

CONSTRUCCIÓN SEMIAUTOMATIZADA DE DOMOS Y QUADROSPHERAS MEDIANTE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO

En el siguiente póster se detallará un proceso constructivo para domos y quadrosferas que tiene como base la automatización y el uso de nuevas tecnologías como la impresión 3D para una construcción en serie rápida, a bajo costo y escalable en el tiempo.

Los domos son poliedros, estructuras curvas generadas en su mayoría a partir de un icosaedro o un dodecaedro seccionado por la mitad. Las Quadrosferas son secciones de estos poliedros sostenidos por cuatro puntos de apoyos quedando gran parte de la estructura al descubierto.

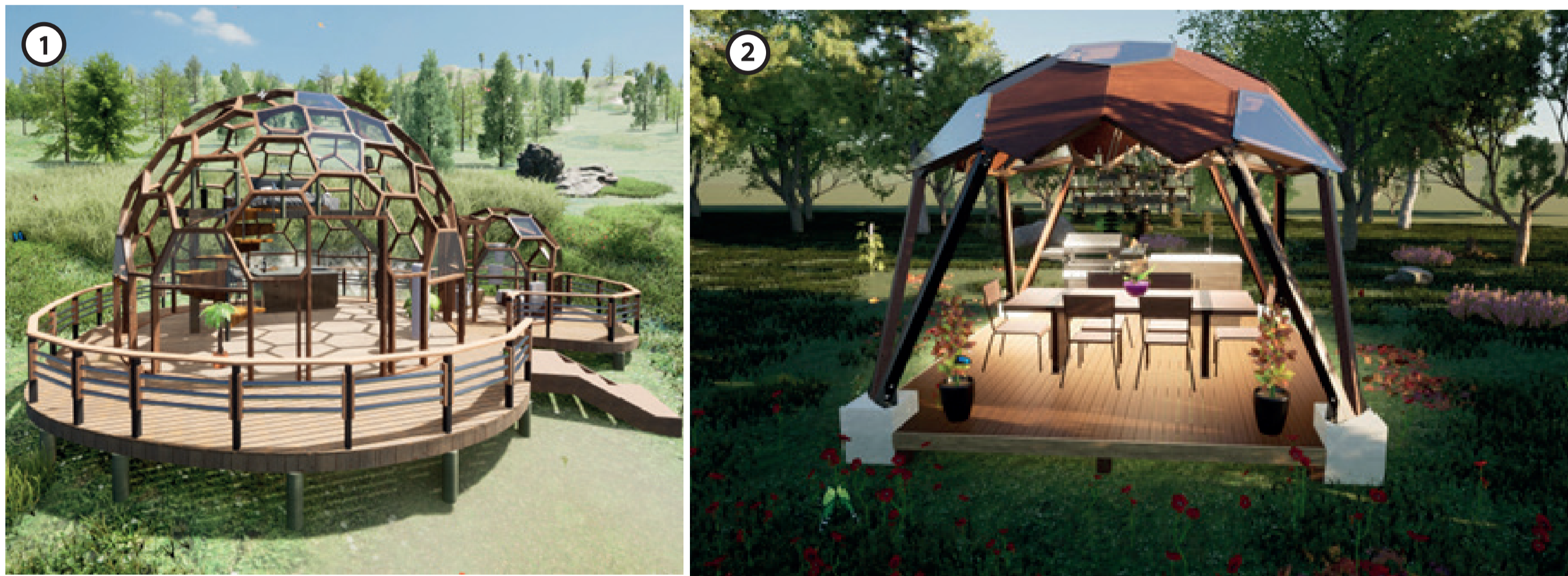


Figura 1: Renderizado domo (1) y quadrosfera (2).

