

ARC CHAIN OF BAMBOO

Jaime Andrés SIMON CALLE ¹

¹* Arquitecto docente; Universidad Tecnológica del Perú
Psj. Montesco 170, Dpto. 20. Urb. Chacarrilla, Santiago de Surco Lima 10 – Perú.
jaimesimon01@gmail.com, j.simon@bambulab.org

Abstract

Arise as the vision of the efficient structural design, achieving light, flexible and adaptable constructions. This mechanism is a construction alternative to stratified structural fixed arches, under a different method that facilitate the construction, and give lightness to the arch. The formal adaptability that the mechanism have allow different types of arches and even straight lines and with that be able to make vaults, cupolas, domes, etc. The prototypes have been made, principally, in bamboo. The mechanism is make up of: flexible profiles (laminar hoops) and tubular sections (diaphragm), both elements are fasten with organic cables. To make it, first the kind of arch is selected. This arch is drawing using any computer assisted design software (CAD) and tangential circles with same diameters to the exterior diaphragms are added. Then, the length of the arch (LF) that exist between the tangential points in the intersection of the adjacent diaphragms in the central arch is calculated. In the construction step, the top flexible profiles are added to an straight axis; then, the fastened diaphragm are added separated by LF. Then, the diaphragms are tie between them, making that the laminar hoops bend. The diaphragms, in addition to be the form to generate the curve, also increase the section depth and lighten the arch. Finally, the bottom flexible profiles are placed and more layers of profiles are added at the top or bottom, up to the required strength. With the traditional method of stratified arches, there is necessary an external cast that must be taken away at the end; with this new mechanism the excess and the heavy process is avoided. The realization of the prototype allow the generation of specific solutions to problems did not solved before as the shear stresses in the components, hoops displacements, sags and others.

Keywords:

Efficiency, stratified, bamboo, morphology, optimization, arches, computer assisted design software (CAD), laminated.

1. Introducción

Los fenómenos naturales se han agudizado por el cambio climático, convirtiendo a las poblaciones menos favorecidas, en agentes aún más vulnerables ante posibles desastres. Esto nos invita a reflexionar y buscar nuevas formas de responder ante esta necesidad. Por lo que, dar cobijo con prontitud después de un desastre natural es prioritario. Ser más eficiente en el diseño estructural y el ahorro energético en general, debe ser una convicción.

Como ya se dijo, entre las primeras preocupaciones después de un desastre natural, es resolver el tema de la vivienda de emergencia para los damnificados, sin embargo muchas veces se olvidan también de resolver las coberturas para los espacios comunes, que son indispensables para el abastecimiento de recursos, dar ayuda, hospitalizar y continuar con el resto de actividades de la comunidad. Así pues, resolver una cobertura ligera para estos espacios se vuelve una necesidad prioritaria también, Debido a que todos los países estamos afectados a esta problemática, esto no solo se vuelve un tema zonal sino también global.



Figura 1: Cover temporary housing in poor areas of Perú
http://www.amigosdevilla.it/Foto/1971_14.jpg, by *Asociación Amigos de Villa*

2. Arc Chain de Bambú

El ARC CHAIN es una alternativa constructiva, para dar cobertura de estos grandes espacios comunes. Siendo este, una estructura que te permite construir diversos tipos de arcos, bajo un método diferente, ya que facilita la construcción y a la vez le otorga ligereza a los arcos. A partir de estos arcos da pie a diseñar y obtener bóvedas, cúpulas, domos y hangares como otras coberturas ligeras. Ya que está basada en una lógica

morfo-estructural, dependiendo de la escala que se necesite se adaptara y se adecuara a dichas condiciones.

Por lo cual el *ARC CHAIN* puede ser considerado como una *unidad-identidad* de un sistema constructivo que une varios componentes aprovechando sus propiedades morfo-estructurales generando así una sinergia unificadora, obteniendo de esta manera una mayor eficiencia estructural y constructiva. Este mecanismo está compuesto de láminas flexibles en capas sobrepuestas estratificadas y unificadas, y también se compone por secciones circulares colocados de manera serial y tangencialmente a las láminas flexibles, ambos elementos son unidos con cables.

