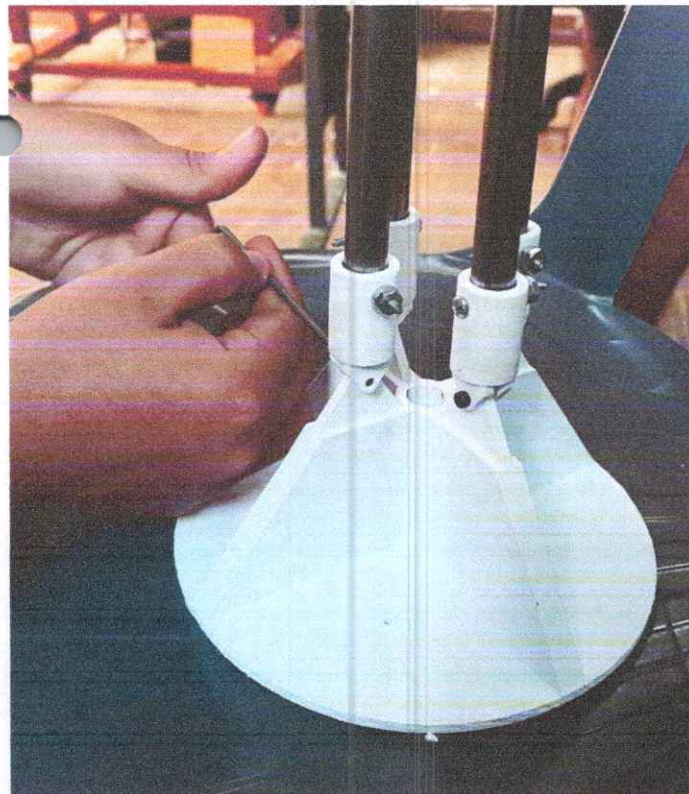


Figura 11.0 Ensamblaje de apoyos para soporte de estructura desplegable  
Fuente: Elaborado por el autor

### 5.2 Los apoyos

Para los elementos de apoyo, y tras la realización de diversas pruebas experimentales orientadas a verificar el correcto desempeño estructural bajo condiciones de carga y movimiento, se determinó la necesidad de emplear tuberías de aluminio con un mayor diámetro y espesor. Esta decisión responde a criterios de resistencia mecánica, rigidez y estabilidad, garantizando que los apoyos puedan soportar las sollicitaciones generadas por la estructura modular de tetrapas sin comprometer su integridad. Como consecuencia, los apoyos presentan dimensiones superiores a las inicialmente consideradas, asegurando un adecuado margen de seguridad.

Los soportes están conectados entre sí y al eje central mediante tubos de aluminio adicionales, los cuales conforman el sistema articulado responsable del movimiento de apertura y contracción. Dichos elementos funcionan en conjunto con el mecanismo central, que se desplaza a lo largo del eje Z para accionar el movimiento de plegado y desplegado. Esta configuración permite una transmisión eficiente del movimiento, manteniendo la geometría del sistema y asegurando una operación controlada y consistente.

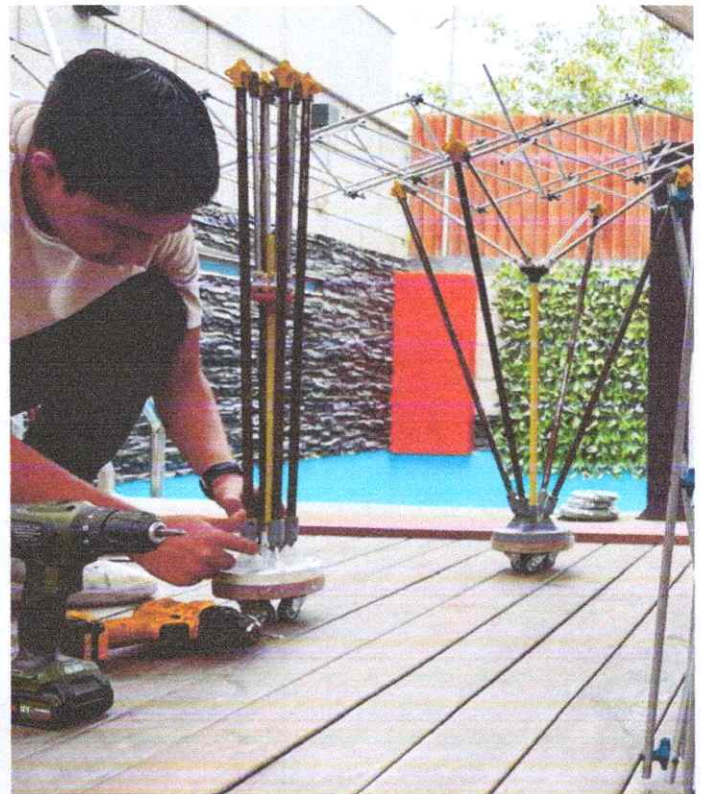


Figura 12.0 Ensamblaje de apoyos para soporte de estructura desplegable  
Fuente: Elaborado por el autor

### 5.3 Prueba - error

Con el fin de garantizar la fiabilidad operativa del prototipo y validar el desempeño de cada uno de sus componentes, se llevó a cabo un conjunto de pruebas experimentales orientadas a identificar posibles fallos estructurales, funcionales y de ensamblaje. Estas pruebas incluyeron evaluaciones de resistencia a carga, análisis de estabilidad bajo diferentes configuraciones de apertura y cierre, y ensayos de repetición cíclica del mecanismo de plegado y despliegue.

