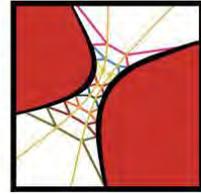


SLTE PERÚ 2018

VII SIMPOSIO LATINOAMERICANO DE TENSOESTRUCTURAS

12, 13 y 14 Septiembre

L
I
M
A



Aplicación de un sistema reticular post tensado con guadua angustifolia (Bambú)

Mauricio RODRIGUEZ ACOSTA * a, Josué Eber DE LACRUZ MORI b, Fiorella Jannet CASTRO BENITES c

^a *Bachiller de Arquitectura; Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Ricardo Palma (URP)
Av. Velasco Astete 817 - 1 San Borja Lima 41 – Perú.*

m.rodriguez@bambulab.org

^b *Bachiller de Arquitectura; Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Ricardo Palma (URP)
Calle Los Mirtos 370 Dpto. 102 Urb. Jardín Lince Lima 14 – Perú.*

josuedelacruz@hotmail.com

^c *Bachiller de Arquitectura; Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Ricardo Palma (URP)
Av. De la Aviación 168 Dpto. 405 Miraflores Lima 18 – Perú*

fiorecastro@hotmail.com

Resumen

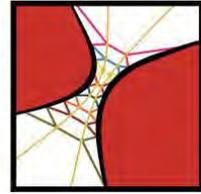
El sistema se desarrolla a partir de una red reticular modular de bambú con fácil montaje y adaptabilidad a lugares que limitan las posibilidades de anclaje o dificultan el uso de sistemas que funcionan bajo compresión. El sistema consiste en secciones prefabricadas con perfiles cilíndricos (bambú) en una rejilla, montadas con juntas pivotantes en múltiples puntos en cada bambú. Cada sección de la grilla se despliega en la locación, estas se sujetan en la posición requerida a través de puntos de anclaje en los extremos de los perfiles. La estabilización del sistema se logra a través de un conjunto de cables embebidos dentro de los perfiles, post tensados en los puntos de fijación para rigidizar la estructura en la ubicación y posición deseada. El sistema de cable es capaz de operar con diferentes materiales y fibras. En los prototipos se utilizó un cable de acero galvanizado de ¼ " (6x7+fc), que puede ser reemplazado por nylon, Kevlar o fibras orgánicas. Los cables no se extienden a lo largo del perfil; en una configuración simple, se extienden desde el punto de conexión externo a un accesorio interno ubicado en el primer punto de articulación en la cuadrícula reticular desplegada. El bambú es un material con una configuración tubular, que tiene una sección y resistencia variable, con nodos (diafragmas) que aumentan la resistencia en puntos específicos a lo largo del perfil tubular. El sistema aplica una carga de tracción en la misma dirección que las fibras de bambú, explotando su estructura natural. Teniendo en cuenta las características naturales del material, el punto de pivot para las juntas se ubica cerca de los nudos para explotar mejor su resistencia y evitar la falla de corte a lo largo de los entrenudos. Para una configuración simple, el sistema es similar a una polea simple fija: estabiliza la estructura pasando un cable cuyos extremos están sujetos en el mismo punto. El cable pasa a través de la polea fija ubicada en el punto de anclaje, con ambos extremos asegurados en el punto de pivote axialmente más cercano. Dependiendo de las características de la superficie sobre la cual se instalará el sistema, las características del anclaje pueden variar. El sistema se puede configurar como una estructura para envolventes y cubiertas, o se puede usar para generar planos virtuales. El sistema se puede instalar en ubicaciones complejas; su adaptabilidad permite la instalación en

SLTE PERÚ 2018

VII SIMPOSIO LATINOAMERICANO DE TENSOESTRUCTURAS

12, 13 y 14 Septiembre

L
I
M
A



ambientes difíciles sin requerir cimentaciones preexistentes. El sistema permite la creación de espacios con configuraciones prismáticas y poliédricas regulares. En configuraciones simples (secciones individuales o secciones alineadas a lo largo de un eje), el sistema necesita puntos de anclaje alineados con el plano de instalación (piso / techo, pared izquierda / pared derecha, etc.); cuando se trabaja con configuraciones más complejas (2 o más secciones) el sistema puede trabajar con puntos de anclaje que no están alineados con el plano de instalación (piso / pared, piso / piso, pared / techo, etc.).