Los componentes del arco pueden variar de material siempre y cuando mantengan sus propiedades mecánicas, debido a que surge este mecanismo de un principio morfo-estructural y no a la mera adición de materiales. Por esta razón, los prototipos iniciales de ensayos han sido diversos, Sin embargo esta investigación se centra principalmente en el uso del bambú (*Guadua Angustifolia*) y fibras naturales.



Figura 2: **First Prototype** laminated of MDF and tubular sections of carton.

La elección del bambú como material se debe a sus potencialidades, al ser este un recurso sustentable y renovable, por su menor tiempo de crecimiento y reforestación. Sumado a esto, el bambú posee la propiedad de fijar el CO₂ en su crecimiento y encapsularlo en el momento del corte. Es orgánico, por ende biodegradable generando compost, Entre otras propiedades el bambú es un material de bajo costo e inocuo para el hombre, y en este caso no necesita un complicado proceso industrial o constructivo, produciendo menos huella de carbono. Y sin contar de sus propiedades físicas y estructurales que lo hacen merecedor del título de acero vegetal. Por tales motivos, la elección de este y bajo la premisa de generar una arquitectura embarcada en desarrollo sostenible y enfocados a la agenda 2030 de las Naciones Unidas.

2.1. Componentes y sus propiedades

Sin contar a los cables de fibras orgánicas que sirven de elementos de sujeción entre los componentes principales. Este mecanismo se puede resumir en dos componentes:

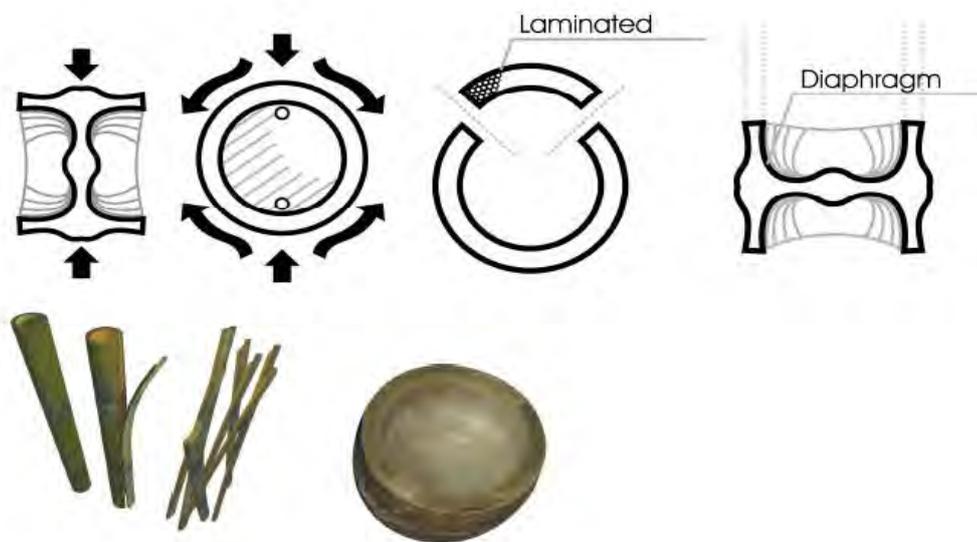


Figura 3: Laminated and Diaphragm using bamboo as a material
(Virtual Picture by Bambulab)

Primer componente; flejes de bambú, llamados también listones, o como común se conoce en el argot “*latilla de bambú*”, Rodríguez Smith, J., & Villacis, E. (2009). La propiedad mecánica aprovechada en este caso es su alta flexibilidad y su resistencia a la tracción, gracias a la disposición unidireccional de sus fibras de manera paralela y longitudinal. El poseer poco espesor la sección, facilita la flexión. Cabe aclarar que tiene más flexibilidad en el sentido de la capa interna, ya que la capa externa proporciona mayor resistencia. Para los prototipos iniciales se diseñó considerando un espesor de 5mm, un ancho de 5cm y un largo de 1m, traslapándose secuencialmente manteniendo la misma sección. Luego de 35 cm por ser el ancho aproximado del bambú abierto, lo que comúnmente se conoce en el Perú como “*Caña Chancada*”, Blondet, M., Vargas, J., Tarque, N., & Iwaki, C. (2011), por ser un recurso de mayor facilidad obtenerlo y nos obviamos el proceso convertir el bambú rollizo en “*latilla de bambú*” Rodríguez Smith, J., & Villacis, E. (2009).