Durante el proceso se monitorizaron parámetros críticos como deformaciones, holguras en las uniones, comportamiento de los apoyos ante cargas variables y el desempeño del mecanismo central en el eje Z. Asimismo, se evaluó el ajuste dimensional de las piezas impresas en 3D y la respuesta de las tuberías de aluminio frente a esfuerzos dinámicos y estáticos.

Los resultados permitieron detectar puntos susceptibles de mejora, tales como la necesidad de incrementar la rigidez en los apoyos y optimizar el diseño del sistema articulado para reducir tensiones concentradas. Estos hallazgos fueron fundamentales para la toma de decisiones respecto a la selección de materiales, aumento de espesores, rediseño de uniones y ajustes en la geometría general, asegurando así un funcionamiento confiable y una mayor vida útil del conjunto estructural.

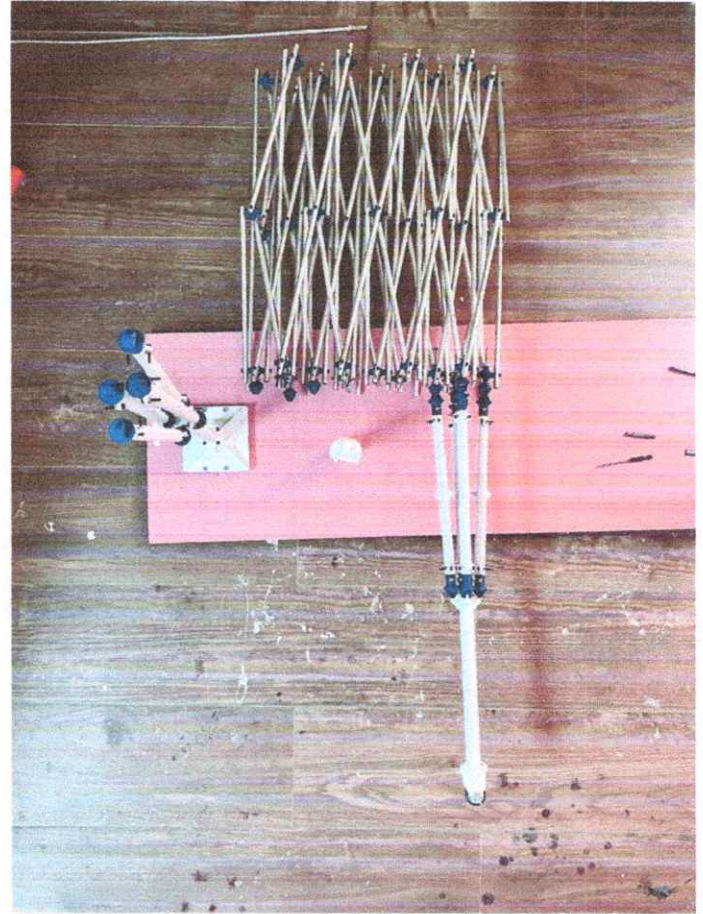


Figura 14.0 Ensamblaje de estructura lineal con un soporte al segundo apoyo.  
Fuente: Elaborado por el autor



Figura 13.0. Prueba de despliegue de la estructura de un módulo lineal  
Fuente: Elaborado por el autor

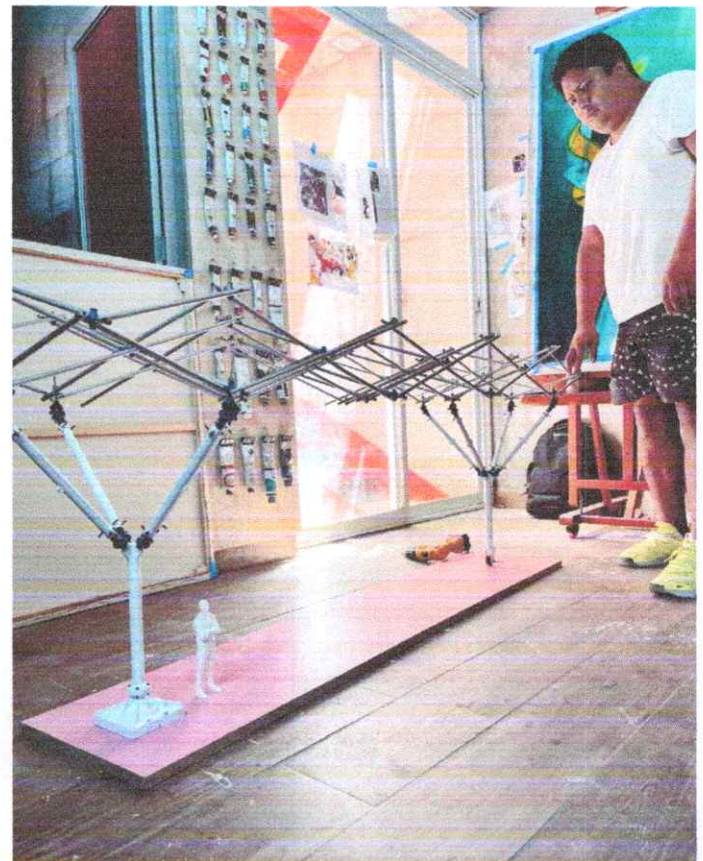


Figura 15.0. Prueba de despliegue de la estructura de un módulo lineal  
Fuente: Elaborado por el autor

## 6) Ensamblaje y construcción



Figura 16.0. Proceso de construcción y ensamblaje de prototipo escala 1 en 5  
Fuente: Elaborado por el autor

### 6.1 Ensamblaje y construcción

Con el diseño de las uniones prácticamente definido y a partir de los ensayos preliminares realizados, se procedió a la construcción de una maqueta experimental destinada a contrastar y validar la teoría estructural planteada. Para su ejecución se utilizaron varillas de aluminio de 60 cm, que conformaron una malla con unas dimensiones de 2.20 m de longitud por 1.30 m de ancho. Gracias al sistema de uniones, al desplegarse dichos módulos cubrirían en su equivalencia a escala real aproximadamente más de 11 metros de cobertura continua en situaciones de emergencia.

