

## ANEXO 6

### FORMATO DE INFORME DE AVANCE FÍSICO-FINANCIERO

#### N°\_5\_\_ INFORME PARCIAL O FINAL DE AVANCE FÍSICO Y FINANCIERO

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

GRANDES LUCES EN OBRAS DE CONTIGENCIA 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

Desarrollando la unión ideal para la estructura desplegable.

### IV. Avance Físico del Proyecto

[Actividades Realizadas: Desarrollo de la unión ideal]

[Porcentaje de Avance: 58%]

Tabla 1. Descripción de Actividades Realizadas

N°	Actividades Realizadas	Porcentaje de Avance
1	Desarrollo de la unión ideal	58%


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:



FABIO SAMUEL CARBAJAL BENGOSA

\*EJECUCIÓN DE UNA ESTRUCTURA DESPLIEGABLE DE TETRASPAS PARA COBERTURAS DE GRANDES LUCES EN OBRAS DE CONTINGENCIA EN EL SECTOR EDUCATIVO USANDO PROCESOS DE FABRICACIÓN DIGITAL.\*

RECURSOS DETERMINADOS

N° 629-R-2024

CONTRATO Nº 005 -2024-UNP

N° 161-CU-2024

N° 644-CU-2023

INVESTIGADOR PRINCIPAL:

TÍTULO DEL PROYECTO:

FUENTE DE FINANCIAMIENTO:

RESOLUCIÓN DE AUTORIZACIÓN GASTOS:

CONTRATO:

BASES DEL CONCURSO 2024:

REGlamento:

SEGUIMIENTO FINANCIERO

N°	GENÉRICA DE GASTO	PRESUPUESTO APROBADO	PRESUPUESTO EJECUTADO	SALDO	AÑO	SIAF	ORDEN DE COMPRA	CLASIFICADOR	PROVEEDOR	DESCRIPCIÓN	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL	MONTO TOTAL	OBSERVACIONES
1					2024	12757	413	2.3.1.5.1.1	FABRICACIONES DIGITALES DEL PERU S.A	FILAMENTO PARA IMPRESORA 3D	UNID	10	S/85.00	S/850.00	S/850.00	Iniciales
										EPP - GUANTES CONTRA RIESGO TERMICO	UNID	6	S/ 40.00	S/240.00		Iniciales
										EPP - GUANTES CONTRA RIESGOS MECANICOS.	UNID	6	S/ 12.00	S/72.00		Iniciales
										EPP - LENTES CONTRA RIESGOS MECANICOS.	UNID	6	S/ 12.00	S/72.00	S/2.430.00	Iniciales
										EPP - LENTES CONTRA RIESGO TERMICO	UNID	6	S/ 20.00	S/120.00		Iniciales
										EPP - PROTECCION AUDITIVA.	UNID	6	S/ 28.00	S/168.00		Iniciales
										EPP - MASCARILLA TIPO RESPIRADOR CARA DOBLE VIA	UNID	6	S/ 293.00	S/1,758.00		Iniciales
3					2024	12175	5627	2.3.2.7.14.98	FERNANDO SANCHEZ YAMUNAJUE	SERVICIO DE ASESORIA DE UN ESPECIALISTA EN ESTRUCTURAS	INFORME	1	S/12.000.00	S/12.000.00	S/12.000.00	Iniciales
4					2024	12220	5723	2.3.2.7.14.98	GABY PATRICIA RUIZ PETROZZI	SERVICIO DE ASESORIA DE UN ESPECIALISTA EN MATERIALES DE CONSTRUCCION	INFORME	1	S/7.304.45	S/7.304.45	S/7.304.45	Iniciales
5					2024	12079	5578	2.3.2.7.14.98	MANUEL ANTONIO COBEÑAS CHANDUVI	SERVICIO DE UN INGENIERO DE SISTEMAS PARA LA CAPACITACION E INSTALACION DE EQUIPOS DE IMPRESION 3D	INFORME	1	S/10.000.00	S/10.000.00	S/10.000.00	Iniciales
6					2025								S/0.00	S/0.00	S/0.00	
7					2025								S/0.00	S/0.00	S/0.00	
8					2024	12405	391	2.6.3.2.2.1	GRUPO BISANCOR S.A.C	TALADRO DE BANCO	UNID	1	S/4.600.00	S/4.600.00		Iniciales
										SIERRA DE BANCO	UNID	1	S/2.299.00	S/2.299.00		Iniciales
										PULIDORA LIADORA 7"	UNID	1	S/620.00	S/620.00		Iniciales
										SOLDADORA	UNID	1	S/1.660.00	S/1.660.00		Iniciales
9					2024	12757	413	2.6.3.2.3.3	FABRICACIONES DIGITALES DEL PERU S.A	MACQUINA DE LIMPIEZA Y CURADO PARA RESINA	UNID	1	S/10.150.00	S/10.150.00		Iniciales
10					2025	3951	173	2.6.3.2.3.1	CHUMACERO ORTIZ WILVERT PAUL	COMPUTADORA PORTATIL	UNID	2	S/2.050.00	S/4,100.00	14,250.00	Iniciales
11					2025	4402	220	2.6.3.2.3.3	FABRICACIONES DIGITALES DEL PERU S.A	IMPRESORA 3D	UNID	1	S/20.500.00	S/20.500.00	20,500.00	Durante
12					2025	9031	401	2.6.3.2.2.1	MAZA VELASQUEZ VALERIA ISABEL	TALADRO PERCUTOR INALAMBICO	UNID	1	S/34.300.00	S/34.300.00	34,300.00	Durante
	TOTAL	193,048.60	S/112,472.95	S/80,571.65									S/1,659.50	S/1,659.50	1,659.50	Durante

## VI. Problemas y Desviaciones del plan original

La investigación sigue su línea de desarrollo tal cual se planteó.