Segundo componente; las secciones tubulares de bambú, diafragmas. Entre todas sus propiedades mecánicas, la que se ha aprovechado es su alta resistencia a la compresión, debido a la presencia de fibras dentro de las paredes interiores de manera anular en lugar de ser un tubo vacío. En los prototipos se tomó para la etapa de diseño

y análisis, bambú de 4" de diámetro aproximadamente en promedio, teniendo en cuenta su carácter cónico y orgánico del material y el largo lo determino el ancho de los listones o flejes, la cual vario en las diversas pruebas. En la composición del mecanismo, este componente aporta otra propiedad, pues aumentar el peralte sin el incremento significativo de la masa, lo que lo vuelve ligero y de mayor resistencia a la flexión por cargas puntuales.

Estos dos componentes ya mencionados se unifican a través de los cables de fibras vegetales, generando una sinergia entre sus propiedades individuales, para lograr una estructura más eficiente.

2.2. Proceso de Diseño y Construcción

El primer paso es la planificación de la cobertura, una vez definido ya el arco deseado se procede a dibujar o modelar la curva usando cualquier programa CAD, Computer Assisted Design. En esta investigación se utilizó el programa *Autocad* y el *Rhinoceros* para esta etapa de modelación. Se añaden círculos tangenciales a esta curva de manera serial y tangenciales entre sí, con los mismos diámetros exteriores a los diafragmas de bambú a utilizar.

Se toma las medidas o acotan las medidas de longitud de arco que se forma entre cada tangente de circunferencia continua. Estas medidas se colocan como líneas guía en la lámina flexible estirada, para la colocación posterior de los diafragmas en cada uno de estos puntos señalados.

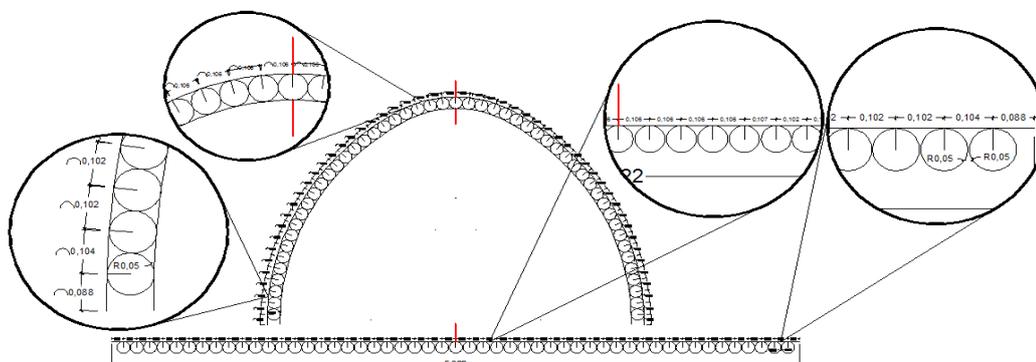


Figura 4: Plane in software CAD

Los diafragmas son unidos con cables (fibras naturales) primero a la lámina flexible y luego entre sí con lo cual forma el arco deseado. Se coloca una lámina debajo de los diafragmas para que asegure y evite el desplazamiento unificando el arco atándolo en cada diafragma. Finalmente se sobrepone láminas tras láminas hasta obtener la sección de peralte deseada, volviendo se una estructura estratificada. Se amara con los cables y se encola para unificarlo, el encolado no es necesario pero se usó para reforzar el amarre.

Los diafragmas cumplen dos funciones, y es parte de las ventajas de este sistema, sirven de molde *encofrado* para la formación del arco y ayudan para el aumento de peralte disminuyendo así el material y el peso de haber sido realizado con solo flejes.