Durante la etapa de proyección del ensamblaje, se diseñaron y fabricaron piezas adicionales orientadas a la fijación y apoyo de la estructura, las cuales cumplen un rol equivalente al de dados de concreto en un escenario de aplicación real. Asimismo, considerando el propósito del prototipo como solución para situaciones de contingencia, se incorporó movilidad en la base estructural, lo que permite un despliegue más eficiente y estable en ambos ejes principales de la configuración espacial.



Figura 17.0. Ensamblaje de tetrapas en las patas de apoyo de la estructura.  
Fuente: Elaborado por el autor



Figura 18.0. Ensamblaje de módulos de tetraspas hacia los apoyos.  
Fuente: Elaborado por el autor



Figura 19.0. Ensamblaje de módulos de tetraspas hacia los apoyos.  
Fuente: Elaborado por el autor

## 6.2 Procedimiento

Para el proceso del ensamblaje se hizo una secuencia para el correcto ensamblaje y a la vez probar el funcionamiento para futuras construcciones

1. Fabricación de un módulo lineal de tetraspas que consisten en 4 módulos ensamblados en una sola dirección.
2. Estos módulos se anclarán a sus apoyos, primero hacia el apoyo fijo. El cual será el punto de partida para el emplazamiento del prototipo sobre la superficie.
3. Anclaje al apoyo móvil.
4. Fabricación del resto de módulos de tetraspas para cubrir la luz restante.
5. Anclaje del resto de módulos de tetraspas a los otros dos apoyos móviles
6. Anclaje de la estructura 2 a la 1 para hacer una estructura uniforme
7. Ensamblaje de la cubierta téxtil

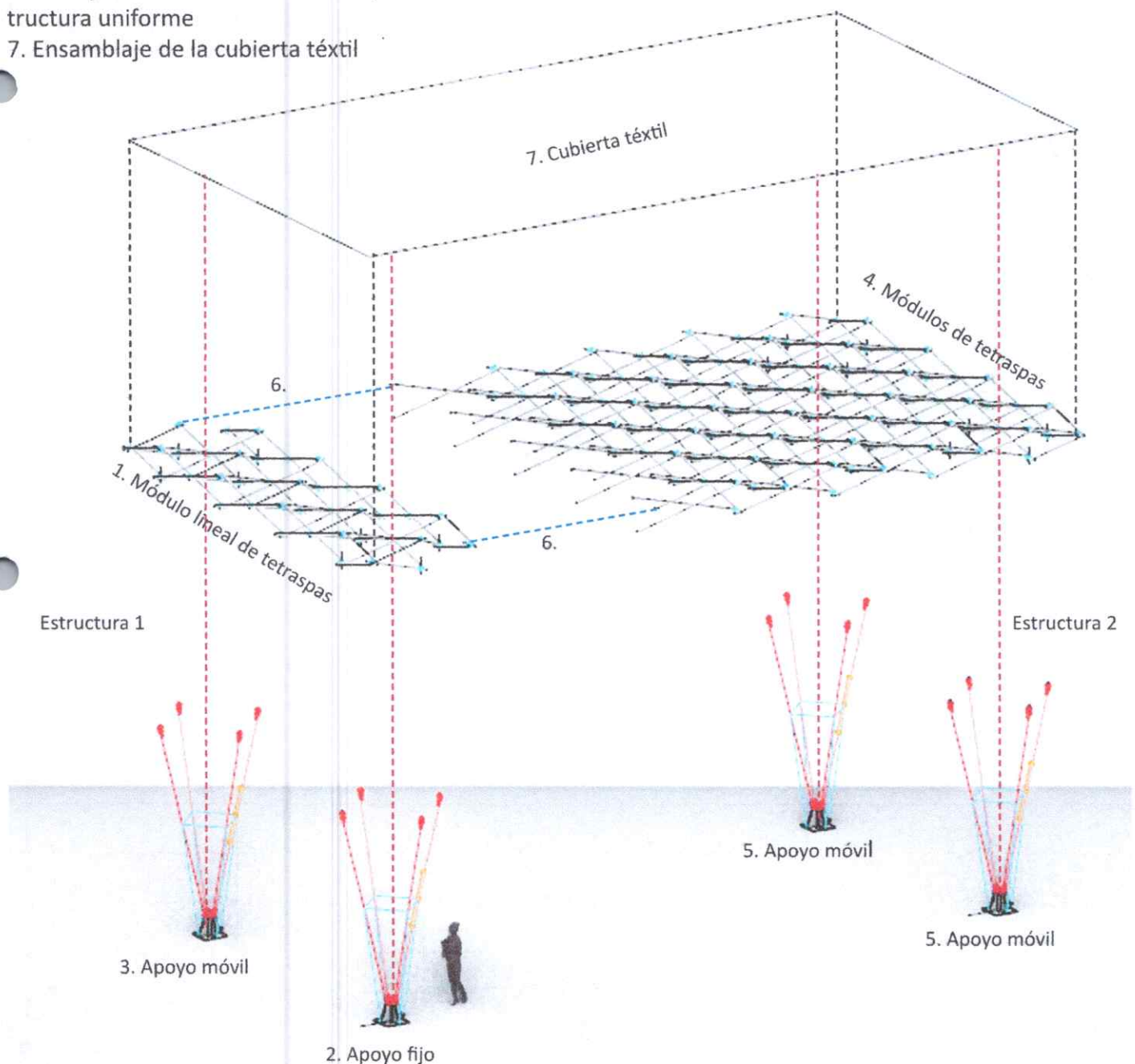


Figura 20. Proceso de ensamblaje y construcción de prototipo desplegable  
Fuente: Elaborado por el autor