## VII. Conclusiones

Los referentes están ayudando a sustentar la idea de utilizar las estructuras desplegadas 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: 14 de agosto de 2025

---

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

DNI 08665839

Investigador Principal

---

**Stevenson Lee Reforme Trelles**

DNI 70088432

Coinvestigador

ORDEN DE COMPRA - GUÍA DE INTERNAMIENTO N°

0000401

N° Exp. SIAF : 0000009031

UNIDAD EJECUTORA : 001 UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA  
NRO. IDENTIFICACIÓN : 000099

Día	Mes	Año
30	06	2025

1. DATOS DEL PROVEEDOR	2. CONDICIONES GENERALES
<b>Señor(es) :</b> MAZA VELASQUEZ VALERIA ISABEL <b>Dirección :</b> / / <b>RUC :</b> 10737656689 <b>Teléfono :</b> <b>CCI :</b> <b>Fax :</b>	<b>N° Cuadro Adquisic.:</b> 000403 <b>Tipo de Proceso :</b> CM <b>N° Contrato :</b> <b>Moneda :</b> S/ <b>T/C :</b>
<b>Concepto :</b> ADQUISICION DE TALADRO PERCUTOR INALAMBRICO-VICERRECTORADO DE INVESTIGACION	


Código	Cant.	Unid. Med.	Descripción	Precio	
				Unitario S/	Total S/
672295930068	1.	UNIDAD	TALADRO ELECTRICO PORTATIL PERCUTOR 20 V ADQUISICIÓN DE TALADRO PERCUTOR INALAMBRICO PARA EJECUTAR EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN DENOMINADO "EJECUCIÓN DE UNA ESTRUCTURA DESPLEGABLE DE TETRAPAS PARA COBERTURAS DE GRANDES LUCES EN OBRAS DE CONTINGENCIA EN EL SECTOR EDUCATIVO USANDO PROCESOS DE FABRICACIÓN DIGITAL" Y CUYO INVESTIGADOR PRINCIPAL ES EL DOCENTE FABIO SAMUEL CARBAJAL BENGOA. SOLICITADO POR VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA DETALLE DE LA COMPRA: -01 UND TALADRO PERCUTOR INALAMBRICO DEWALT 20X MAX XR+BATERIA 4AH+CARGADOR DEWALT -INCLUYE SET DE BROCAS Y PUNTAS DE ATORNILLAR 100 PIEZAS STANLEY. -MODELO: DCD996B-K4; VOLTAJE: 20 V ANEXOS: -EXP. 114-7003-25-9 -MEMORANDO N°1365-2025/OPYPTO-UNP -OF N°2847-2025-ABAST-UNP -OF N°550-VRI-UNP-2025 -OF N°215-IDEI-VRI-UNP-2025 -CUADRO COMPARATIVO	1.659.500000	1.659.50

AFECTACION PRESUPUESTAL					
Meta/ Mnemónico	Cadena Funcional	FF/Rb	Clasif. Gasto	Monto	
					S/
0034	22.048.0016.9002.3999999.5006386	5 - 18	2.6.3 2.2 1		1.659.50

Van ... S/ 1,659.50

Exonerado :	0.00
V. Venta :	1.406.36
I.G.V. :	253.14
<b>Total :</b>	<b>1,659.50</b>

Facturar a nombre de : UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA  
 Dirección : CAMPUS UNIVERSITARIO - URB. MIRAFLORES S/N / CASTILLA - PIURA - PIURA RUC : 20172606777  
 Agradecemos enviar los bienes a la siguiente dirección :  
 URB. MIRAFLORES S/N / CASTILLA - PIURA - PIURA

ELABORADO POR	ORDENACION DE LA COMPRA	CONFORMIDAD
LOPEZ SEVILLA, LUZ MARIA	 UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA UNIDAD DE ABASTECIMIENTO	CUENTAS X PAGAR
	RESPONSABLE DE ADQUISICIONES	RESPONSABLE DE ALMACEN
	RESPONSABLE DE ABASTECIMIENTO Y SERV. AUXILIARES	

NOTA IMPORTANTE :

- El Proveedor debe adjuntar a su Factura copia de la O/C atendida.
- Esta Orden es nula sin las firmas y sellos reglamentarios o autorizados.
- Nos reservamos el derecho de devolver la mercadería que no esté de acuerdo con las especificaciones técnicas.
- El Contratista (Proveedor) se obliga a cumplir las obligaciones que le corresponden, bajo sanción de quedar inhabilitado para contratar con el Estado en caso de incumplimiento

**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 CONTIGENCIA EN EL SECTOR EDUCATIVO USANDO PROCESOS DE FABRICACIÓN DIGITAL ”

INFORME 5  
Desarrollo de Unión ideal

Presentado por:

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

Piura, Perú, 2025

# 5

## CAPÍTULO

### *Desarrollo de Unión ideal*

*Este capítulo explora la evolución de las uniones en el prototipo de una estructura desplegable, desde sus primeras versiones fabricadas con materiales adaptados para cumplir funciones específicas, aunque con limitaciones inherentes. Inicialmente, las uniones eran primitivas y requerían ajustes para satisfacer los requisitos funcionales, presentando falencias que comprometían su desempeño.*

*La implementación de la impresión 3D facilitó la creación de uniones más precisas y adaptadas a las necesidades específicas del prototipo, superando las limitaciones de las uniones primitivas y estableciendo una base sólida para el desarrollo de estructuras desplegables más eficientes y funcionales.*



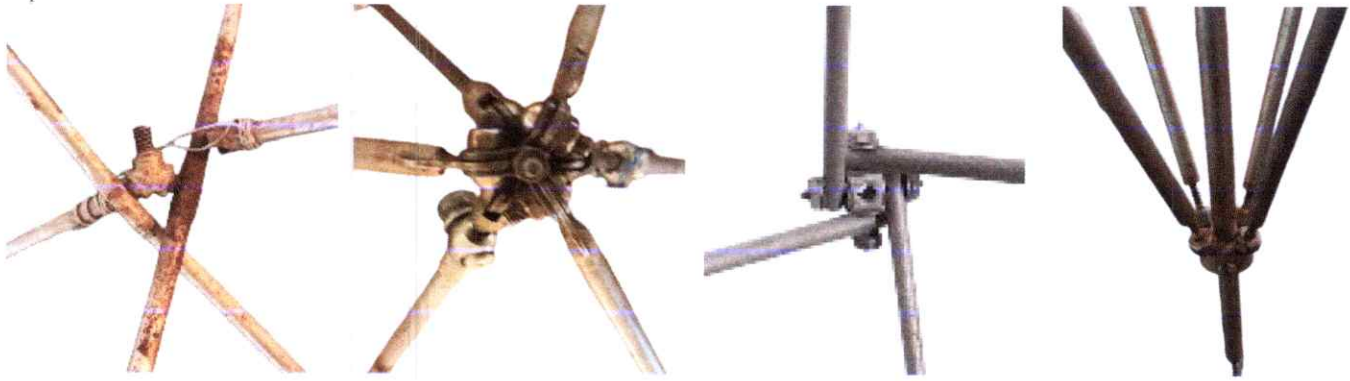


Figura 1.0. Uniones fabricadas por Emilio Pérez P. Museo de Calasparra.  
Fuente: Fotos tomadas por el autor.