Dependiendo del tipo de arco, la luz a cubrir, el peso y fuerza a resistir se pueden colocar más láminas o flejes arriba como abajo de los diafragmas, según los momentos o esfuerzos que será sometido. La extensión de las láminas flexibles se logra juntando dos láminas y traslapando otra para mantener la unidad de la lámina y procurando mantener la misma sección en todo el arco por continuidad estructural. El arco se construye en el suelo para mayor practicidad y luego se izar a la posición final de la construcción con gran facilidad por su ligereza.

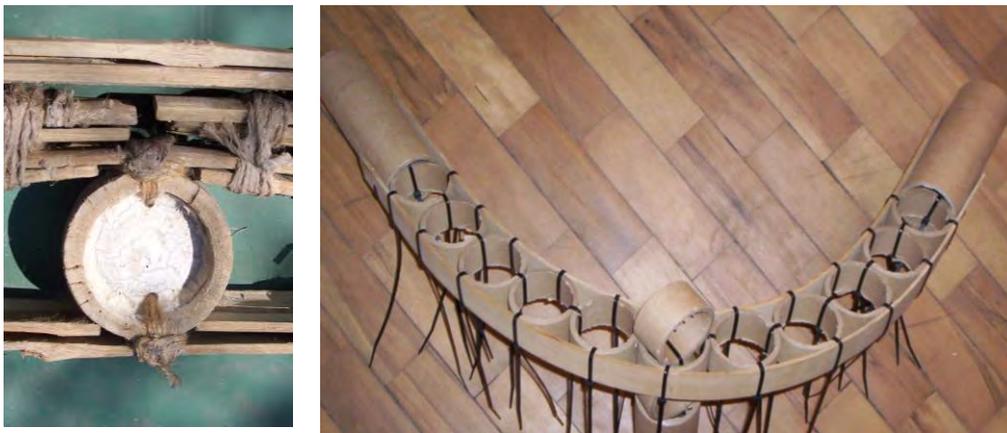


Figura 5: Prototypes of carton and bamboo.

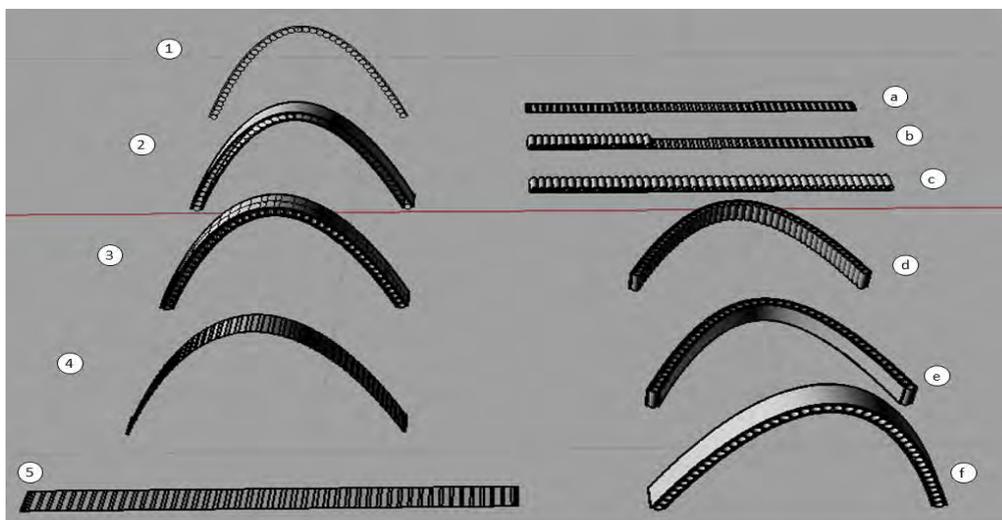


Figura 6: Virtual design sequence (1-5) and construction sequence (a-f) in software *Rhinoceros*

Utilizando un programa de modelado llamado *Rhinoceros* y sumado a este, un programa de diseño paramétrico llamado *Grasshopper*. Se puede variar rápidamente el tamaño de los elementos que componen el arco. También, variar el tipo de curvatura, las dimensiones del arco, la sección de los diafragmas de bambú, el ancho y espesor de las latillas, la distancia o luz cubierta, etc. Otra facilidad que otorgo el programa, es que permite desplegar el arco en un plano y obtener la plantilla donde te indica la posición de los diafragmas para su futura colocación y así facilitar la construcción de arco. Con lo cual, permitió construir varios prototipos de arcos y poder someterle a pruebas.