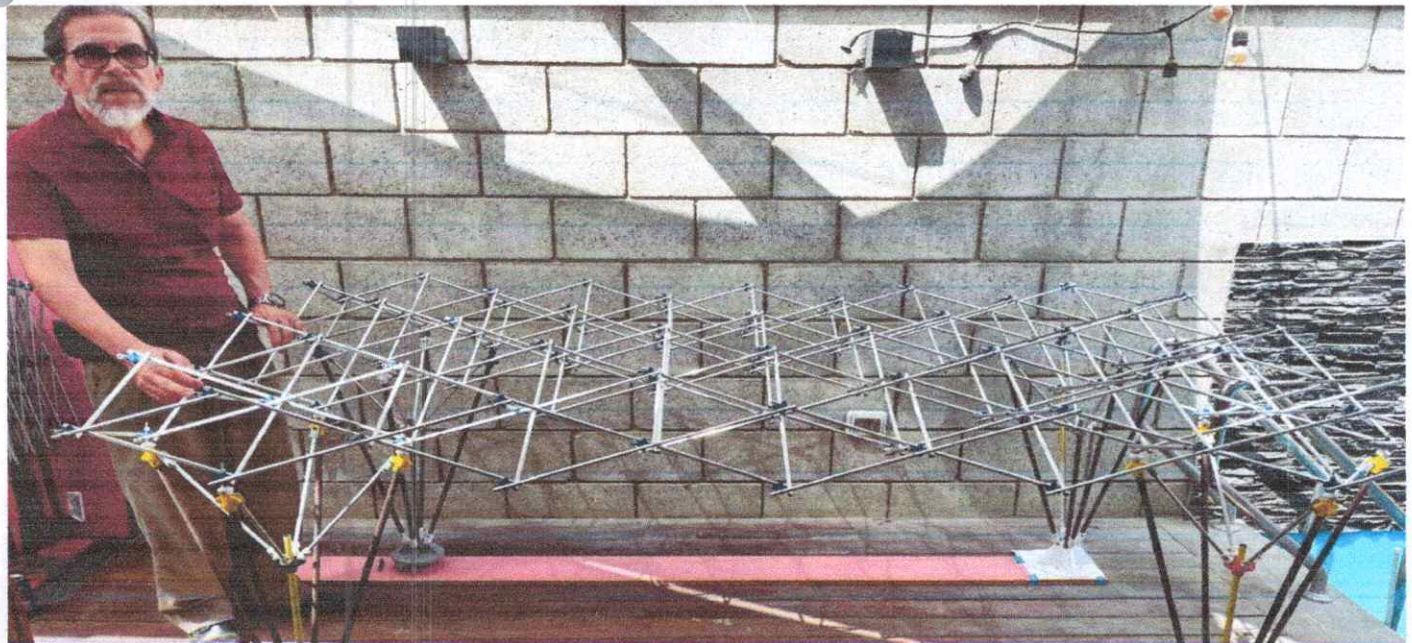
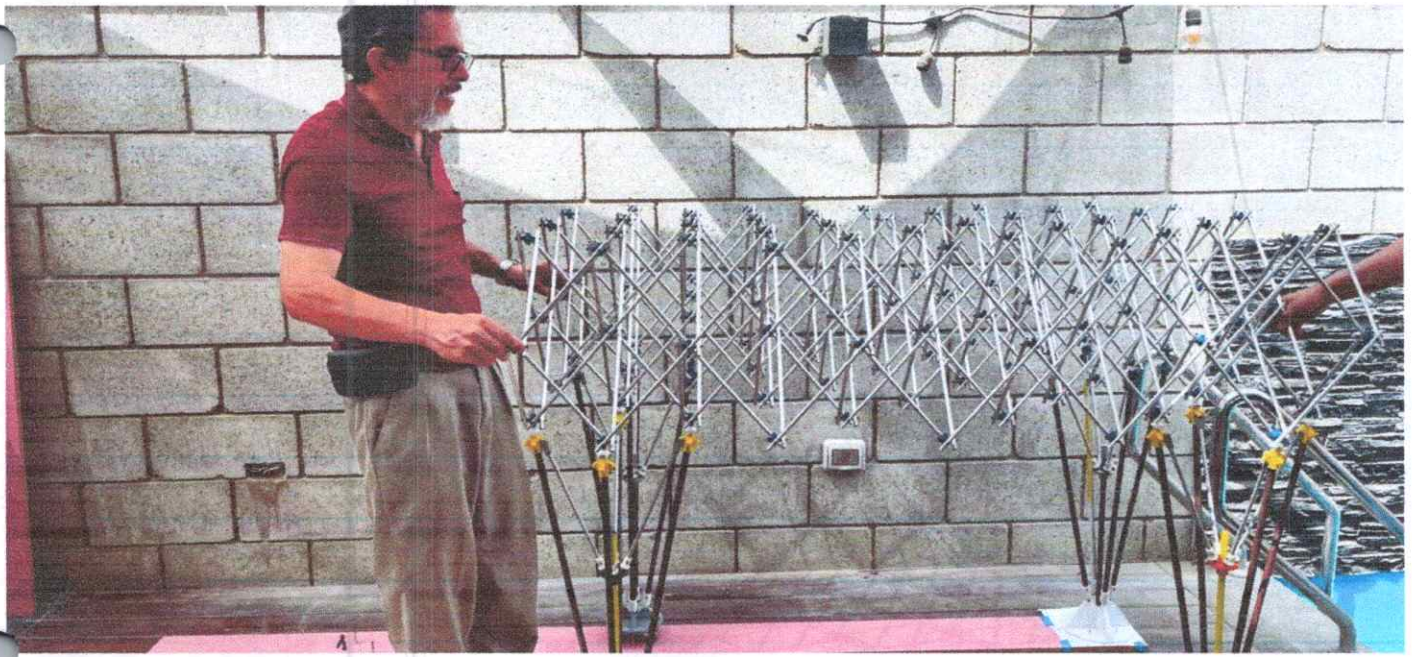