Introducción

La mayoría de estas estructuras curvas son de lenta, cara y difícil implementación, en este modelo de construcción se presentará una alternativa a la solución de estas problemáticas. Serán abordadas mediante el diseño de un conector que permite darle curvatura a la estructura sin la necesidad de cortes en inglete en ninguna de sus partes. También permite una construcción sin planos con nuevos diseños arquitectónicos eliminando la típica presencia de triángulos basados en icosaedros, siendo ahora generados mediante poliedros no regulares. La mayor parte del proceso es automatizado, esto incluye el corte, marcado de conectores y el corte del revestimiento exterior, solo la parte de ensamblado es realizado por una persona. El diseño estructural casi en su totalidad es construido con vigas de madera y terciado estructural con excepción de los cimientos que son de concreto y los soportes inferiores que son de acero. El detalle de la estructura en este póster se basa en el diseño de una quadrosfera de 4 m x 4 m en su base y 3 m de altura, pero el modelo es replicable a cualquier estructura de domo.

Los usos son variados pudiéndose implementar como un quincho para asados, terraza de esparcimiento, centro de eventos, zona de gimnasio al aire libre o cualquier otra actividad donde se quiera disfrutar de una arquitectura distinta y poco común.



Figura 2: Maqueta a escala 1:20 de la quadrosfera impresa en 3D.

Elementos estructurales

La estructura está compuesta en su parte inferior por cimientos de concreto, soportes de acero inclinados de 5 mm de espesor, vigas de madera 4" x 4" y perfiles de acero tipo C de 2 mm de espesor. La parte superior está compuesta por conectores de terciado estructural (nodos) que llevan ensambladas pestañas de agarre, cuyos espesores son de 45 mm y 15 mm respectivamente, vigas de madera (aristas) de 2" x 4" y una cubierta de terciado estructural de 15 mm con algunos paneles de acrílico de 4 mm de espesor para la entrada de luz. Los nodos y aristas se encuentran unidos por tirafondos para madera.