Palabras clave: Modular, Bambú, Reticular, Post-tensión, Adaptabilidad, Ligero.

- 1. INTRODUCCIÓN.** El sistema se desarrolla a partir de una red reticular modular de bambú con fácil montaje y adaptabilidad a lugares que limitan las posibilidades de anclaje o dificultan el uso de sistemas que funcionan bajo compresión.
- 2. MECANISMO.** El sistema consiste en secciones prefabricadas con perfiles cilíndricos (bambú) en una rejilla, montadas con juntas pivotantes en múltiples puntos en cada bambú. Cada sección de la rejilla se despliega en la ubicación, estas se sujetan en la posición requerida a través de puntos de anclaje en los extremos de los perfiles. La estabilización del sistema se logra a través de un conjunto de cables embebidos dentro de los perfiles, pos tensados en los puntos de fijación para rigidizar la estructura en la ubicación y posición deseada.

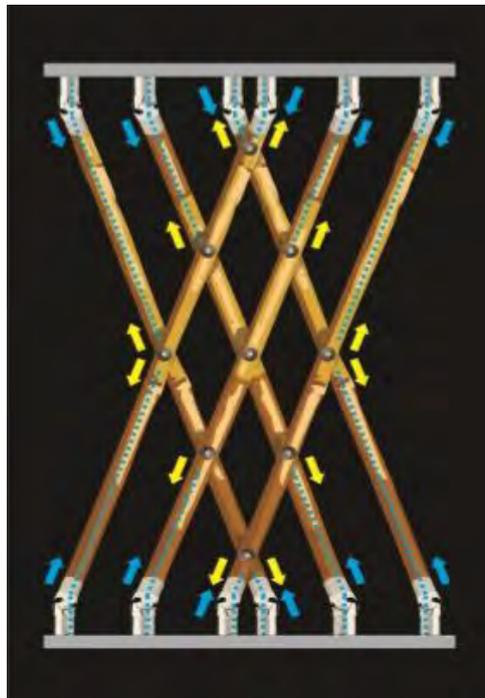
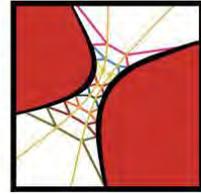


Figura 1: Esquema de rejilla con fuerzas de tensión relevantes.
(Diagrama de Bambú-Lab)



2.1.- COMPONENTES

2.1.1 Perfil de bambú. El bambú es un material con una configuración tubular, que tiene una sección y resistencia variable, con nodos (diafragmas) que aumentan la resistencia en puntos específicos a lo largo del perfil tubular.

El sistema aplica una carga de tracción en la misma dirección que las fibras de bambú, explotando su estructura natural. Teniendo en cuenta las características naturales del material, el punto de pivot para las juntas se ubica cerca de los nudos para explotar mejor su resistencia y evitar la falla de corte a lo largo de los entrenudos.

A diferencia de otros materiales, el bambú (en este caso particular, *Guadua Angustifolia*) crece rápidamente; es fácil de trabajar, ligero y altamente resistente. Se lo conoce como acero vegetal y su uso reduce significativamente la huella de carbono de un proyecto.

2.1.2 Cable de acero. El sistema de cable es capaz de operar con diferentes materiales y fibras. En los prototipos se utilizó un cable de acero galvanizado de $\frac{1}{4}$ " (6x7 + fc), que puede ser reemplazado por nylon, Kevlar o fibras orgánicas.

Los cables no se extienden a lo largo del perfil; en una configuración simple, se extienden desde el punto de conexión externo a un accesorio interno ubicado en el primer punto de articulación (punto de pivot) en la cuadrícula reticular desplegada.