Figura 21.1, 21.2 y 21.3. Despliegue de estructura desplegable en escala 1 en 5  
Fuente: Elaborado por el autor

## 7) De la cubierta

Para la simulación de la cubierta se utilizó un material textil flexible, el cual fue extendido cuidadosamente y fijado a las uniones superiores de la estructura. Este procedimiento permitió representar de manera aproximada el comportamiento de una membrana o lámina ligera en condiciones reales de aplicación. Con el objetivo de reproducir el funcionamiento esperado en escenarios climáticos, se incorporó una pendiente controlada en la cubierta, lo que garantiza la correcta evacuación del agua pluvial y evita la acumulación de cargas innecesarias sobre los elementos estructurales. Este criterio de diseño responde a la necesidad de asegurar la durabilidad y eficiencia del sistema, considerando que las obras de contingencia suelen emplazarse en contextos variables y, en muchos casos, expuestos a precipitaciones intensas.

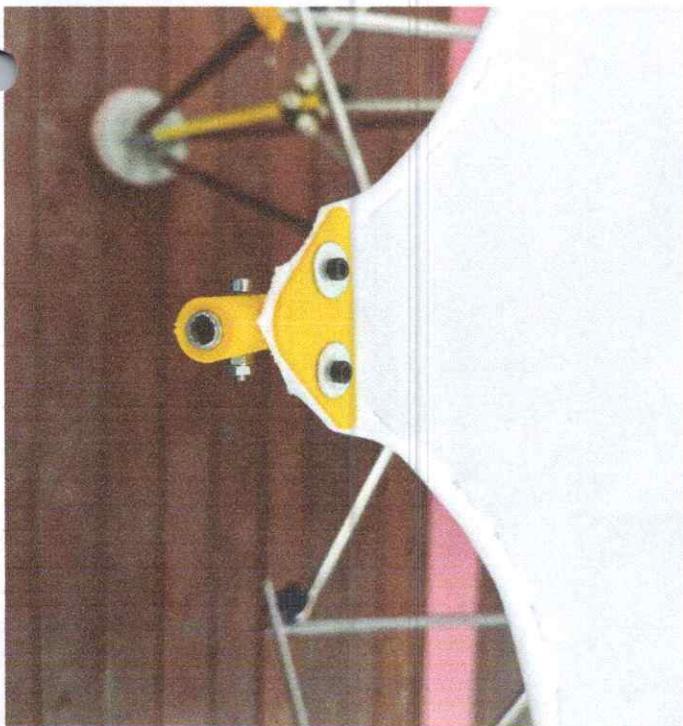


Figura 22.1 y 22.2 Detalles de ensamblaje de cubierta a estructura plegable  
Fuente: Elaborado por el autor

Durante la fase de pruebas, se observó que el material se adaptó de manera estable a la geometría del prototipo, manteniendo la tensión necesaria para simular una superficie continua. Asimismo, la cubierta mostró un buen comportamiento frente a desplazamientos por efecto del viento, evidenciando que la pendiente y el anclaje en las uniones cumplen un rol fundamental en la estabilidad del conjunto. Finalmente, la facilidad de montaje y desmontaje del textil confirmó la pertinencia de este tipo de solución para situaciones de contingencia, en las que la rapidez y la practicidad son factores determinantes para el éxito de la implementación.

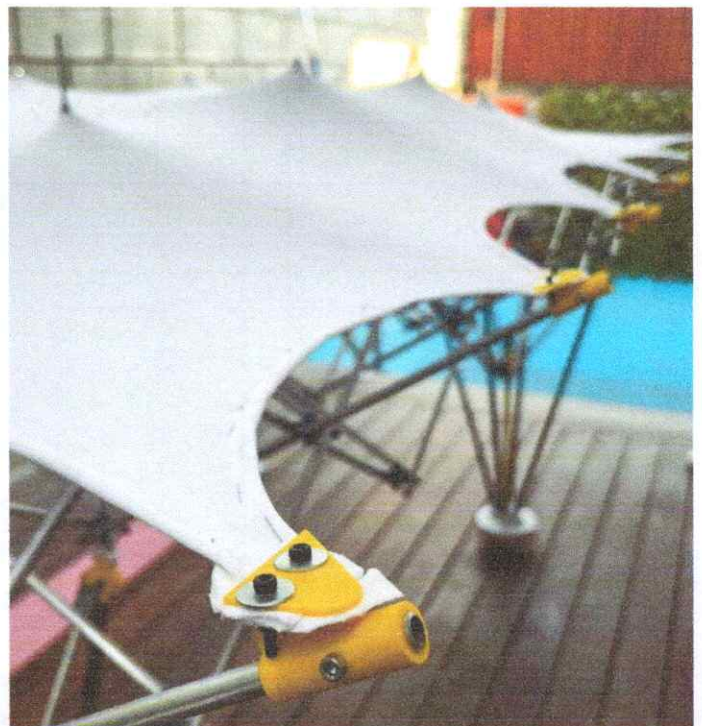


Figura 22.3 Detalles de ensamblaje de cubierta a estructura plegable  
Fuente: Elaborado por el autor