## 5) El nudo de tetraspas

### 3.1) Introducción.

*"Había una pieza que encajaba uno con otras para juntar las estructuras con la que gano luego los premios de Londrés y Sao Paolo que eran de fundición y hasta eso, la función la hizo el mismo" ( hermano de Emilio Pérez Piero).*

Con base en esta frase empezamos el estudio de las uniones para las estructuras de tetraspas, los cuales son nudos con barras de ejes exéntricos, esto para permitir su libre desplazamiento hasta que este choquen entre sí logrando un control de movimiento.

Al tener una malla plana podemos darle una curvatura, haciendo que la línea recta de la malla plana ( generatriz) viaje por una curva (directriz) . Aunque resulta mas compleja, vale la pena desarrollarlas, esto debido a que su curvatura nos permite tener mayor resistencia a la compresión. Para lograr hacer una malla cilíndrica de módulos de tetraspas debemos saber que el módulo como tal debe tener el conector ubicada de forma excéntrica, ver Fig. 13.

Tanto Puertas, Lina (1989) y Gantes, C (1991), plantean una metodología similar la cual parte en definir la malla cilíndrica como tal y modularla para que esta se despliegue desde la parte central de la malla cilíndrica. Este segmento de la malla cilíndrica puede seguirse conectando hasta lograr generar un bóveda de cañón pero donde la flecha de la curva no sea tan pronunciada ya que esto haría difícil el plegado y desplegado de la estructura.



## 5.2) La fabricación digital

“La fabricación digital es un proceso de trabajo de diseño y fabricación en el que los datos digitales permiten a los equipos de fabricación crear diversas geometrías de piezas. Estos datos suelen venir del CAD (diseño asistido por ordenador) que después se transfiere al software de CAM (fabricación asistida por ordenador). El producto del software CAM son datos que dirigen una herramienta específica fabricación aditiva y sustractiva, como una impresora 3D o una fresadora CNC.” (Formlabs,2014).

La incorporación de tecnologías de fabricación digital, como la impresión 3D, contribuyó significativamente a mejorar la precisión de las piezas y a optimizar los tiempos de producción.

Como resultado, se logró materializar un nuevo prototipo funcional de una estructura desplegable plana tipo tetra-aspas, cuya geometría y mecanismos fueron validados mediante pruebas físicas. Este modelo no solo demostró la viabilidad técnica del sistema, sino que también evidenció su potencial para aplicaciones en arquitectura efímera y estructuras temporales de rápida implementación. En este contexto, la fabricación digital se consolidó como una herramienta clave para el desarrollo de soluciones arquitectónicas innovadoras, al integrar de manera precisa las etapas de diseño y producción. Su uso permite optimizar recursos materiales y temporales, minimizando errores y acelerando los procesos de fabricación y ensamblaje.

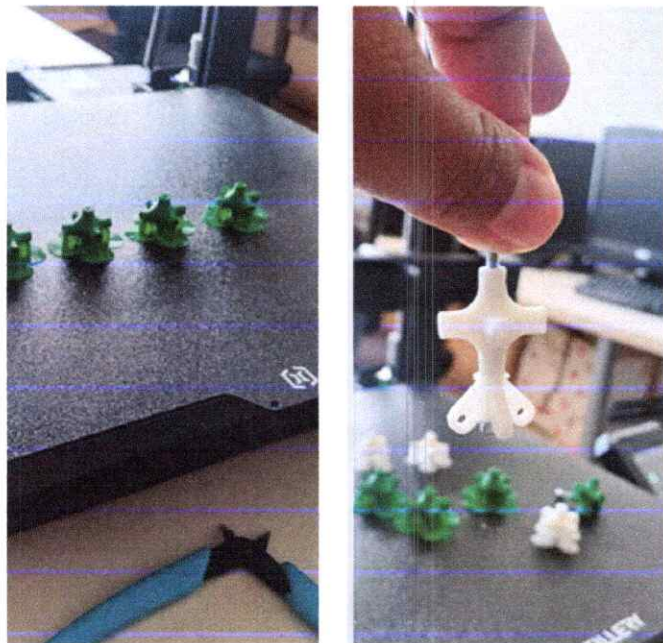


Figura 2.1. impresión 3D de pruebas de uniones para prototipo de tetraspas  
Fuente: Fotos tomadas por el autor.



Figura 2.2. impresión 3D de pruebas de uniones para prototipo de tetraspas  
Fuente: Fotos tomadas por el autor.

Asimismo, la fabricación digital promueve la experimentación con nuevas geometrías, materiales y sistemas constructivos que serían difíciles de explorar mediante métodos convencionales. En el caso del prototipo desarrollado, esta tecnología permitió perfeccionar detalles técnicos, mejorar la eficiencia estructural y validar físicamente el comportamiento del sistema desplegable. Como se muestra en las imágenes adjuntas, este trabajo forma parte de un proceso continuo de prueba y error, en el cual se integran progresivamente nuevas herramientas y técnicas. En este sentido, las amplias posibilidades que brinda la fabricación digital deben entenderse como un complemento al proceso de diseño, facilitando la materialización de ideas innovadoras y ampliando significativamente las capacidades del arquitecto, tanto en términos de tiempo como de creatividad. Así, se abren nuevas formas de concebir y hacer arquitectura



A continuación, se presenta la evolución de las uniones en el prototipo de estructura desplegable. Inicialmente, se utilizaron materiales que, aunque adaptables a las funciones requeridas, presentaban limitaciones inherentes debido a su naturaleza primitiva. Con el avance del prototipo, se incorporó la fabricación mediante impresión 3D, utilizando PLA como material. Esta transición permitió perfeccionar las uniones existentes y experimentar con nuevas

configuraciones. A través de un proceso iterativo de prueba y error, se lograron mejoras significativas, resultando en uniones más robustas y eficientes que optimizaron el desempeño general del prototipo.