2.1.3 Articulaciones de esfera. Las uniones principales entre rejillas, que forman un solo plano compuesto por dos rejillas o una cubierta con varios planos, son uniones esféricas de acero que nos permiten generar soluciones con ángulos variables. Hemos creado una variación de la junta esférica, que utiliza pistones en ambos extremos para compensar las variaciones en la geometría del proyecto, aumentando la versatilidad del sistema.

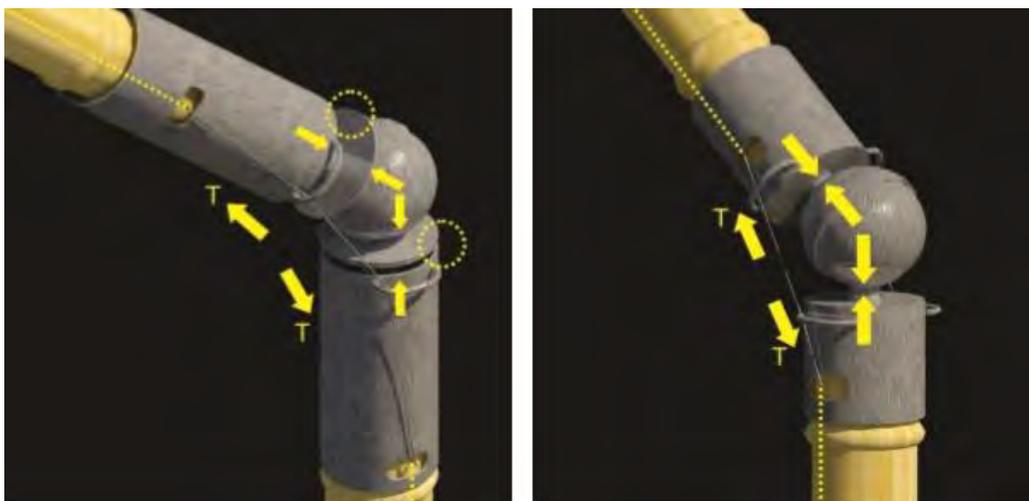
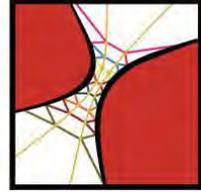


Figura 2: Detalles de las articulaciones esféricas y diagramas de tensión normales.
(diagrama de bambú-Lab.)



2.1.4 Piezas de extremo superior e inferior. Estas piezas finales consisten en una rótula con un punto fijo, a diferencia de las rótulas principales, la bola se fija a una placa de acero (con puntos de fijación para el sistema de cableado) que se puede atornillar fácilmente a la mayoría de las superficies.