AD

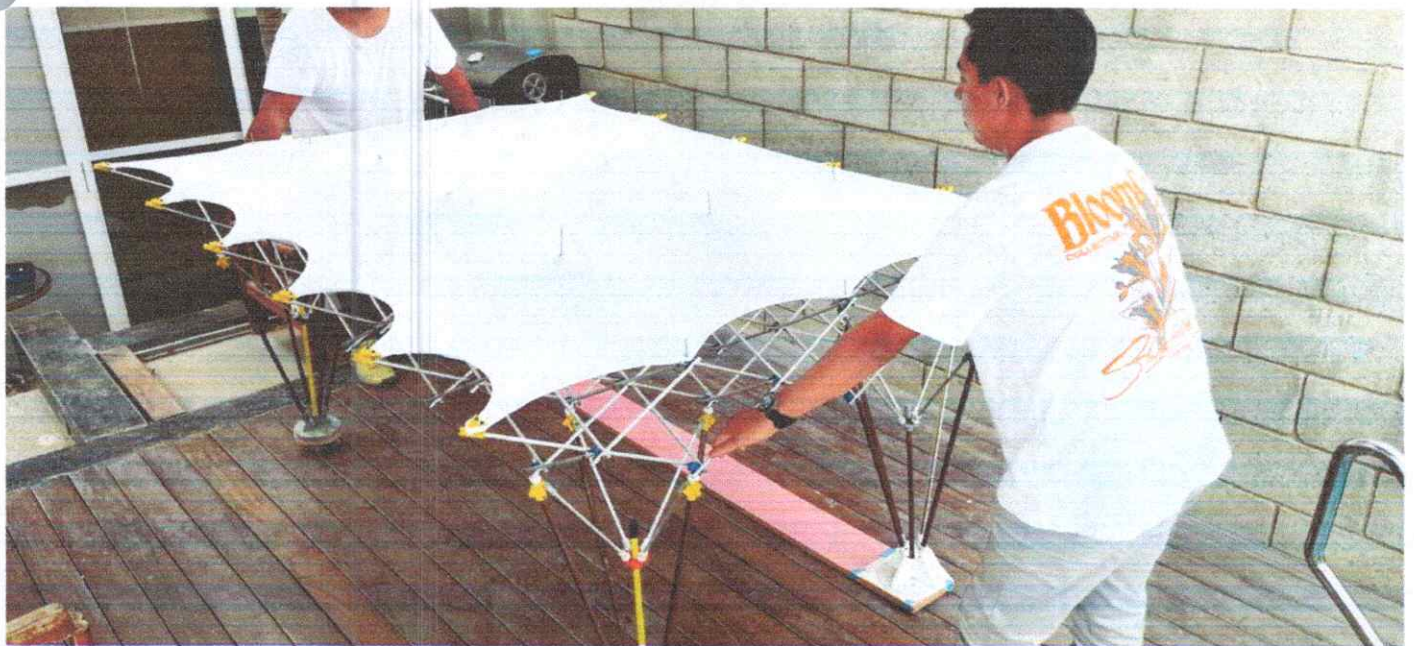


Figura 23.1, 23.2 y 23.3. Despliegue de estructura desplegable en escala 1 en 5 - RESULTADO FINAL  
Fuente: Elaborado por el autor