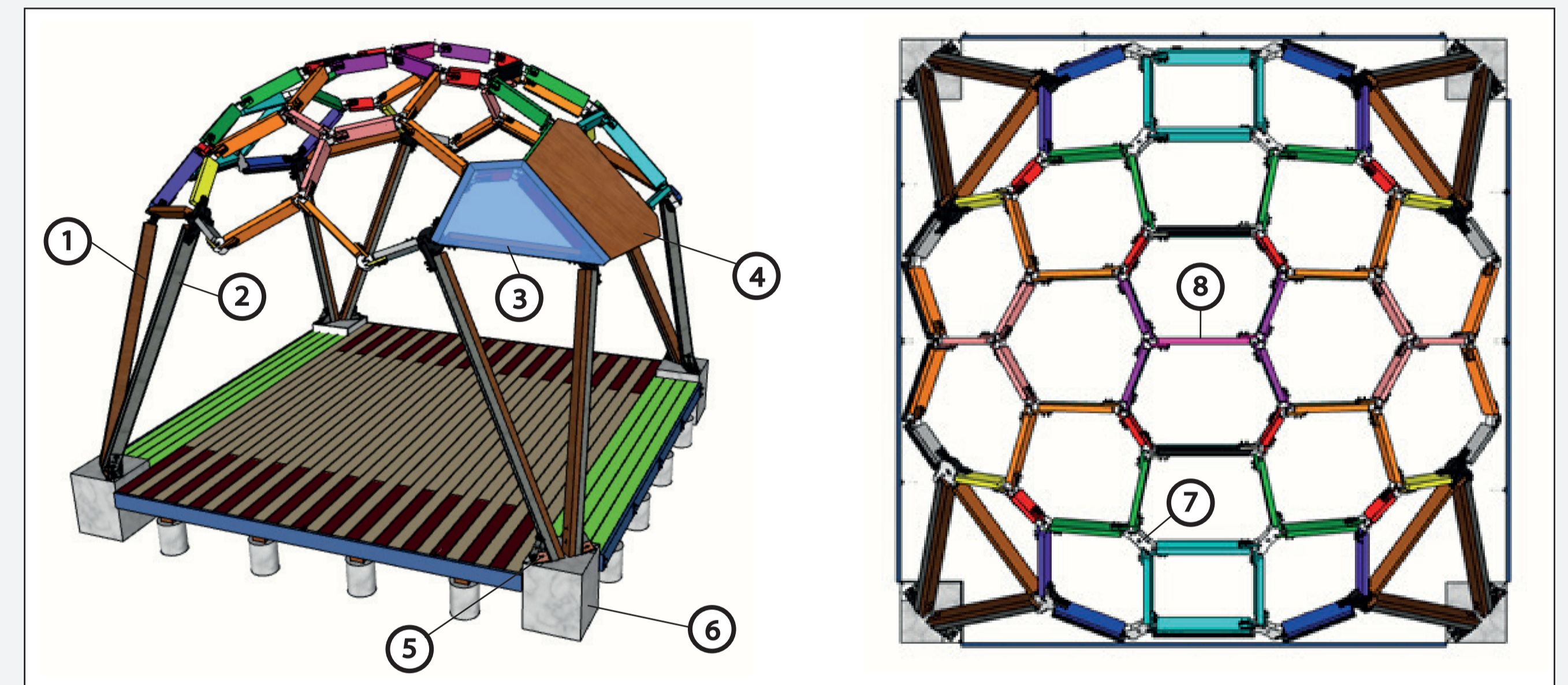


Figura 3: Distribución espacial de los elementos estructurales; (1) Viga 4"x 4"; (2) Perfil tipo C 100x50x2 mm; (3) Sección de acrílico 4 mm de espesor; (4) Sección de terciado estructural de 15 mm de espesor; (5) Soporte de acero inclinado fabricado con pletinas de 10 cm de ancho y 5 mm de espesor; (6) Cimiento de concreto de área 40x40 cm; (7) Conectores de terciado estructural de 45 mm de espesor; (8) Viga de madera 2"x 4".

Plantillas

Se crearon plantillas diseñadas e impresas en 3D para agilizar la construcción e implementar una producción en serie. Sus usos van desde ubicar orificios hasta asignarle la inclinación a los soportes de acero en los cimientos.