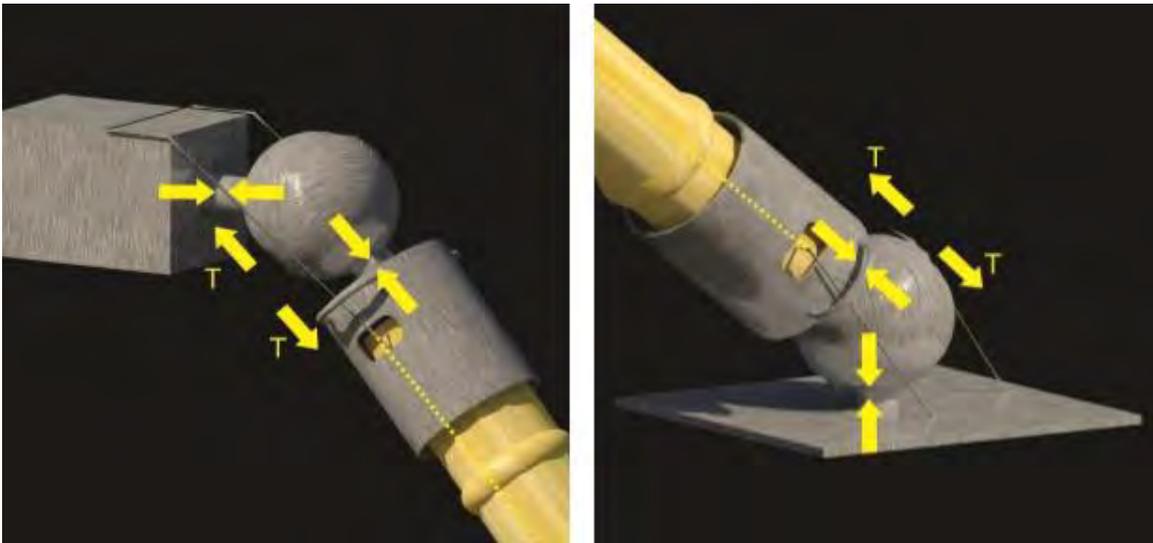


Figura 3: Detalle de la pieza superior e inferior con diagramas de tensión normales.
(Diagrama de bambú-Lab.)

2.1.5 Puntos de pivot. La grilla está articulada por puntos de pivote para que sea desplegable. Los puntos de pivot se distribuyen a lo largo del perfil de bambú en tres puntos equidistantes. Cada punto de pivot está compuesto por un eje pasante y por rodajes de esferas en puntos diametralmente opuestos, creando una rejilla con cuatro rodajes por articulación pivotante.

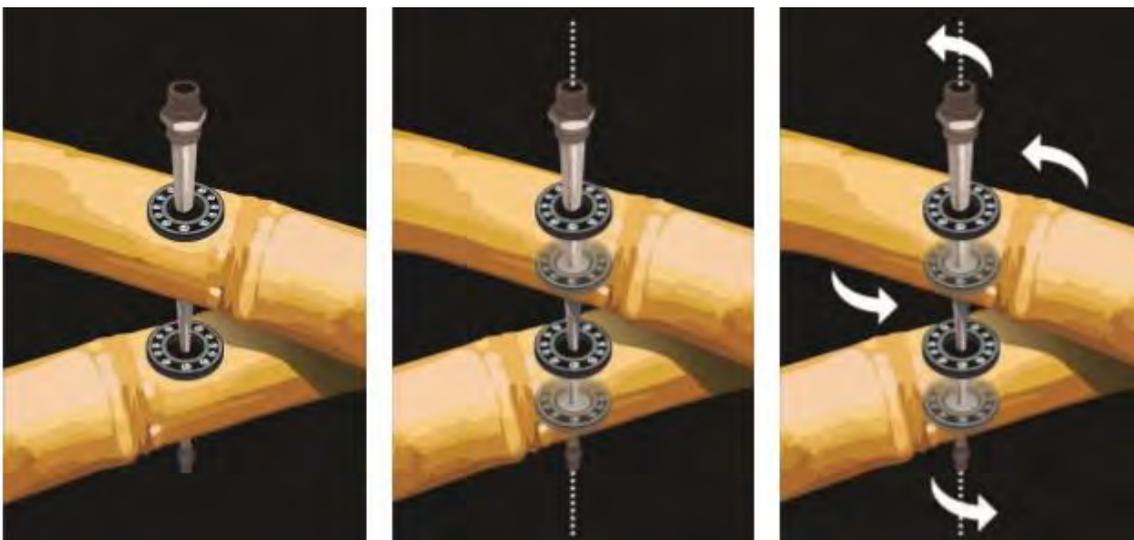
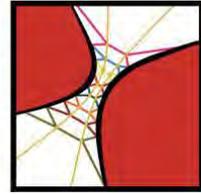


Figura 4: punto de pivot, compuesto por cuatro rodajes y un eje pasante. (Diagrama de bambú-Lab.)



3. APLICACIÓN PRÁCTICA.

3.1.- Montaje e instalación.

El proceso de prefabricación comienza con la selección del material apropiado para el uso deseado. En el caso de los perfiles de bambú, la distancia entre los nodos debe ser constante entre todos los perfiles, así como el grosor de la pared. La sección de perfil debe ser homogénea y usar material con poca o ninguna imperfección. La siguiente fase consiste en generar una "unidad" construida con dos perfiles que forman una cruz, unida por un punto de pivot en el centro de cada perfil. La cuadrícula mínima consiste en tres de estas unidades. Las unidades se alinean a lo largo de un eje a través de los puntos centrales, uno al lado del otro, superponiendo los perfiles y formando dos capas. Las juntas de pivot se agregan en los puntos donde dos perfiles se superponen, obteniendo la grilla completa.