2

## 8)Resultado final

---

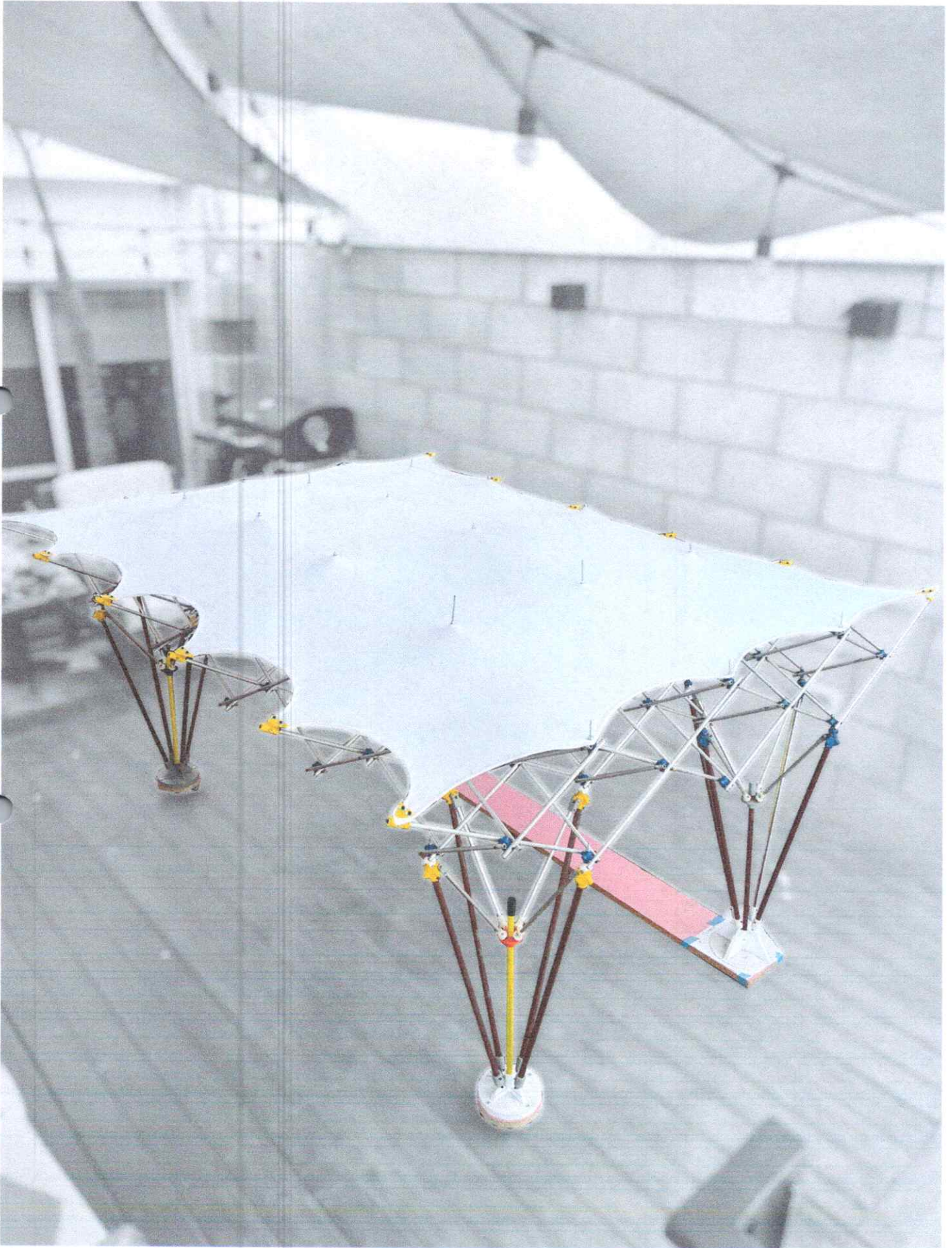


Figura 24.0. Estructura desplegable de tetrapas en escala 1 en 5 - RESULTADO FINAL  
Fuente: Elaborado por el autor

RD

## 9) Del cálculo estructural

La propuesta corresponde a una estructura desplegable tridimensional de tetraespas diseñada para coberturas de grandes luces en obras de contingencia del sector educativo. La cubierta metálica, con un área aproximada de 100 m<sup>2</sup>, está conformada por perfiles tubulares huecos de acero A36. El sistema se apoya en cuatro elementos de soporte de aluminio 6061-T6, los cuales transmiten las cargas a pedestales y cimentaciones de concreto armado ( $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ ). La estructura fue modelada en SAP2000 como un sistema de marcos espaciales conectados en nodos con tres grados de libertad, permitiendo evaluar condiciones de carga y comportamiento estructural.

### Resultados analizados

Cargas consideradas: peso propio (carga muerta), viento (barlovento y sotavento) y sismo, de acuerdo con la Norma Técnica E.030. La carga viva no fue incluida por tratarse de una cobertura sin tránsito.

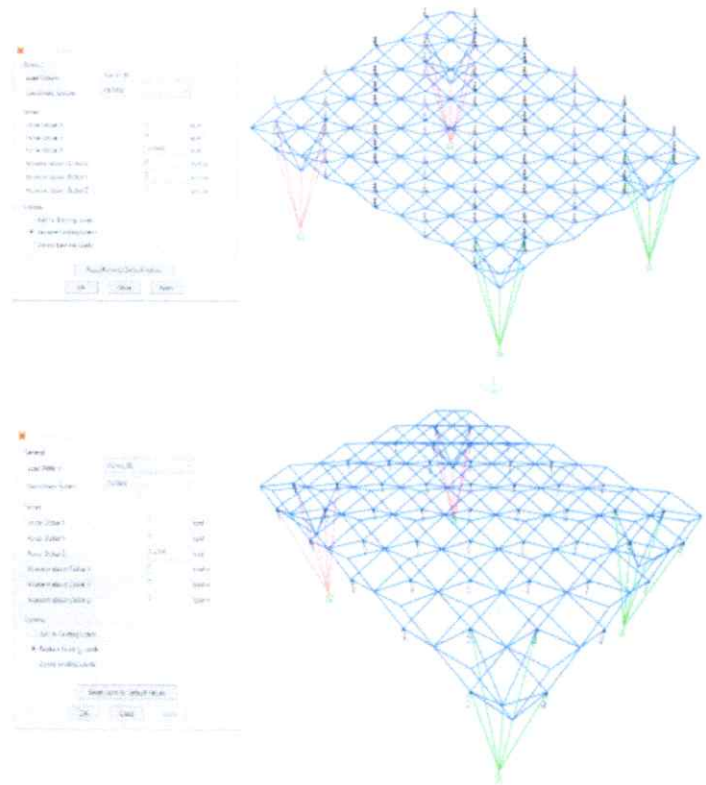


Figure 25.0 Estructura desplegable analizada en software de análisis estructural elaborado por el Ing. estructural Fernando Sanchez Yamunaqué.  
Fuente: Elaborado por el autor

- Esfuerzos principales: se identificaron elementos sometidos tanto a compresión como a tracción, en particular en los soportes, con variaciones según la dirección del viento.