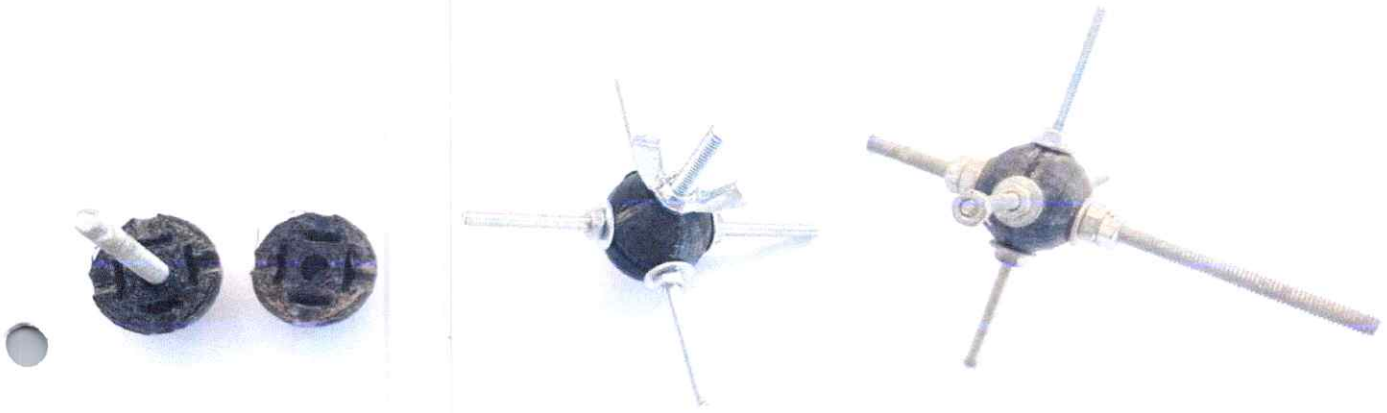


Figure 3.1 Evolución de uniones de prototipo de estructura desplegable.  
Fuente: Elaborado por el autor

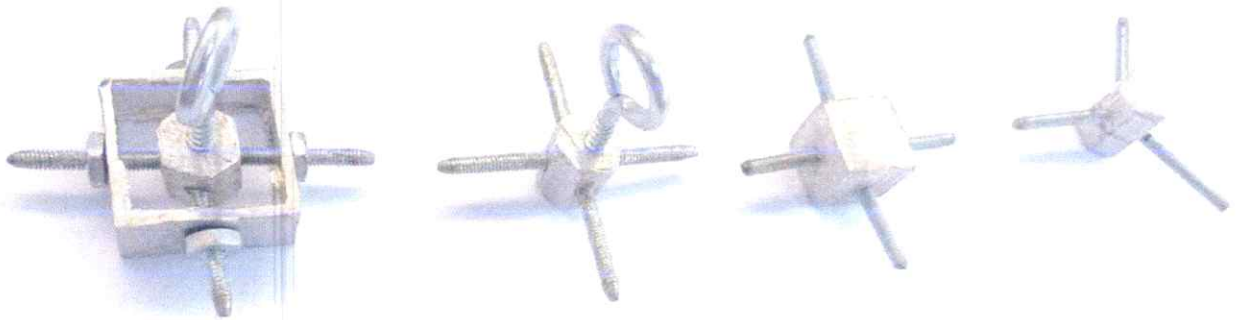


Figure 3.2 Evolución de uniones de prototipo de estructura desplegable.  
Fuente: Elaborado por el autor

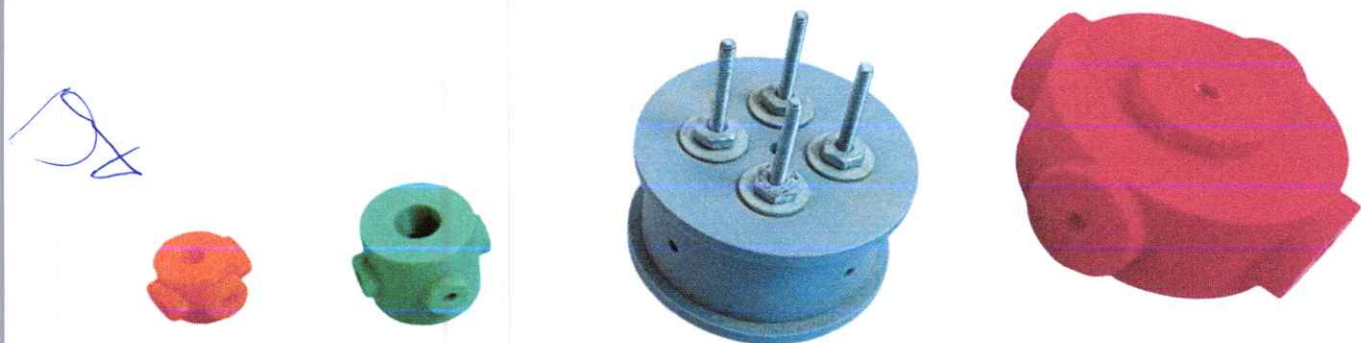


Figure 3.3 Evolución de uniones de prototipo de estructura desplegable con asistencia de la impresión en 3D  
Fuente: Elaborado por el autor