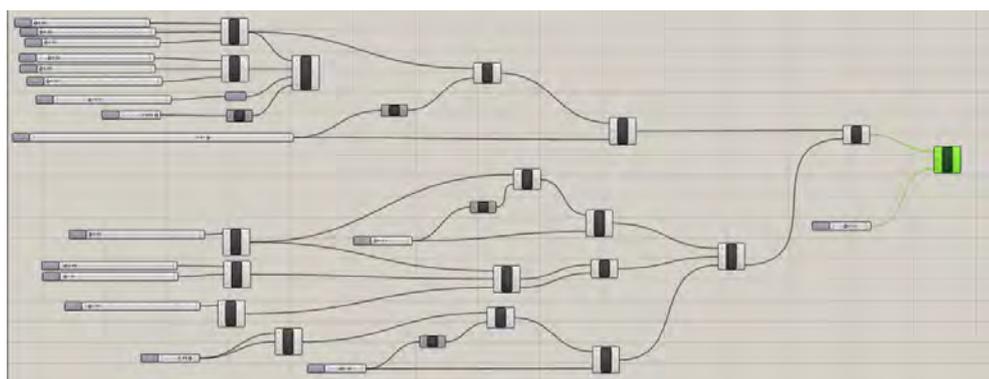


Figura 7: Diagram of the parametric to the arch in Grasshopper.

2.3. Adaptabilidad Formal y funcional

El mecanismo posee gran adaptabilidad formal ya que permite diseñar varios tipos de arcos a diferentes tamaños y formas como son los arcos: de medio punto, catenarios, rebajados, carpaneles, ojivales, de doble curvatura, etc. Como se ven en los ejemplos mostrados en este documento.

Y con la parametrización del mecanismo, permite el cambio de tipo y tamaño se realiza con mayor facilidad. Debido a sus propiedades morfo-estructurales del mecanismo, se pueden cambiar de escala y de materiales dependiendo el objetivo que se desee, generando gran adaptabilidad.

Una vez obtenida esta unidad, *el arco*, se utiliza los mecanismos u operaciones de simetría que son: traslación, rotación, reflejo y escala. De manera individual o mixta para poder construir cúpulas, domos, bóvedas, hangares, etc. Estos espacios albergaran diferentes funciones y necesidades sin que el espacio interior sea interrumpido por la estructura, a manera de exoesqueleto, lo que le da una gran adaptabilidad funcional.