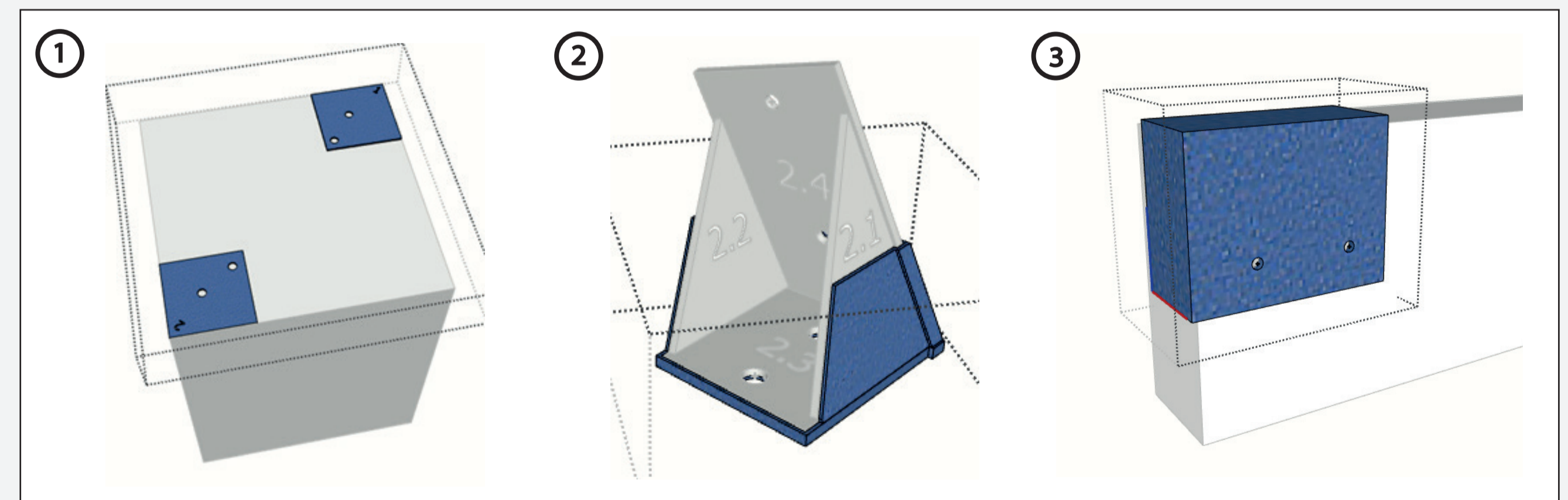


Figura 4: Diseños de plantillas imprimibles en 3D; (1) Plantilla para la ubicación de los pernos de anclaje en las bases de concreto; (2) Plantilla para la inclinación del soporte de acero en las bases de concreto; (3) Plantilla para la ubicación de las perforaciones de las vigas de madera.

Nodos y aristas

Los nodos (conectores) están formados por tres secciones apiladas de terciado estructural de 15 mm, se encuentran divididos en tres tipos: los más grandes y robustos corresponden a las uniones con los soportes de la base, los dobles para unir distancias cortas y los pequeños para el resto de la estructura. Éstos, son cortados y marcados de forma automatizada, las marcas indican el conector siguiente, qué pestaña debe ir ensamblada en cada posición y qué arista (viga 2" x 4") va ensamblada en cada pestaña, pudiéndose construir sin la necesidad de planos. Las aristas son cortadas y marcadas de forma manual y poseen dimensiones de no más de 90 cm. La unión de ambos elementos se realiza con tirafondos de cabeza hexagonal 3/8" 3 1/2" para los conectores más robustos y 1/4" 2" para el resto de la estructura. Cabe destacar que ambos componentes poseen cortes rectos por lo que la curvatura se genera por la posición de los orificios de las pestañas que le dan la inclinación a la arista cuando coinciden ambos orificios, facilitando enormemente la fabricación de las piezas.