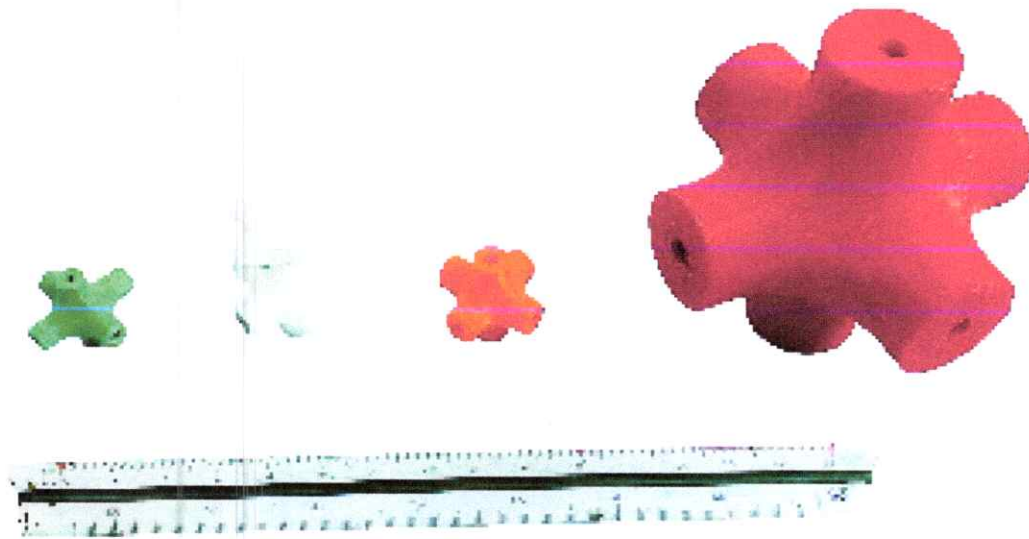


Figure 3.4 Evolución de uniones de prototipo de estructura desplegable con asistencia de la impresión en 3D  
Fuente: Elaborado por el autor

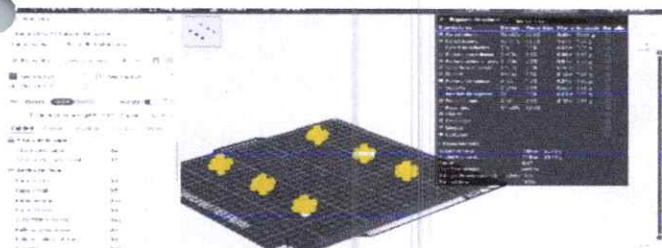


Figure 4.1 Programación digital e impresión 3D de uniones de tetrapas.  
Fuente: Elaborado por el autor

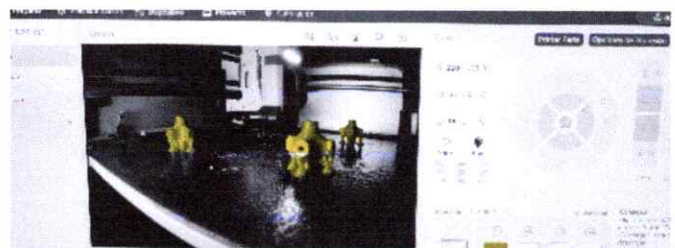


Figure 4.2 Programación digital e impresión 3D de uniones de tetrapas.  
Fuente: Elaborado por el autor

Se continuó con la exploración del prototipo de unión tipo tetra-aspas, retomando las primeras pruebas realizadas y desarrollando versiones en distintas escalas. Este proceso abarcó desde modelos reducidos, empleados en maquetas de prueba y error, hasta versiones próximas a escala real.

Para la modulación de los componentes se utilizaron herramientas digitales como Rhinoceros y Grasshopper, lo que permitió diseñar y ajustar las piezas de forma precisa en un entorno virtual. Posteriormente, estos modelos fueron preparados mediante el software de impresión 3D, facilitando su fabricación física con un alto grado de fidelidad respecto al diseño digital.



Figure 4.3 Programación digital e impresión 3D de uniones de tetrapas.  
Fuente: Elaborado por el autor

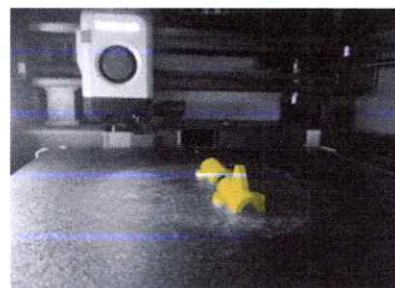
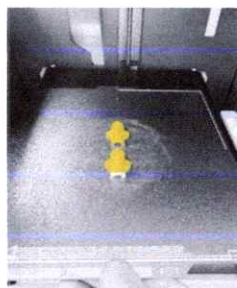
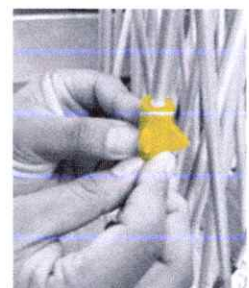
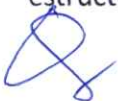


Figure 4.4 Programación digital e impresión 3D de uniones de tetrapas.  
Fuente: Elaborado por el autor



Asimismo, se diseñaron otros tipos de componentes que complementaron el ensamblaje del prototipo estructural. Estas nuevas uniones, con geometrías distintas a las previamente desarrolladas, cumplieron funciones específicas, como reforzar las conexiones existentes y actuar como base de soporte para la estructura.

De esta manera, se profundizó en el desarrollo de la propuesta traída de Europa, lo que permitió ensamblar una nueva estructura. Este avance no solo implicó mejoras en las uniones tipo tetra-aspas, sino también el diseño de nuevas conexiones que aportan mayor funcionalidad y capacidad de soporte a la estructura.



Estas piezas evolucionaron de ser completamente sólidas a incorporar una extrusión central, lo que permitió obtener una unión más ligera y optimizada. Además, se optó por una geometría circular que favoreciera una rotación más eficiente. Inicialmente se consideró reforzar la pieza con un anillo de aluminio alrededor de la circunferencia, aunque tras varias pruebas, se concluyó que esta intervención no era necesaria. Como resultado, se obtuvo una pieza a escala, adecuada a los requerimientos del proyecto, que permitió ensamblar exitosamente la estructura curva con uniones producidas mediante fabricación digital.