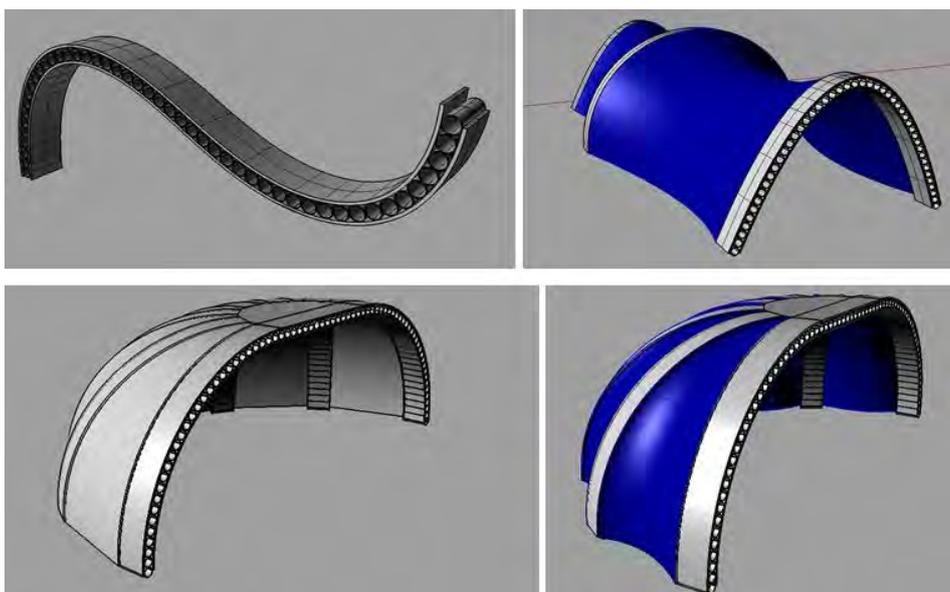


Figura 8: Modulation virtual of applicate mechanism

3. Observaciones y Conclusiones

- En la etapa de diseño y modelación virtual el grado de exactitud es de +/- 1mm. Y en los prototipos varían +/- 2 cm, dependiendo del material y el tipo de arco teniendo en cuenta que el bambú no es un material homogéneo.
- La distancia entre diafragmas es tan corta y la diferencia entre una y otra es tan pequeña, se pueden cometer errores en la colocación para su construcción, siendo los arcos de medio punto los más sencillos de construir y el más complicado el arco catenario.
- Se recomienda mantener la misma sección en todo el arco por continuidad estructural. Uno de los principales problemas se da en el empalme de estos flejes cuando la luz es superior con un solo fleje, porque el potencial de la sagita varia debido a la flexión y no es igual en toda la lámina ya que según los ensayos realizados va a depender de la proporción de su longitud, en los extremos la flexión es menor, ocasionando puntos de cortes entre materiales.
- Falta profundizar en el cálculo estructural del mecanismo que será el siguiente paso de esta investigación. Sobre todo para esfuerzo transversales y de anclajes a la cimentación, debido a que el arco es un componente que se desarrolla en un solo plano y es vulnerable en el plano transversal. Esta deficiencia se puede compensar con arriostres entre arcos o aumentando el ancho del arco entre otras soluciones.
- La utilización de este mecanismo proporciona un ahorro energético y simplicidad comparado con el sistema industrializado de madera laminada y no genera merma como el prensado tradicional de la madera laminada ya que el molde que permite establecer la curvatura es parte del mecanismo.
- Se puede mejorar y acortar los pasos en la parametrización de mecanismo, lo cual se seguirá investigando.

4. Agradecimientos

Agradecimiento a la Universidad Tecnológica del Perú, José Esteban Colchado y al PhD. Ing. Cesar A. Simon Calle.

5. Referencias

Asociación Amigos de Villa. (n.d.). *1971 - El comienzo de Villa El Salvador*. Retrieved diciembre 1, 2015, from Amigos de Villa: <http://www.amigosdevilla.it/>

Assembly, U. G. (2015). Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. see, related, The Global Initiative Against Transnational Organized Crime, "Organized Crime: A Cross-Cutting Threat to Sustainable Development"(Geneva: January 2015).

Blondet, M., Vargas, J., Tarque, N., & Iwaki, C. (2011). Construcción sismorresistente en tierra: la gran experiencia contemporánea de la Pontificia Universidad Católica del Perú. *Informes de la Construcción*, 63(523), 41-50.

Falk A. and Samuelsson S., Timber plates in tensile structures, in *IASS 2004. Shell and Spatial Structures from Models to Realization*, Motro R (ed.), Editions de l'Esperou, 2004, 254-255.

Freas, A. D. y M. L. Selbo. (1954). Fabrication and Desing of Glued Laminated Wood Structural Members. Forest Products Laboratory. Madison, U.S.A. 346 p

Hidalgo López, O. (1981). Manual de construcción con bambú. Estudios técnicos Colombianos Ltda. Universidad Nacional de Colombia. Centro de investigación de Bambú y Madera. CIBAM, 70.

Hidalgo López, O. (2003). Bamboo, the gift of the gods. Bamboo, the gift of the gods. Colombia: S. N., 2003.

Huerta, S. (2004) Arcos, bóvedas y cúpulas Geometria y equilibrio en el cálculo tradicional de estructuras de fábrica. Instituto Juan de Herrera, Madrid, 2004.

Londoño, X. (2001). La guadua: un bambú importante de América. Memorias primer Seminario Bamboo 2001, 8-10.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (n.d.). *Norma Técnica E. 100 Bambú*. Retrieved junio 11, 2014, from Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento: <http://www.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/normas/DS-011-2012-VIVIENDA.pdf>

Rodriguez Smith, J., & Villacis, E. (2009). Diseño de una máquina para hacer latillas de caña guadua.