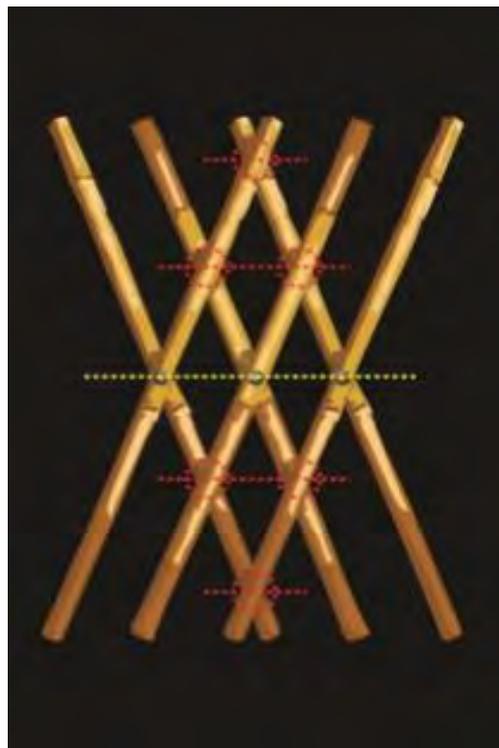
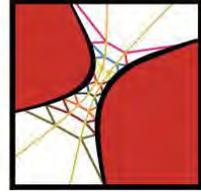


Figura 5: Proceso de ensamblaje de rejilla, con tres unidades alineadas a lo largo de un eje, los círculos rojos indican puntos superpuestos donde se agregan los puntos de pivot. (Diagrama de Bambú-Lab.)



En un proyecto que involucra cubiertas con más de un plano, se instala una rótula entre los puntos finales de ambas grillas. La junta se rigidiza con un aumento en la tensión del cable (instalado entre los puntos de pivote más cercanos en el perfil de bambú de cada cuadrícula). El ángulo se controla ajustando la tensión del cable también. Las piezas finales (o puntos de anclaje) se instalan en el lugar, fijando la rejilla de bambú con cables entre el último punto de pivote de cada perfil con la parte inferior o superior, de acuerdo con las condiciones de instalación.