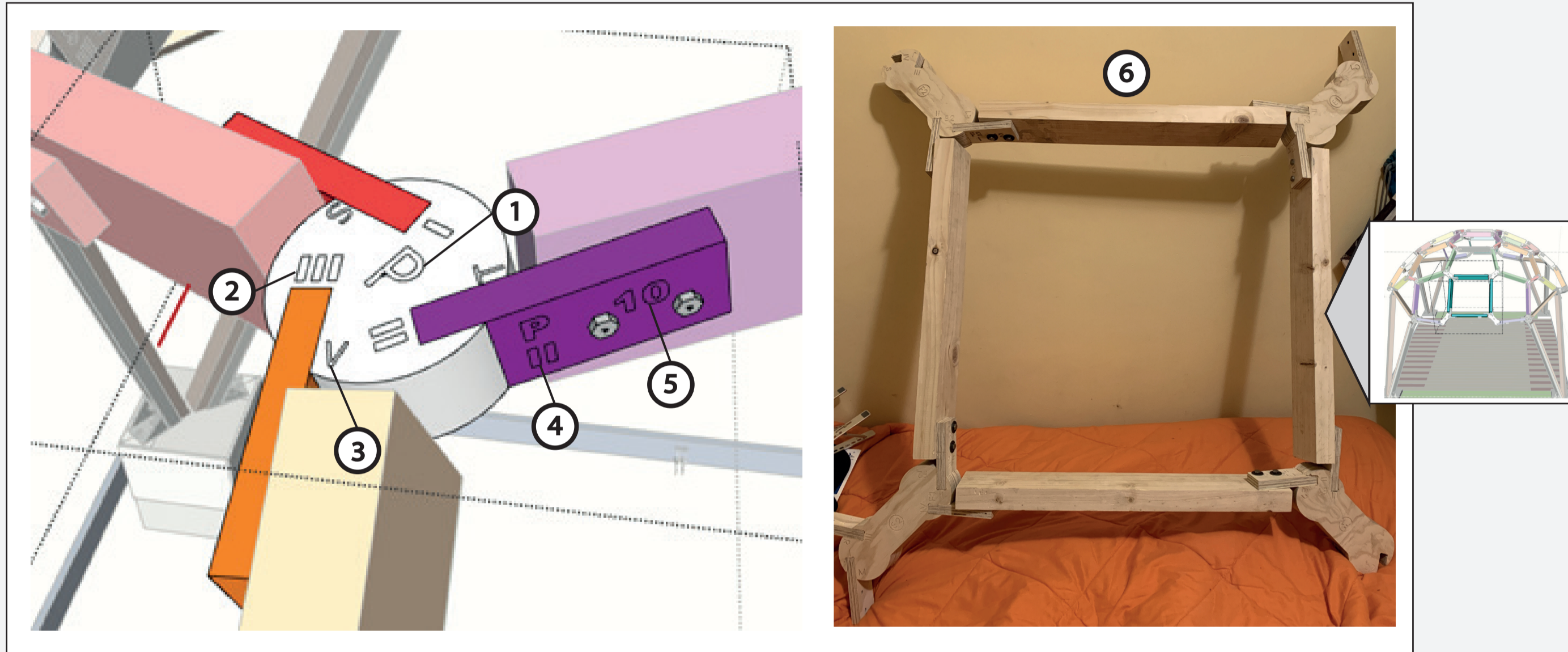


Figura 5: (1) Indica el nombre del conector ; (2) Indica el número de la pestaña del conector; (3) Indica el nombre del siguiente conector en esa dirección ; (4) Indica la posición donde va la pestaña; (5) Indica el nombre de la viga que va instalada en la pestaña; (6) Ejemplo de ensamblaje de un sector de la quadrosphera.

Optimización lineal de cortes

Con el propósito de reducir al mínimo la cantidad de material a utilizar se realizó una optimización lineal de la madera, con una restricción de longitud de viga de 3.2 m.

Cantidad	Perder	Gráfico: 1D
2	0	61.7 61 52.3 50.1 46.7 46.7
1	0	60.3 57.9 50.1 50.1 38.9 38.9 22
1	0	61.7 61.7 57.9 38.3 38.3 38.3 22
1	0	61.7 61.7 57.9 38.9 38.3 37.7 22
3	0	88.7 52.3 50.1 38.9 37.7 28.5 22
1	0	88.7 52.3 52.3 52.3 28.5 22 22
1	1	57.9 52.3 52.3 52.3 52.3 50.1
1	196	61.7 61.7 196

Figura 6: Distribución optimizada de cortes para las vigas 2" x 4" del techo. Cantidad óptima: 11

Cantidad	Perder	Gráfico: 1D
4	1078	2122 1078
4	1318	1882 1318

Figura 7: Distribución optimizada de cortes para las vigas 4" x 4" de los soportes en los puntos de apoyo. Cantidad óptima: 8

ID	Longitud [cm]	Cantidad
V_1	88,7	4
V_2	46,7	4
V_3	57,9	4
V_4	38,3	4
V_5	28,5	4
V_6	22	8
V_7	50,1	8
V_8	52,3	12
V_9	38,9	6
V_10	37,7	4
V_11	61	2
V_12	61,7	8
V_13	60,3	1

Tabla 1: Distribución dimensiones vigas 2" x 4" del techo.

ID	Longitud [cm]	Cantidad
S_4.1	212	4
S_4.2	188	4

Tabla 2: Distribución dimensiones vigas 4" x 4" soporte.