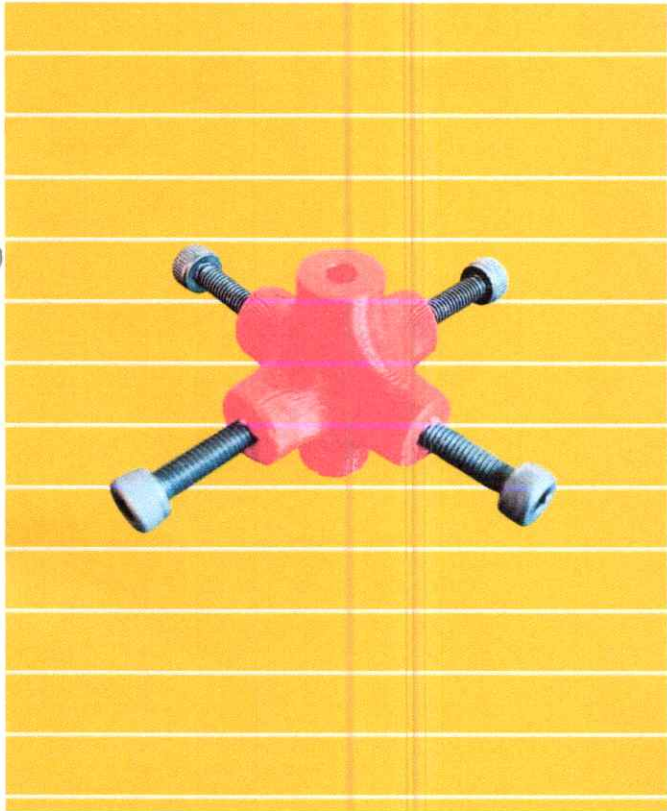


Figure 5.0 Unión ideal fabricada con impresión 3D  
Fuente: Elaborado por el autor

Handwritten signature in blue ink.

## Materialidad: Filamentos\*

Un factor clave para lograr resultados de calidad es seleccionar el filamento apropiado. Dado que existen numerosas opciones disponibles, puede resultar complicado identificar cuál se ajusta mejor a las necesidades de cada proyecto. Así podemos encontrar:

**PLA (Ácido Poliláctico):** Es un material biodegradable derivado del maíz, fácil de imprimir y adecuado para principiantes. Sin embargo, tiene baja resistencia al calor y puede deformarse a temperaturas elevadas.

**PLA con Fibra de Carbono:** Combina la facilidad de impresión del PLA con la rigidez y resistencia de la fibra de carbono. Es ideal para piezas que requieren mayor resistencia mecánica. Se recomienda el uso de boquillas endurecidas debido a la abrasividad del material.

**Nylon:** Ofrece alta resistencia mecánica, flexibilidad y durabilidad. Es higroscópico, por lo que debe almacenarse en condiciones secas para evitar la absorción de humedad. La impresión puede ser desafiante debido a su tendencia a la deformación y requiere temperaturas de impresión y cama elevadas.

**Policarbonato:** Es uno de los filamentos más resistentes y con mayor tolerancia al calor. Requiere altas temperaturas de impresión y una impresora cerrada para evitar deformaciones. Además, es higroscópico y debe almacenarse adecuadamente.

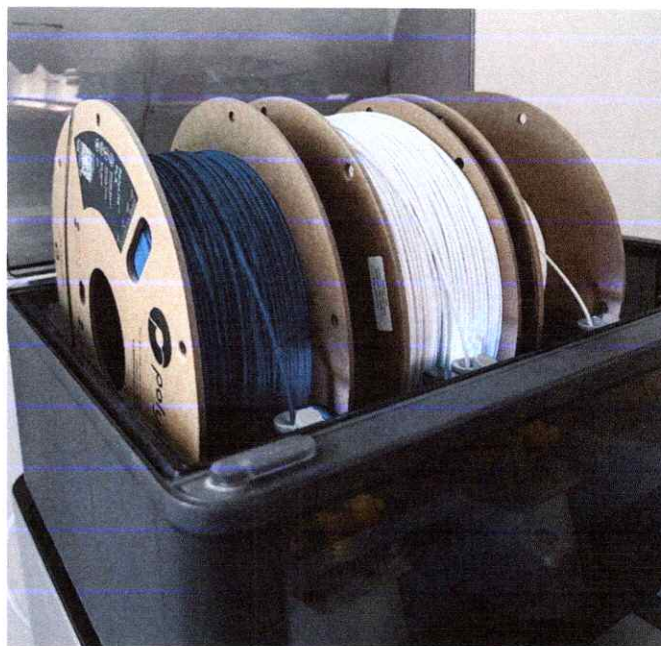


Figure 6.1 Rollo de filamento de PLA usados para impresión 3D de uniones  
Fuente: Elaborado por el autor

Tabla 1.0. Ventajas y desventajas de los filamentos según su materialidad

FILAMENTO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
PLA	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fácil de imprimir</li> <li>- Biodegradable</li> <li>- Bajo costo</li> <li>- Buen acabado superficial</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Baja resistencia al calor</li> <li>- Frágil en aplicaciones mecánicas</li> <li>- Se deforma con facilidad</li> </ul>
PLA CON FIBRA DE CARBONO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Más rígido y resistente que el PLA normal</li> <li>- Buena estabilidad dimensional</li> <li>- Ideal para piezas funcionales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Material abrasivo (desgasta la boquilla)</li> <li>- Puede ser quebradizo</li> <li>- Precio más elevado</li> </ul>
NYLON	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alta resistencia mecánica y a la tracción</li> <li>- Flexible y duradero</li> <li>- Buen comportamiento bajo fricción</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Muy higroscópico (absorbe humedad rápidamente)</li> <li>- Requiere alta temperatura</li> <li>- Tiende a deformarse</li> </ul>
POLICARBONATO (PC)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Excelente resistencia mecánica y térmica</li> <li>- Alta transparencia (en algunas versiones)</li> <li>- Ideal para aplicaciones estructurales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Difícil de imprimir</li> <li>- Requiere temperaturas muy altas</li> <li>- Necesita entorno cerrado y boquilla resistente</li> </ul>

Fuente: Tabla elaborada por el autor en base a información obtenida en <https://all3dp.com/es/1/filamento-3d-filamento-impresora-3d/>

\*ALL3DP (2023) Filamento para impresora 3D – Guía de compra. <https://all3dp.com/es/1/filamento-3d-filamento-impresora-3d/>