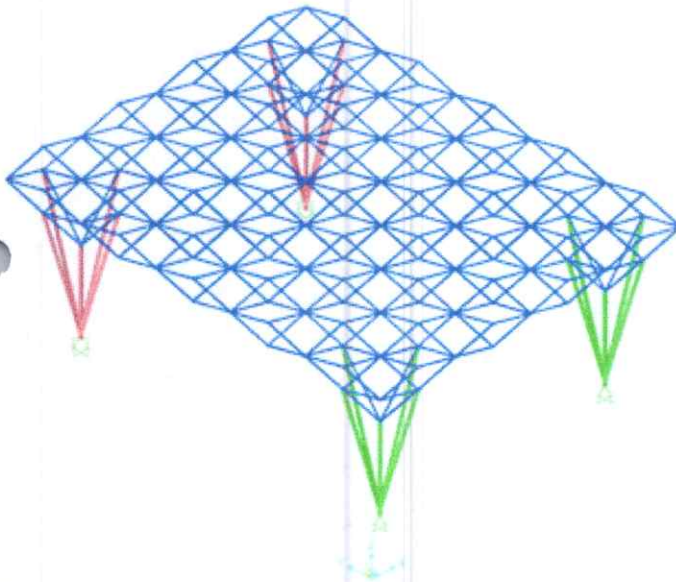


Figure 26.0. Estructura desplegable analizada en software de análisis estructural elaborado por el Ing. estructural Fernando Sanchez Yamunaqué.  
Fuente: Elaborado por el autor

- Relación demanda–capacidad: el análisis de esbeltez y resistencia en las barras permitió verificar que la estructura cumple con las condiciones de estabilidad.
- Combinaciones de carga: se aplicaron según los materiales involucrados (acero, aluminio y concreto), siguiendo criterios de LRFD y la Norma E.060 para concreto armado.
- Diagramas estructurales: se obtuvieron diagramas de fuerzas axiales, cortantes y momentos flectores, confirmando la viabilidad del sistema y los puntos críticos de mayor sollicitación.

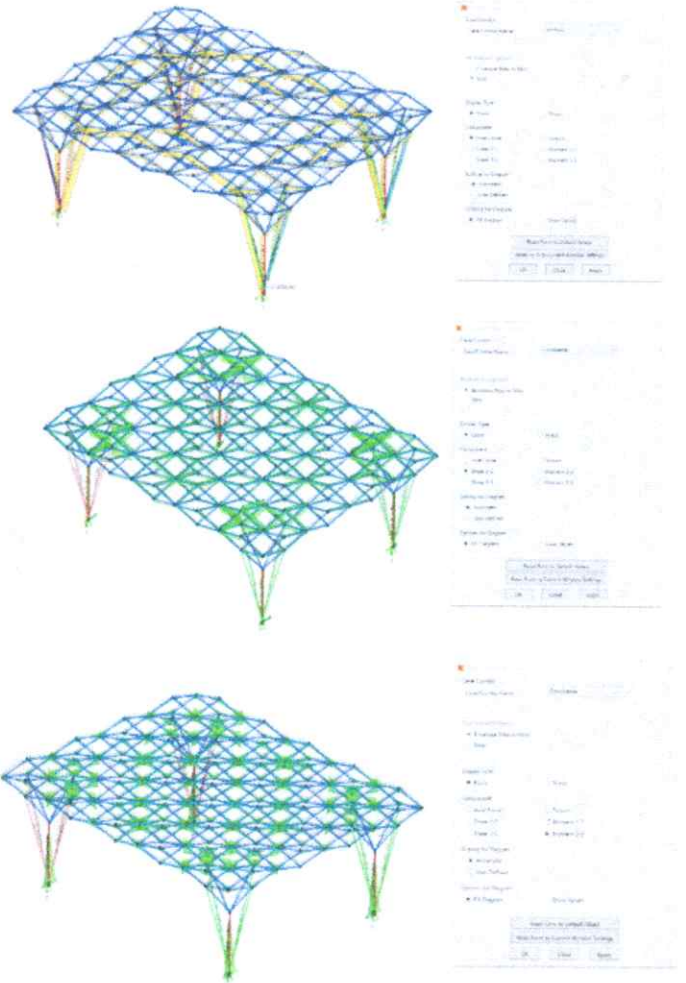


Figure 27.0 Estructura desplegable analizada en software de análisis estructural elaborado por el Ing. estructural Fernando Sanchez Yamunaqué.  
Fuente: Elaborado por el autor

En conjunto, los resultados confirman que la estructura es ligera, estable y apta para resistir las condiciones de viento y sismicidad propias de la costa peruana, validando así su factibilidad para aplicaciones en coberturas temporales o de emergencia.

20

## CONCLUSIONES

El modelo construido permitió realizar ensayos representativos que confirmaron la viabilidad del sistema en términos de estabilidad, funcionalidad y factibilidad constructiva. En consecuencia, se logró disponer de información técnica suficiente para consolidar las conclusiones de la investigación

- La maqueta a escala 1:5 permitió replicar con fidelidad la geometría y configuración estructural del prototipo, asegurando que los resultados obtenidos en los ensayos sean representativos para la futura construcción a escala 1:1.
- El proyecto ha cumplido los objetivos de investigación establecidos, validando el comportamiento estructural y funcional del sistema mediante el prototipo a escala 1:5
- Los análisis estructurales realizados sobre la maqueta confirmaron la capacidad de carga de los elementos principales, identificando los puntos de mayor tensión y posibles zonas de refuerzo.
- Las pruebas de rigidez y deformación evidenciaron que la estructura mantiene estabilidad bajo cargas simuladas, validando la distribución de apoyos y la continuidad de los elementos portantes.
- Los ensayos de articulación y movimiento demostraron que los mecanismos previstos operan de manera eficiente, permitiendo verificar la funcionalidad de sistemas dinámicos sin necesidad de construir el prototipo completo.
- La maqueta facilitó la optimización de materiales y espesores, al evidenciar cuáles componentes podían ser ajustados sin comprometer la resistencia estructural.
- La escala 1:5 fue suficiente para realizar simulaciones de comportamiento global y local, incluyendo análisis de deformaciones, flexión y torsión de manera controlada y medible.
- En términos generales, el uso de la maqueta a escala 1:5 se consolidó como una estrategia metodológica válida, que combina verificación experimental y optimización de recursos, garantizando mayor seguridad y confiabilidad para la ejecución del prototipo a escala real.