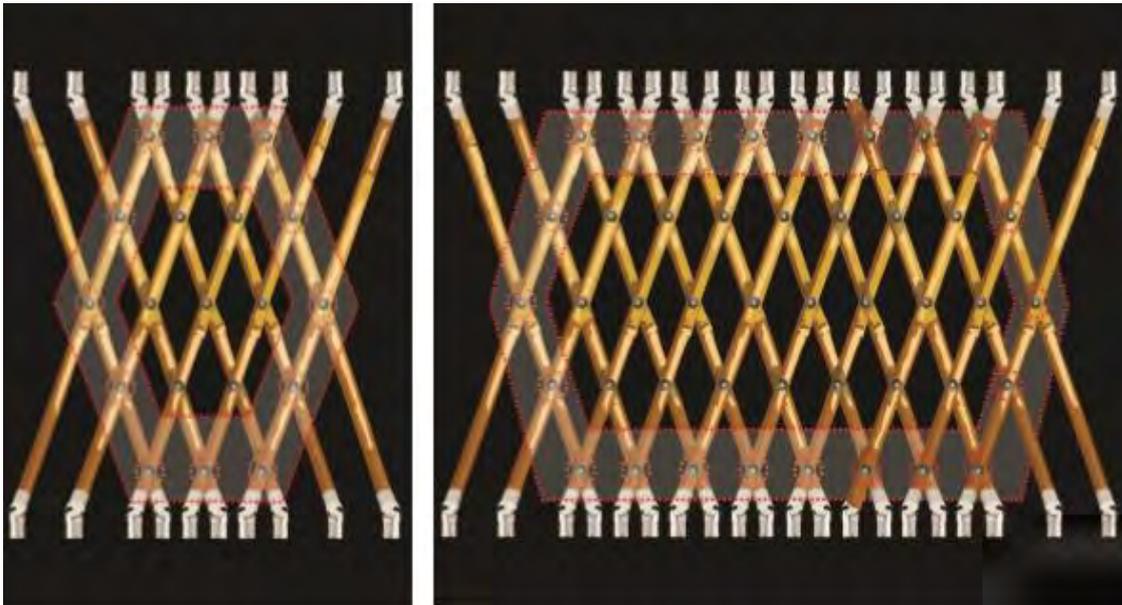


Figura 6: Puntos de anclaje a lo largo del borde de una rejilla (creando un marco), con 5 unidades y 10 cuadrículas de unidades. (Diagrama de Bambú-Lab.)

3.2. - Adaptabilidad funcional.

El sistema se puede configurar como una estructura para cerramientos y cubiertas, o se puede usar para generar planos virtuales. El sistema se puede instalar en ubicaciones complejas; su adaptabilidad permite la instalación en ambientes hostiles sin requerir cimentaciones preexistentes.

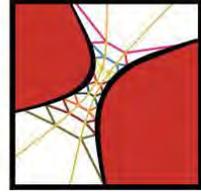
El sistema permite la creación de espacios con configuraciones prismáticas y poliédricas regulares.

SLTE PERÚ 2018

VII SIMPOSIO LATINOAMERICANO DE TENSOESTRUCTURAS

12, 13 y 14 Septiembre

L
I
M
A



En configuraciones simples (secciones individuales o secciones alineadas a lo largo de un eje), el sistema necesita puntos de anclaje alineados con el plano de instalación (piso / techo, pared izquierda / pared derecha, etc.); cuando se trabaja con configuraciones más complejas (2 o más secciones) el sistema puede trabajar con puntos de anclaje que no están alineados con el plano de instalación (piso / pared, piso / piso, pared / techo, etc.).

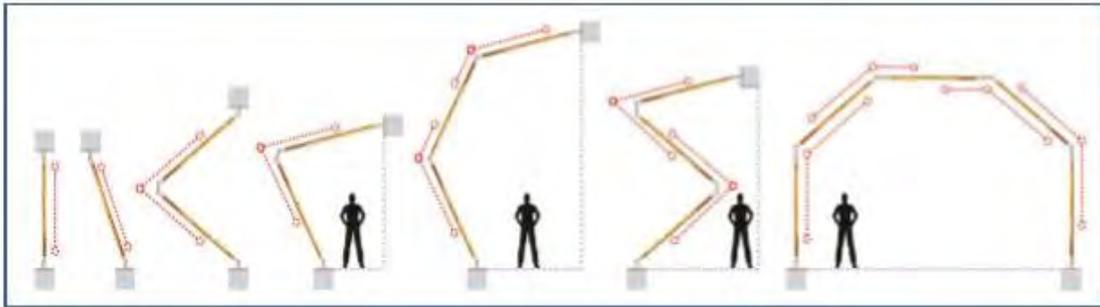


Figura 7: adaptabilidad funcional del sistema, de formas simples a complejas. (Diagrama de Bambú-Lab.)



Figura 8: Modelos a escala con complejidad variable. (Foto por Bambú-Lab.)

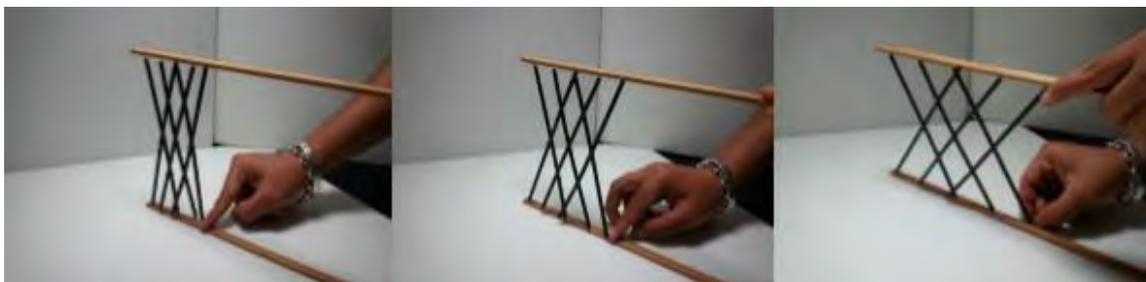


Figura 9: Extender una grilla. (Foto por Bambú-Lab.)