Tabla 2.0. Características y propiedades de los filamentos según su materialidad

CARACTERÍSTICAS	PLA	PLA CON FIBRA DE CARBONO	NYLON	POLICARBONATO
FACILIDAD DE IMPRESIÓN	Muy alta	Alta	Media	Baja
RESISTENCIA MECÁNICA	Media	Alta	Alta	Muy alta
FLEXIBILIDAD	Baja	Baja	Alta	Media
TEMP. DE IMPRESIÓN	180–230 °C	195–220 °C	220–260 °C	270–310 °C
TEMP. DE CAMA	No requiere / 60–80 °C	50–80 °C	50–100 °C	90–105 °C
RESISTENCIA AL CALOR	Baja	Media	Alta	Muy alta
HIGROSCOPICIDAD	Baja	Baja	Alta	Alta
USO RECOMENDADO	Prototipos, piezas decorativas	Piezas funcionales, prototipos resistentes	Piezas mecánicas, engranajes, bisagras	Piezas estructurales, componentes sometidos a calor
OBSERVACIONES	Biodegradable, fácil de usar	Requiere boquilla endurecida	Difícil de imprimir, requiere almacenamiento cuidadoso	Requiere impresora cerrada y boquilla resistente
BIODEGRADABILIDAD	Sí, bajo condiciones industriales (compostaje controlado)	Parcialmente — las fibras de carbono no son biodegradables	No	No
IMPACTO AMBIENTAL	Bajo (durante producción y descarte controlado)	Medio — por el agregado de materiales no degradables	Alto — requiere energía y libera gases tóxicos si se quema	Alto — muy difícil de reciclar y degrada muy lentamente

Fuente: Tabla elaborada por el autor en base a información obtenida en <https://all3dp.com/es/1/filamento-3d-filamento-impresora-3d/>

### Experimentando con los materiales

Desde las primeras impresiones de prototipos de uniones, se ha trabajado con filamentos de PLA (ácido poliláctico), que son los más comerciales, con los cuales se han obtenido buenos resultados de muestra, llegando a fabricar hasta uniones para un prototipo de estructura deplegable a escala 1:2. Con este material, gracias a su facilidad de impresión, se han podido producir grandes lotes de uniones para trabajar prototipos en diferentes escalas.

Si bien el filamento de PLA ha sido beneficioso en cuanto a tiempos de producción y facilidad en el manejo de impresión, se han observado complicaciones con respecto a sus propiedades físicas. En respuesta a esta problemática, se ha pensado en optar por un reforzamiento con filamentos de fibra de carbono, en la búsqueda de tener una mayor rigidez y resistencia a fuerzas mecánicas que conlleva el proceso de plegado y desplegado de la estructura.

Lo que se espera lograr con este aditivo del filamento de fibra de carbono (PLA CF) es no solo una mejora sustancial en la resistencia mecánica de las piezas, sino también una respuesta significativa al contexto climático en el que se desarrolla el proyecto, como el clima árido de la ciudad de Piura, con una alta resistencia al calor y

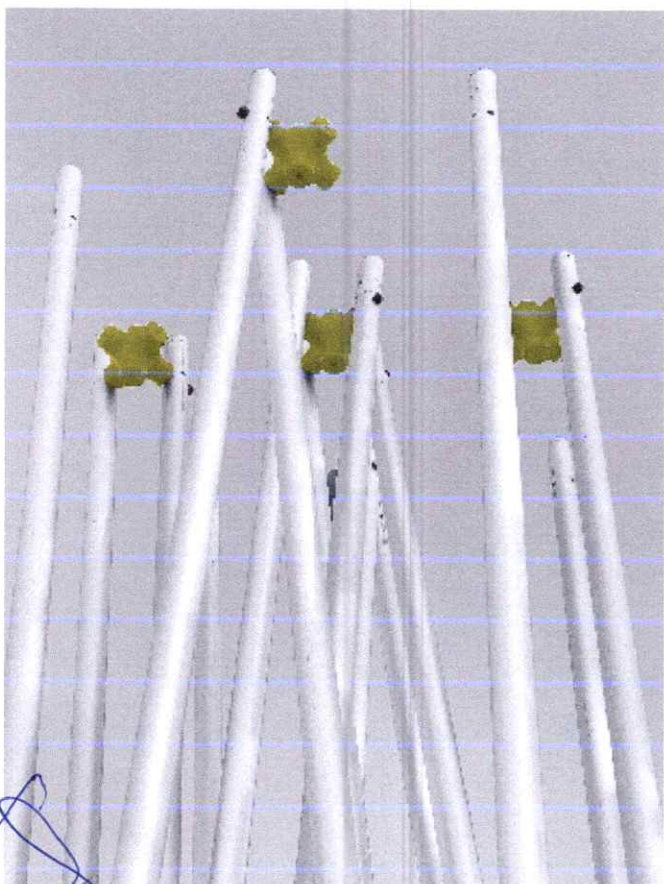
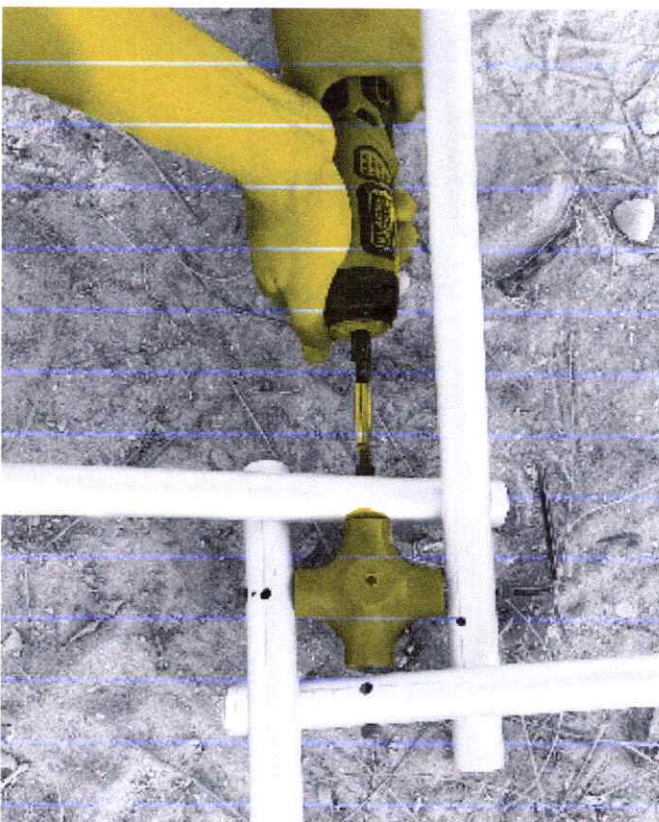
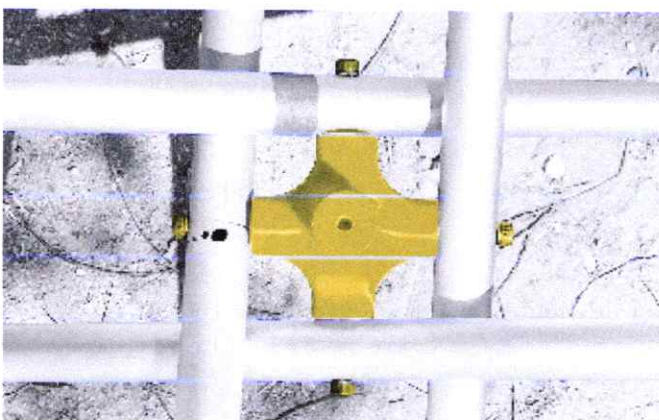
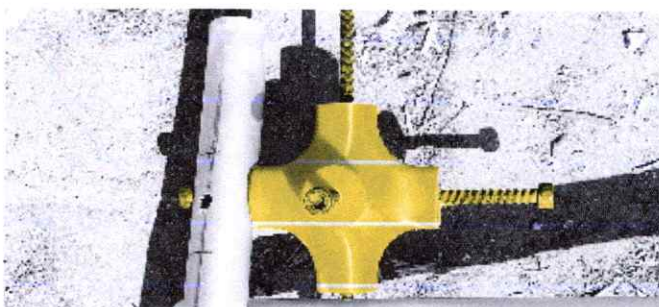
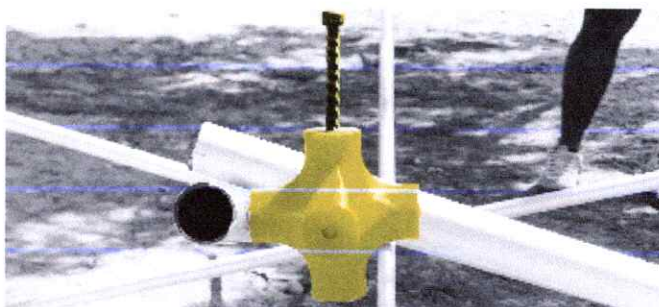