Cantidad	Perder	Gráfico: 1D
4	11	200 74 35 11
4	46	200 74 46
2	120	200 120
2	0	160 160

Figura 8: Distribución optimizada de cortes para las vigas 2" x 4" del entramado de la terraza. Cantidad óptima: 12

Cantidad	Perder	Gráfico: 1D
6	0	320
31	41	279 41
15	76	122 122 76
1	198	122 198

Figura 9: Distribución optimizada de cortes para las tablas 1" x 4" de la superficie de la terraza. Cantidad óptima: 53

ID	Longitud [cm]	Cantidad
V_1.1	160	4
V_1.2	200	10
V_1.3	74	8
V_1.4	35	4

Tabla 3: Distribución dimensiones vigas 2" x 4" entramado

ID	Longitud [cm]	Cantidad
P_2.1	320	6
P_2.2	279	31
P_2.3	122	31

Tabla 4: Distribución dimensiones vigas 1" x 4" superficie de la terraza.

Vectorizado de recorridos

Los recorridos de los cortes y grabados se vectorizan para luego realizarlos en una máquina de control numérico computarizado (CNC) de diseño y construcción propia.

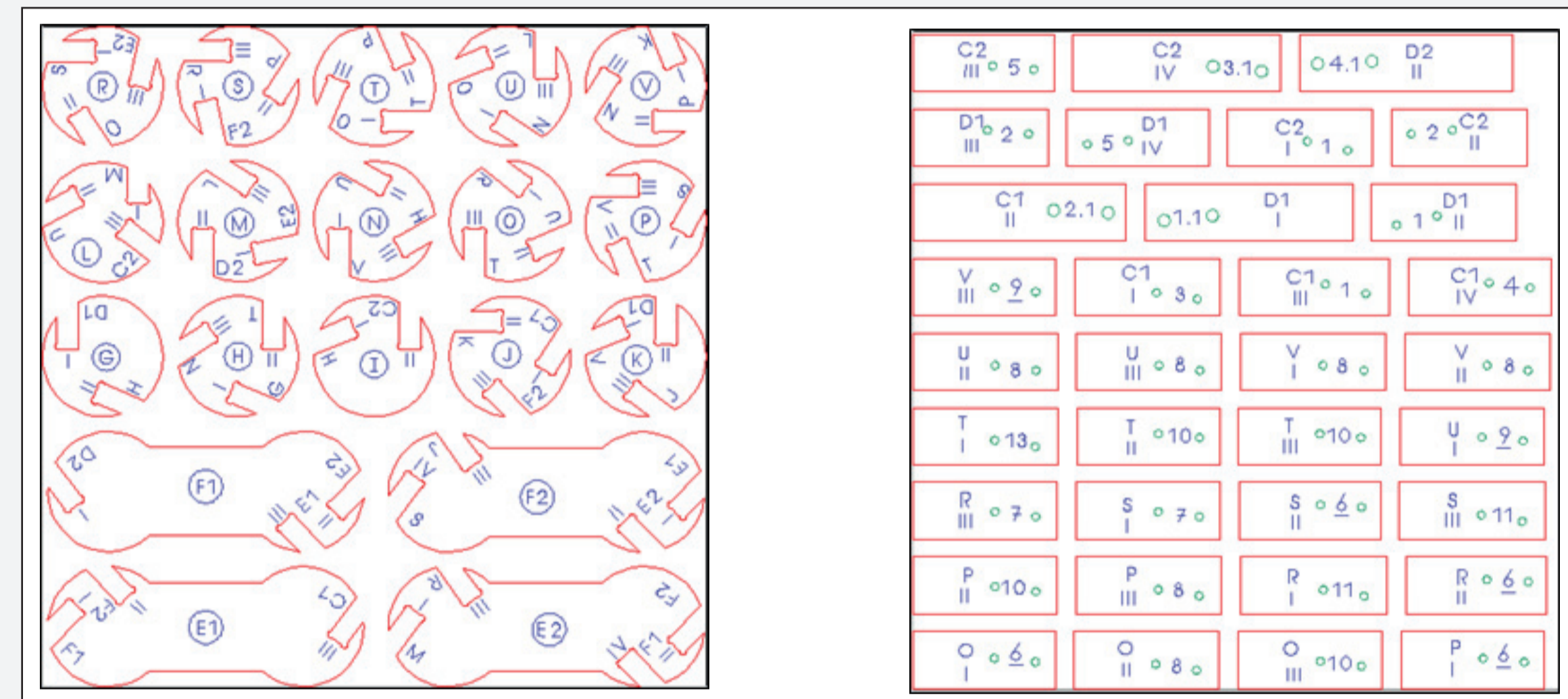


Figura 10: Ejemplos de recorridos vectorizados de conectores y sus pestañas de ensamble.

Conclusiones

Con este modelo de construcción se obtienen algunos de los siguientes beneficios:

- Simplificación en los cortes de conectores a un bajo costo, ya que se necesitan solo dos paneles de terciado estructural de 15 mm para construir los 42 conectores.
- Eliminación del error humano en la construcción de los conectores y corte de la cubierta mediante CNC.
- Ensamble rápido con perforaciones realizadas antes de la instalación.
- Ensamble sin planos, cada conector indica qué pieza va en cada pestaña. Se puede empezar desde cualquier punto para construir la estructura completa.
- Excelente rigidez estructural y curvatura suave al poseer gran número de nodos. Esto a su vez permite una fácil manipulación de las piezas y en las condiciones adecuadas con tan solo una persona se puede instalar la estructura completa.
- La utilización de plantillas permite hacer piezas en serie y un marcado veloz.
- Producto con diseños distintos a lo normalmente visto sin competencia a nivel nacional.
- Escalable a distintas dimensiones y con la configuración adecuada del revestimiento permite vistas panorámicas del cielo.
- Todas las piezas a excepción de los cimientos pueden ser construidas fuera del lugar de instalación.

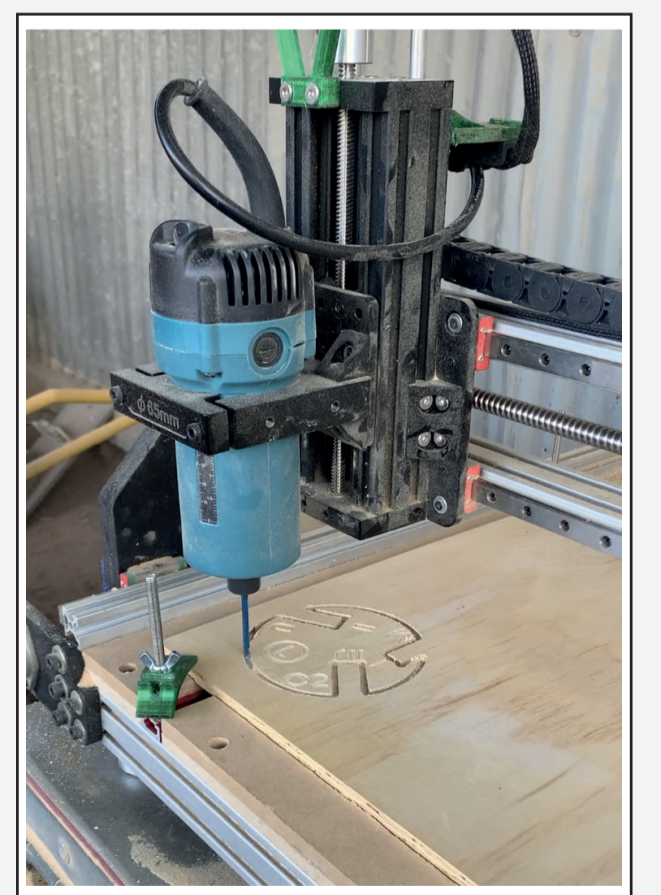


Figura 11: Máquina CNC.