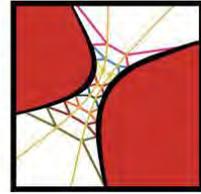


Figura 10: Modelos a escala de cubiertas con dos y tres cuadrículas. (Foto por Bambú-Lab.)

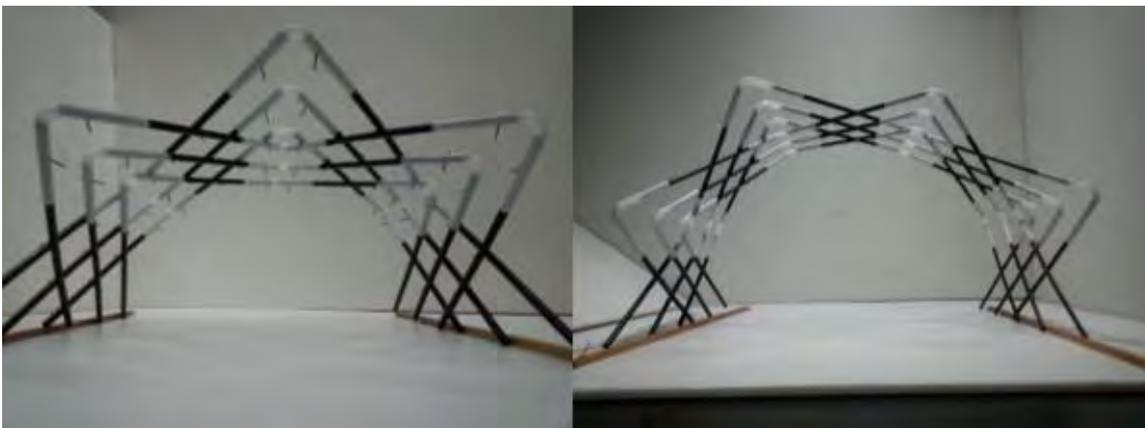


Figura 11: Modelos a escala de cubiertas con cuatro y cinco cuadrículas (Foto por Bambú-Lab.)

4. OBSERVACIONES

Estamos explorando diferentes tipos de cubiertas externas, incluidos materiales rígidos, telas y fibras naturales tejidas. Actualmente estamos desarrollando una variación del sistema que puede generar pilares plegables. Estamos trabajando en formas de optimizar aún más el tiempo de instalación y simplificar la prefabricación.

5. AGRADECIMIENTOS

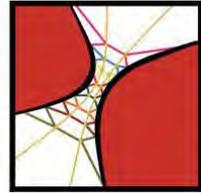
Agradecemos a la Universidad Ricardo Palma y al Arquitecto Jesús Peña Chávez por su apoyo académico. Nos gustaría expresar nuestro sincero agradecimiento al estudiante de pregrado Paul Jacay por su ayuda en la construcción y prueba de las maquetas y a la Bachiller en Arquitectura Cindy Rey por su colaboración en la redacción y formato del presente documento.

SLTE PERÚ 2018

VII SIMPOSIO LATINOAMERICANO DE TENSOESTRUCTURAS

12, 13 y 14 Septiembre

L
I
M
A



REFERENCIAS

[1] LOPEZ - HIDALGO, O. 2003. "Bamboo, the gift of the gods. Bambú, el regalo de los dioses". Colombia: S. N., 2003.

[2] AI IASS-SLTE 2008, ACA-MEX, Congreso IASS 2009 VAL-ESP e IASS-SLTE 2014, BRASILIA-BRS.