Figure 7.0 Proceso de ensamble de uniones en prototipo de tetrapas  
Fuente: Elaborado por el autor

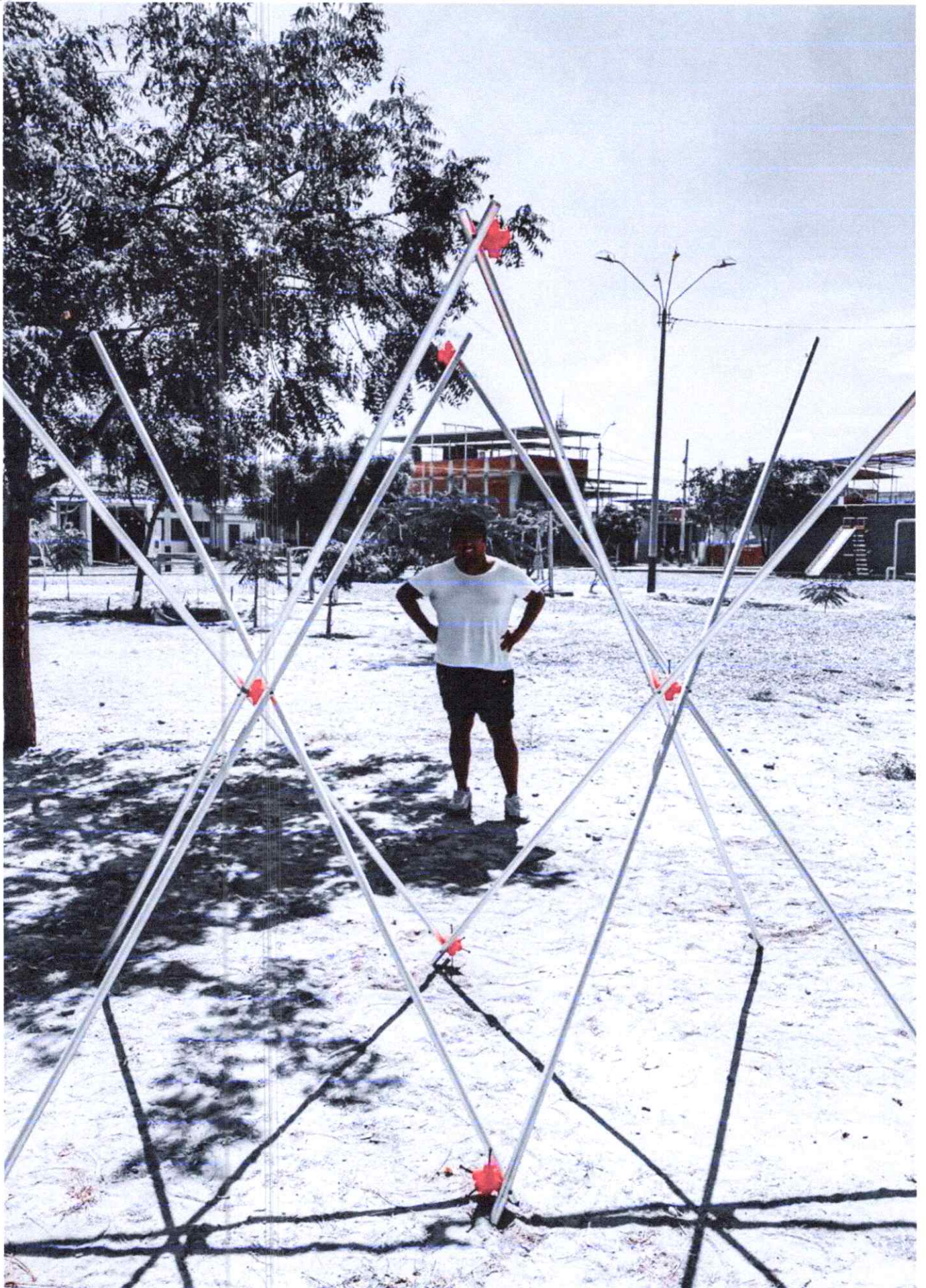


Figura 3.0. Prototipo de estructura desplegable con impresión 3D escala 1 en 1  
Fuente: Elaborado por el autor

